



UNIVERSIDAD  
DE MÁLAGA



**ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES**

**Departamento Expresión Gráfica, Diseño y Proyectos**

**Ingeniería, diseño y desarrollo de productos**

# **TRABAJO FIN DE GRADO**

**ADECUACIÓN DE UN DISPOSITIVO DE SILICONA PARA  
PROTECCIÓN DE AVIFAUNA EN SUBESTACIONES  
ELÉCTRICAS**

Grado en

Ingeniería en Diseño Industrial y D.P.

Autor: WAEL EL FAHLI CHENNAOUI

Tutor: LAIA MIRAVET GARRET

MÁLAGA, Junio de 2.025



# AGRADECIMIENTOS

---

Primeramente, quiero agradecer a mi familia, a mi padre Khalid, a mi madre Naima y a mi hermana Noor por cuidarme durante los años de universidad, incluso estando lejos.

Agradezco a una de las personas más importantes de mi vida, Yolan gracias por apoyarme en todo lo que he necesitado estos años.

A José Luis y a María Yolanda por darme una oportunidad en vuestro equipo y enseñarme con paciencia.

A Safe por estar.

También quiero agradecer todo el tiempo invertido a mi tutora Laia, que ha sabido guiarme a través de este tortuoso camino.

# RESUMEN

La electrocución de aves rapaces en infraestructuras eléctricas es una de las principales causas de mortalidad en numerosas especies. Aunque la atención se suele centrar en las líneas aéreas, con una densidad en la península de 0,53 km/km<sup>2</sup> de líneas de tensión > 4,5 kV (Red Eléctrica de España, 2016), las subestaciones eléctricas también representan un riesgo significativo, aunque menos visibilizado.

En España existen más de 700 subestaciones interconectadas en una red de transporte mallada y robusta, que operan a 400 kV y 220 kV (Red Eléctrica, 2025). Estas instalaciones, importantes para garantizar el suministro eléctrico, contienen numerosos componentes metálicos donde las aves pueden posarse y sufrir descargas fatales. Asimismo, actualmente no existe una normativa concreta que regule la protección de avifauna en subestaciones. Por lo que en su lugar se suelen aplicar criterios pensados y dirigidos para líneas aéreas.

Este trabajo se centra en el diseño y producción de un forro de silicona HTV como medida de protección para prevenir la electrocución de avifauna en subestaciones eléctricas. El recubrimiento dieléctrico de alto rendimiento actúa como barrera aislante en los puntos críticos de contacto, reduciendo así la posibilidad de descargas eléctricas letales. Para su diseño, se han considerado aspectos como la resistencia mecánica, la durabilidad ante condiciones ambientales adversas y la facilidad de instalación en infraestructuras existentes. A lo largo del estudio se llevará a cabo un análisis de los requisitos técnicos y normativos aplicables, se detallará el proceso de diseño y fabricación del forro, además de analizar su efectividad ante esta problemática. Con ello, se busca contribuir tanto a la conservación de la biodiversidad como a la mejora de la seguridad y de la fiabilidad de las infraestructuras eléctricas.

Posteriormente se evaluará la eficacia del material y su viabilidad para su implementación en entornos reales. Los resultados obtenidos demostrarán si el forro de silicona es una solución eficaz y adaptable para mitigar el impacto de las subestaciones eléctricas en la fauna silvestre, contribuyendo así a la conservación de especies vulnerables y al cumplimiento de normativas ambientales.

# PALABRAS CLAVES

Líneas eléctricas aéreas, avifauna, rapaces, antielectrocución, anticolisión, subestaciones, forro, silicona.

# ABSTRACT

Electrocution on electrical infrastructure is considered one of the leading causes of mortality in many species, especially medium or big sized birds. While most of the attention tends to focus on overhead power lines, with a density in the Iberian Peninsula of 0,53 km/km<sup>2</sup> for lines carrying voltages > 4,5 kV (Red Eléctrica de España, 2016), electrical substations also pose a significant, though less visible risk.

Spain has over 700 substations interconnected within a robust transmission grid operating at 400 kV and 220 kV (Red Eléctrica, 2025). These facilities include many metallic components where birds can perch and could suffer fatal electric shocks. Despite this recurring issue, there is no specific regulation addressing bird protection in substations. Instead, guidelines for overhead lines are often applied as a substitute.

This project will present the design process and development of an HTV silicone cover to prevent bird electrocutions in a metallic component from a substation, while ensuring an uninterrupted power supply. A high-performance dielectric coating has been developed to serve as an insulating barrier in the critical contact points which will reduce the possibility of lethal electric discharges. The design of this solution will consider many requirements such as mechanical strength, durability under harsh environmental conditions, and ease of installation.

Throughout the study there will be an analysis of the applicability and effectiveness of the chosen material, through a series of experimental testing and technical analysis to find the feasibility for its implementation in real world conditions. The results will determine whether silicone cover is an effective solution to mitigate impact on power lines and to contribute on the conservation of wildlife while being compliant with environmental regulations.

# KEYWORDS

Overhead power lines, birdlife, birds of prey, anti-electrocution, anti-collision, substations, protective cover, silicone.



# ÍNDICE

---

AGRADECIMIENTOS.....	1
1. INTRODUCCIÓN.....	10
1.1. PROBLEMÁTICA ACTUAL.....	10
1.1.1. SECTORES Y ENTIDADES IMPLICADAS.....	12
1.1.2. PROBLEMÁTICA ACTUAL EXISTENTE EN ESPAÑA.....	15
1.1.3. IMPACTO ECONÓMICO NACIONAL.....	21
1.1.4. SITUACIÓN INTERNACIONAL.....	25
2. MARCO REGULATIVO.....	28
2.1. NORMATIVA DEL SECTOR ELÉCTRICO Y SEGURIDAD INDUSTRIAL.....	29
2.1.1. REAL DECRETO 1955/2000, de 1 de diciembre.....	29
2.1.2. Ley 21/1992, de 16 de Julio, de Industria.....	30
2.1.3. REAL DECRETO 542/2020, de 26 de mayo.....	31
2.2. NORMATIVA MEDIOAMBIENTAL.....	32
2.2.1. Ley 42/2007, de 13 de diciembre, del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad. 32	
2.2.2. REAL DECRETO 1432/2008, del 29 de agosto.....	32
2.3. AENOR EA 0058:2016.....	34
3. ESTUDIO DE MERCADO.....	45
3.1. ESTUDIO DE MERCADO NACIONAL.....	46
<b>CONECTORES Y SISTEMAS.....</b>	<b>46</b>
<b>ENVERTEC S.L.....</b>	<b>50</b>
<b>RH CORPORATIVE INTERNATIONAL.....</b>	<b>57</b>
3.2. PANORAMA INTERNACIONAL DE SOLUCIONES DE PROTECCIÓN AVIFAUNA.....	62
3.3. CONCLUSIÓN DEL ESTUDIO.....	66
4. PRESENTACIÓN DEL DISPOSITIVO A FORRAR.....	67
5. SELECCIÓN DE MATERIALES.....	73
5.1. MATERIALES ACTUALES UTILIZADOS.....	73
5.1.1. TERMOPLÁSTICO.....	74
5.1.2. SILICONA HTV.....	75
5.2. CONCLUSIÓN.....	76
6. MECANIZADO.....	77
6.1. FASES DE PRODUCCIÓN.....	77
6.1.1. Preparación de materia prima.....	77



6.1.2.	Mezclado y composición del compuesto base.....	79
6.1.3.	Moldeo y conformado.....	81
6.1.4.	Vulcanización (curado térmico) .....	83
6.1.5.	Enfriamiento, desmoldeo y postprocesado .....	83
7.	PROCESOS DE DISEÑO .....	84
8.	ANEXOS .....	91
	Referencias.....	92

# ÍNDICE DE TABLAS

---

Tabla 1. Categorización de Especies (varias fuentes).....	17
Tabla 2. Datos de electrocuciones recopilados por el MITECO (MITECO, 2024) .....	19
Tabla 3. Datos de colisiones recopilados por el MITECO por CCAA (MITECO, 2024).....	20
Tabla 4. Estudio de integración de necesidades de financiación impuestas por el R.D. 1432/2008.....	22
Tabla 5. Estimaciones de Mortalidad por tipo de Infraestructura en los EE. UU. (Loss, Will, & Marra, 2014).....	25
Tabla 6. Clasificación según la tensión nominal (EA 0058, 2016) .....	36
Tabla 7. Número de muestras para ensayos de muestreo (EA 0058, 2016).....	44
Tabla 8. Listado y clasificación de los ensayos de la Norma (EA 0058, 2016).....	44
Tabla 9. Tabla general de soluciones específicas para Bornas (Conectores y Sistemas) .....	47
Tabla 10. Características generales del modelo CSCAPU-3.....	48
Tabla 11. Características nominales de la Silicona HTV (EnverTec, 2016) .....	51
Tabla 12. Especificaciones Técnicas del compuesto usado (EnverTec, 2016) .....	52
Tabla 13. Tabla general de soluciones específicas para Bornas (EnverTec, 2016).....	53
Tabla 14. Tabla de detalles del modelo SPSF6 (EnverTec, 2014).....	54
Tabla 15. Especificaciones Técnicas del material usado (RH Corporative International, 2005) .	57
Tabla 16. Ensayos normalizados (RH Corporative International, 2005) .....	57
Tabla 17. Tabla general de soluciones específicas para Bornas (RH Corporative International, 2005) .....	58
Tabla 18. Modelo RH-PTTA (RH Corporative International) .....	59
Tabla 19. Familia de Protectores para Bornas (MIDSUN GROUP, 1995) .....	62
Tabla 20. Tabla de detalles del modelo Multiport Bushing Cover (MIDSUN GROUP) .....	63
Tabla 21. Especificaciones Técnicas del material empleado (Gala Thermo Shrink PVT. LTD, 1979) .....	64
Tabla 22. Tabla general de soluciones específicas (Gala Thermo Shrink PVT. LTD, 1979).....	65
Tabla 23. Medidas recogidas de la grapa.....	70
Tabla 24. Dimensiones de los cubre conductores de la familia SWP (EnverTec, 2016).....	90

# ÍNDICE DE FIGURAS

---

Figura 1. Imagen de un Milano Negro sobre apoyo de línea eléctrica aérea (Fuente: Torrecusa, 2024).....	11
Figura 2. Cigüeña negra electrocutada por colisión con línea eléctrica aérea (Fuente: ANSAR, 2023) .....	11
Figura 3. Banner del Proyecto LIFE Bonelli.....	12
Figura 4. Principales causas de ingreso en los centros de recuperación de aves en España (Cerrillo, 2023).....	15
Figura 5. Águila imperial posada en una torre de alta tensión (Gallego, 2024).....	16
Figura 6. Buitre leonado electrocutado al pie de una torre de alta tensión (Gallego, 2024) .....	16
Figura 7: Ejemplo de simulación 3d de RESTOS ÓSEOS de Águila Imperial Ibérica (MITECO,2024) .....	18
Figura 8. Distribución espacial del total de registros de mortalidad por electrocución (MITECO, 2024) .....	20
Figura 9: Zonas de protección establecidas según el R.D. 1432/2008 (en verde). En verde intenso, CC.AA. que han aportado un borrador de la información (Tragsatec, 2014) .....	21
Figura 10. Incendio en Alburquerque (Badajoz) provocado por un buitre leonado colisionando con un tendido eléctrico (Miranda, 2022) .....	23
Figura 11. Imagen del ave que chocó con el tendido provocando un incendio en Badajoz (R.H., 2023) .....	24
Figura 12. Ubicación y longitud de las líneas de transmisión muestreadas en los estados de Tamaulipas (1), Guanajuato (2) y Oaxaca (3) en México. ....	26
Figura 13. Águila audaz electrocutada yace en el suelo de Tasmania (Moran, 2022) .....	27
Figura 14. Ejemplo de un durómetro Shore analógico. Marca Sauter HBA 100-0.....	38
Figura 15. Ensayo de Combustión Vertical según norma UNE-EN 60695 .....	39
Figura 16. Ejemplo de material clasificado como V0 (EnverTec, 2021) (EnverTec,2021). ....	40
Figura 17. Aparato modelo para la prueba de Impacto (EA 0058, 2016) .....	42
Figura 18. Ejemplo de disposición del electrodo metálico sobre un forro (EA 0058, 2016).....	43
Figura 19. Ejemplo de Subestación (Cuerva, 2024).....	45
Figura 20. Portada del catálogo de Conectores y Sistemas .....	46
Figura 21. Soluciones ofrecidas por Conectores y Sistemas .....	47
Figura 22. Dimensiones del forro modelo CSCAPU-3 (CONECTORES Y SISTEMAS, 2025).....	48
Figura 23. Vistas alternativas del modelo CSCAPU-3 .....	49
Figura 24. Portada del Catálogo 2025 .....	50
Figura 25. Nuevas certificaciones ISO obtenidas (EnverTec, 2021) .....	50
Figura 26. Certificación AENOR obtenida para el forro SCA6RT (EnverTec, 2025) .....	51

Figura 27. Identificación de las salidas y los ángulos del SPSF6 (EnverTec, 2014).....	55
Figura 28. Vista planta del forro (EnverTec, 2014).....	55
Figura 29. Marcado del modelo SPSF6 (EnverTec, 2020).....	56
Figura 31. Proceso de instalación en terminales y Autoválvulas del RH-PPTA.....	60
Figura 32. Proceso de instalación en pasatapas del RH-PPTA.....	60
Figura 33. Proceso de instalación en terminación – sin apoyo en campana.....	60
Figura 34. Modelo 3D del RH-PPTA (RH Corporative International).....	61
Figura 35. Modelo BCAC-IC de TE CONNECTIVITY.....	64
Figura 36: Imagen de la pieza a forrar en situación de trabajo.....	67
Figura 37. Grapa en situación de funcionamiento (perfil).....	69
Figura 38. Grapa en situación de funcionamiento (vista del seccionador).....	69
Figura 39. Boceto de la pieza tomada en la ubicación de la Subestación.....	70
Figura 40. Vista en situación de la grapa.....	71
Figura 42. Vista perfil del ángulo de la grapa.....	71
Figura 41. Vista perfil del conjunto.....	71
Figura 43. Vista completa de la grapa y el seccionador.....	72
Figura 44. Ejemplo de una subestación forrada con soluciones termoplásticas (Fuente: EnverTec, 2020).....	73
Figura 45. Lotes de silicona sin homogeneizar (Zhejiang Gaoneng Electric Installation Co., Ltd, 2018).....	78
Figura 46. Silicona gris compacta y homogénea enrollada en bandas (Zhejiang Gaoneng Electric Installation Co., Ltd, 2018).....	78
Figura 47. Mezcladora interna tipo Banbury (Zhejiang Gaoneng Electric Installation Co., Ltd, 2018).....	79
Figura 48. Mezcla negra de la silicona y aditivos (Zhejiang Gaoneng Electric Installation Co., Ltd, 2018).....	80
Figura 49. Silicona refinada y roja aún en estado plástico (Zhejiang Gaoneng Electric Installation Co., Ltd, 2018).....	80
Figura 50. Molino abierto (Zhejiang Gaoneng Electric Installation Co., Ltd, 2018).....	81
Figura 51. Proceso de moldeo por inyección de silicona (HTV 高温硫化硅橡胶三种成型工艺, 2022).....	82
Figura 52. Proceso de moldeo por extrusión de silicona líquida (HTV 高温硫化硅橡胶三种成 型工艺, 2022).....	82
Figura 53. Silicona HTV laminada resultante tras el proceso (Zhejiang Gaoneng Electric Installation Co., Ltd, 2018).....	83
Figura 54. Prototipo 1 del forro.....	85
Figura 55. Prototipo 2 del forro.....	86



Figura 56. Prototipo 3 del forro .....	87
Figura 57. Prototipo 4 del forro .....	88
Figura 58. Detalle de las barbas del modelo SCa2 abierto (EnverTec, 2025).....	89
Figura 59. Detalle de las barbas del modelo SCa2 (EnverTec, 2025) .....	89
Figura 61. Comparativa de las diferentes dimensiones de forros SWP (EnverTec, 2016) .....	90
Figura 60. Vista en detalle de los forros SWP (EnverTec, 2016) .....	90

# 1. INTRODUCCIÓN

---

## 1.1. PROBLEMÁTICA ACTUAL

Con la creciente demanda de energía y la expansión de las redes eléctricas para un mayor abastecimiento para la población, especialmente en regiones rurales o en zonas de conservación natural, las infraestructuras eléctricas están cada vez más presentes en la Península alcanzando una densidad de 0,53 km/km<sup>2</sup> de líneas de tensión > 4,5 kV, reflejando una red que no deja de ramificarse (Red Eléctrica de España, 2016).

Este desarrollo también implica un aumento en el número de subestaciones eléctricas. Estas estructuras, a menudo descritas como nudos de conexión, son instalaciones claves en la red de transporte y distribución con el rol de transformar la tensión de la electricidad para que luego pueda transportarse de manera eficaz. Asimismo, las nuevas plantas de generación de energía renovable que se están construyendo en España para generación mediante tecnología fotovoltaica o eólica, también necesitan de nuevas subestaciones eléctricas para poder volcar toda su generación a la red. Estas nuevas subestaciones suelen ubicarse cerca de las plantas de generación, lugares alejados de la civilización, pero se encuentran en medio del hábitat de muchas especies endémicas.

En 2024, la Red Eléctrica de España incorporó 197 nuevos módulos o unidades funcionales de diferentes subestaciones junto a numerosos otros proyectos en diferentes regiones. En Andalucía, por ejemplo, se ampliaron y reforzaron subestaciones como Don Rodrigo o Puebla de Guzmán (ambas de 220 kV), y se inauguró una nueva subestación en Guadaira (220 kV) para dar soporte a la red de distribución (Red Eléctrica, 2025).

La realidad es que, aunque la atención se suele centrar en las líneas aéreas, las subestaciones eléctricas también se consideran como un riesgo significativo para la avifauna mucho menos visibilizado. En España existen más de 700 subestaciones eléctricas en una red interconectada de transporte mallada y robusta (Red Eléctrica, 2025). Estas instalaciones, esenciales para garantizar el suministro eléctrico, incluyen numerosos elementos metálicos energizados o cercanos el uno al otro, donde las aves pueden posarse y sufrir descargas letales.

La electrocución de aves en las Instalaciones Eléctricas de A.T. supone una de las principales causas de mortalidad para diversas especies, debido a que muchas utilizan estas estructuras como puntos de descanso, vigilancia o para nidificación.

Este tipo de interacciones conllevan unas consecuencias letales. La electrocución tiene lugar cuando la corriente eléctrica atraviesa el cuerpo del ave. Esto puede suceder de dos formas: por contacto directo con dos conductores de diferente potencial (contacto fase-fase), o más comúnmente, por contacto con un conductor y derivación a tierra (contacto fase-tierra). En ciertos casos, si la descarga no es mortal de inmediato, basta con la caída del ave desde lo alto de la estructura para provocar su muerte. Las aves pequeñas tienden a posarse en un solo cable o en partes en las cuales no puede hacer contacto fase-tierra por su tamaño, por lo que la electrocución afecta especialmente a aves de media-gran envergadura (Martín, 2020).



Figura 1. Imagen de un Milano Negro sobre apoyo de línea eléctrica aérea (Fuente: Torrescusa, 2024)

Además del impacto ambiental, esta interacción genera problemas en el suministro de energía. La nidificación puede provocar fallos en el servicio de derivaciones a tierra, mientras que las electrocuciones pueden causar sobretensiones, cortes de energía e incluso incendios. Todos estos incidentes suponen un alto coste para las comunidades afectadas y para las compañías eléctricas, que deberán cubrir el costo para la reparación y el mantenimiento de las instalaciones.



Figura 2. Cigüeña negra electrocutada por colisión con línea eléctrica aérea (Fuente: ANSAR, 2023)

### 1.1.1. SECTORES Y ENTIDADES IMPLICADAS

La electrocución y colisión de avifauna en tendidos eléctricos es considerado un grave problema medioambiental que, en los últimos tiempos, ha cobrado una mayor relevancia gracias al aumento de la conciencia medioambiental.

En la actualidad se están dedicando grandes esfuerzos por parte de diferentes sectores y entidades, ya sean públicas o privadas, con el fin de abordar y mitigar los impactos biológicos y ambientales. A continuación, se presentan los principales agentes implicados en esta situación:

#### a) Administración Pública

La Administración Pública actúa a través de diferentes niveles de gestión:

- *Administración General del Estado*

El Ministerio de Industria vela por la regulación y el cumplimiento de las actividades del sector eléctrico e industrial.

De forma complementaria, el *Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO)*, antes conocido como el *Ministerio de Medioambiente*, actúa promoviendo, formando a profesionales en esta materia y financiando investigaciones, proyectos de corrección como el **Proyecto LIFE “Priorimancha”** (2013-2017), donde se modificaron más de 100 apoyos peligrosos aislando e instalando dispositivos de señalización beneficiando especies como el águila imperial ibérica y el milano real, o el **Proyecto LIFE Bonelli** (Fig. 3), donde similarmente se implementaron medidas de corrección en líneas eléctricas en áreas clave para proteger al águila perdicera (SEO/BirdLife, 2017).



Figura 3. Banner del Proyecto LIFE Bonelli

- *Comunidades Autónomas*

Cada CCAA es encargada del desarrollo de sus respectivas administraciones regionales y del conjunto de inversiones efectuadas para minimizar la mortalidad de aves, según el RD. 1432/2008 (Jefatura del Estado, 2008). Recopilan datos sobre la mortalidad aviar a través de dos fuentes: los agentes medioambientales, que recogen información a través de denuncias ciudadanas o durante sus labores para luego verificar las causas de muerte en los CRF; y los proyectos propios de seguimiento de tendidos en zonas protegidas.

En Andalucía, el proyecto Aquila a-LIFE permitió la corrección de uno del punto negro de electrocución de aves más letal de la provincia de Jaén, ubicado entre Linares y Bailén, donde más de 50 rapaces habían muerto (ER, 2021). Este proyecto se llevó a cabo con la colaboración entre la Consejería de Agricultura,

Ganadería, Pesca y Desarrollo Sostenible de la Junta de Andalucía, GREFA y un propietario privado (AQUILA a-LIFE, 2021).

**b) Entidades publicas**

Diversos organismos públicos con responsabilidad directa en la adecuación de tendidos bajo su gestión. Organismos como las confederaciones hidrográficas, Patrimonio Nacional u Organismos gestores de Parques Naturales y otras áreas protegidas forman parte de esta descripción.

**c) Empresas del sector eléctrico**

Compañías del sector privado como E-Distribución, Iberdrola, Naturgy, entre otras, son responsables del mantenimiento de líneas eléctricas. Desempeñan un papel fundamental en las acciones de corrección y prevención. Entre sus posibles actuaciones están la instalación de fundas aislantes en puntos de contacto peligrosos, la modificación de crucetas y torres de tendidos para que sean más seguros, hacer uso de cables enfundados en aisladores rígidos y en los conectores de los apoyos especiales, o la creación de dispositivos de señalización para evitar las colisiones (LIBRO BLANCO, 2020).

Asimismo, también deben supervisar la calidad de estos sistemas de protección instalados en tendidos y verificar que los materiales usados y los requisitos de instalación empleados por las subcontratas cumplan con la especificación AENOR de calidad (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2020).

Las compañías eléctricas deben seguir las directrices de la Normativa UNE-EN 50341, que regula el diseño y mantenimiento de líneas aéreas de alta tensión, y asegurarse de actualizar las especificaciones técnicas para su inclusión en el Real Decreto 1432/2008, normativa que deliberadamente excluye a las subestaciones y líneas de tracción (Jefatura del Estado, 2008).

**d) Empresas de Ingeniería, consultorías y fabricantes de materiales**

Estas empresas se encargan del mantenimiento y de la corrección de tendidos eléctricos. También se encargan del desarrollo y de la implementación de nuevas tecnologías aplicadas a mitigar el impacto eléctrico en la fauna.

Varias empresas nacionales se dedican al desarrollo y fabricación de protecciones antielectrocución o anticolisión. Algunos ejemplos destacados son:

- Birka (Zaragoza)
- Conectores y Sistemas (Granada)
- EnverTec (Granada)
- Inael (Toledo)
- RH (Madrid)
- Saprem (Navarra)
- Sofamel (Barcelona)

En los últimos años, este sector siguió innovándose con el desarrollo de aisladores más completos, forros de protección con diseños específicos para cada dispositivo en tensión y sistemas de balizamiento más eficaces.

**e) Organizaciones no gubernamentales (ONGs)**

Organizaciones como la WWF (*World Wildlife Fund*), SEO/Birdlife o Sociedad Española de Ornitología, *Birdlife International*, CRF o GREFA (Grupo de Rehabilitación de la Fauna Autóctona y su Hábitat) son referentes en el ámbito de la avifauna.

Las ONGs llevan a cabo diferentes tareas como las campañas de sensibilización o la realización de inspecciones a tendidos. Por ejemplo, el proyecto **Aquila a-LIFE** de GREFA, gracias a la colaboración con administraciones públicas, propietarios privados y compañías eléctricas, permitió la corrección de miles de apoyos eléctricos peligrosos en varias CC. AA., entre ellas Andalucía, Navarra y Madrid (GREFA, 2021).

En el caso de los CRF (*Centros de Recuperación de Fauna*) no son exactamente una ONG, sino centros que actúan como fuente de datos fundamentales repartidos por España. Se considerarían agentes indirectos pero muy relevantes ya que permiten medir el daño y mejorar las medidas de conservación.

**f) Agentes medioambientales**

Agentes encargados de velar por el cumplimiento de la legislación vigente en materia de conservación e imponer sanciones ante infracciones o incumplimientos en la actuación. Gestionado por la CCAA.

**g) Centros de investigación**

Centros como el CSIC (Consejo Superior de Investigaciones Científicas) que investigan el impacto y desarrollan nuevas tecnologías de mitigación, o elaboran informes y estudios de mortalidad o comportamiento de aves frente a estas infraestructuras.

Una de las contribuciones más destacadas del CSIC en este ámbito es “Aves y tendidos eléctricos. Del conflicto a la solución”, considerada una de las primeras publicaciones científicas en España donde se aborda el impacto de las infraestructuras eléctricas sobre la avifauna de forma sistemática (Ferrer, 1991).

**h) Empresas de certificación y auditoría**

Algunas empresas de certificación medioambiental como la ISO 14001 auditan el cumplimiento y la gestión de riesgos para la biodiversidad en infraestructuras eléctricas.

A pesar de la colaboración y a los esfuerzos conjuntos entre estos diversos agentes en la implementación de soluciones técnicas, en la corrección de infraestructuras y en la recopilación de datos para una correcta evaluación, aún se sigue haciendo falta más. En los siguientes apartados, se presentarán las cifras más recientes para un contraste más completo.

### 1.1.2. PROBLEMÁTICA ACTUAL EXISTENTE EN ESPAÑA

Según los datos recopilados por **SEO/BirdLife** en el marco del proyecto “*LIFE Guardianes de la Naturaleza*”, causas no naturales podrían provocar la muerte de hasta 63 millones de aves anualmente en España (Pallarés, 2023). Este estudio se ha llevado a cabo en base a un análisis de 272.655 registros de aves ingresadas en *Centros de Recuperación de Fauna* desde 2008 a 2018, por motivo de actividades humanas (SEO/Birdlife, 2023). Aunque el modelo matemático utilizado ofrece un rango situado entre 25 millones y 100 millones de aves, la cifra más baja por sí misma resulta alarmante: 25 millones de aves muertas cada año debido a la actividad humana.

Estos accidentes ocurren tanto en líneas de distribución, con una tensión igual o inferior a 66 kV, como en líneas de transporte (Miguel Ferrer y Juan José Negro, 1992). Asimismo, las colisiones con tendidos eléctricos son responsables de aproximadamente del 40% de los ingresos en los *CRF*, siendo la principal causa de siniestro aviar. Este informe también indica que estas infraestructuras afectan a una amplia variedad de especies, ya que 305 especies de aves se ven afectadas por las colisiones con tendidos eléctricos, lo que representa la causa de siniestralidad que afecta al mayor número de especies (SEO/Birdlife, 2023).

En la Figura 4 se presentan las principales causas de ingreso en los centros de recuperación de aves en España. Las colisiones son la causa más frecuente con un 37,2 % de los ingresos. La electrocución es una causa relativamente baja debido a que muchas aves mueren al instante, por lo que no llegan a ser ingresadas.

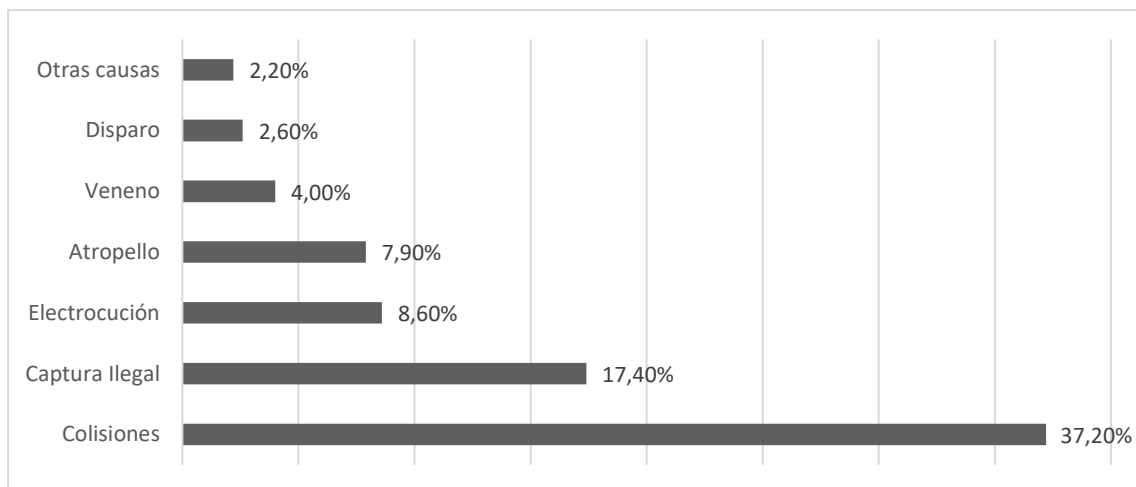


Figura 4. Principales causas de ingreso en los centros de recuperación de aves en España (Cerrillo, 2023)

En este contexto, hay que recordar que estos siniestros ocurren cuando las aves tienen un tamaño suficiente para realizar el contacto Fase-Tierra es importante, lo cual generalmente involucra a especies de medio-gran tamaño, en su mayoría aves rapaces.

A nivel nacional, según el *MITECO* o *Ministerio para la Transición Ecológica*, se estima que 39.000 aves mueren cada año a causa de la electrocución, de las cuales 33.000 son aves rapaces, lo que se traduce en una pérdida de biodiversidad valorada en 141 millones de euros anuales (Guil, 2017). Sin embargo, este dato no incluye otras especies de aves ni los registros de algunas comunidades autónomas. Por lo que otras entidades estimaron una cifra mucho más alta.

La *Sociedad Española de Ornitología* estima que la mortalidad real podría ser hasta un 85% superior a la cifra oficial, lo que subraya la gravedad del problema (SEO/Birdlife, 2023). Por otro lado, la Fundación de Amigos del Águila Imperial estiman entre 193.000 y 337.000 aves al año. Estas diferencias en las cifras totales reflejan las dificultades en las metodologías aplicadas en los estudios sobre afectación de la avifauna por tendidos eléctricos y a la falta de un enfoque estandarizado para poder cuantificar la magnitud real de problema (Fundación Amigos del Águila Imperial, 2019).



Figura 5. Águila imperial posada en una torre de alta tensión (Gallego, 2024)

Es importante tener en cuenta que todos estos impactos biológicos limitan la consolidación poblacional de especies en estado de recuperación como la del Águila Imperial Ibérica, y dificultan la recuperación de especies con tendencias regresivas como el Milano Real (GREFA, 2025). La mayoría de estas especies están protegidas, ya que se encuentran en peligro de extinción o en estado de conservación vulnerable.



Figura 6. Buitre leonado electrocutado al pie de una torre de alta tensión (Gallego, 2024)

La gravedad del impacto de las infraestructuras eléctricas sobre la avifauna varía en función de la especie, su distribución y su estado de conservación.

En la *Tabla 1*, se recoge una lista de algunas de las especies más afectadas en España, adaptada de varias fuentes como SEO/Birdlife (2023), MITECO (2023), el informe publicado en La Vanguardia (Cerrillo, 2023) y varios otros documentos (ANTECEDENTES Y DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN DE LA ELECTROCUCIÓN Y COLISIÓN DE AVIFAUNA EN ESPAÑA, 2024).

Tabla 1. Categorización de Especies (varias fuentes)

ESPECIE	TAMAÑO	MIGRATORIA	INCIDENCIAS	ESTADO DE CONSERVACIÓN
<b>Águila Real</b> ( <i>Aquila Chrysaetos</i> )	Grande	No	En la Región de Murcia, se han registrado 19 muertes por electrocución entre 2012 y 2020	Vulnerable
<b>Águila Imperial Ibérica</b> ( <i>Aquila Adalberti</i> )	Grande	No	Más de 200 muertes en los últimos 15 años	En peligro de extinción
<b>Águila Perdicera</b> ( <i>Aquila Fasciata</i> )	Grande	No	En la Región de Murcia, se han registrado 42 muertes por electrocución entre 2012 y 2020	Vulnerable
<b>Águila Esteparia</b> ( <i>Aquila nipalensis</i> )	Grande	Sí	Más de 250 muertes en la última década	En peligro crítico (globalmente)
<b>Águila Calzada</b> ( <i>Hieraaetus pennatus</i> )	Mediano	No	Más de 180 incidencias de colisión en la Península	Preocupación menor
<b>Alimoche Común</b> ( <i>Neophron Percnopterus</i> )	Mediano	Si		En peligro de extinción
<b>Buitre Leonardo</b> ( <i>Gyps Fulvus</i> )	Grande	Parcialmente migratorio	Más de 7.400 buitres ingresados por colisión o electrocución	Preocupación menor
<b>Búho Real</b> ( <i>Bubo Bubo</i> )	Grande	No	Más de 6.125 ingresados en los CRF	Preocupación menor
<b>Cigüeña Blanca</b> ( <i>Ciconia Ciconia</i> )	Grande	Si		Preocupación menor
<b>Cernícalo Vulgar</b> ( <i>Falco Tinnunculus</i> )	Pequeño	Parcialmente migratorio	Más de 10.600 registros de colisiones o electrocuciones	Preocupación menor
<b>Grulla Común</b> ( <i>Grus Grus</i> )	Grande	Si		Preocupación menor
<b>Quebrantahuesos</b> ( <i>Gypaetus barbatus</i> )	Grande	No		En peligro de extinción
<b>Halcón Abejero</b> ( <i>Pernis apivorus</i> )	Mediano	Sí		Preocupación menor
<b>Halcón Peregrino</b> ( <i>Falco peregrinus</i> )	Mediano	Parcialmente migratorio		Preocupación menor
<b>Milano Real</b> ( <i>Milvus Milvus</i> )	Mediano	Sí	Más de 2.500 muertes en 30 años.	En peligro de extinción
<b>Alcotán</b> ( <i>Falco subbuteo</i> )	Pequeño	Sí		Preocupación menor
<b>Gavilán</b> ( <i>Accipiter nisus</i> )	Mediano	Parcialmente migratorio		Preocupación menor

Cabe recalcar que los valores numéricos indicados en la *Tabla 1* pueden carecer de la precisión adecuada para este tipo de investigaciones ya que parten de una serie de base de datos recopilados a partir de observaciones muy diversas, sin un esfuerzo notorio de muestreo continuo que pueden afectar la exactitud de los datos obtenidos. Con el fin de compensar esta situación se desarrollaron diversas formas de recolección de datos mediante el uso de diferentes métodos.

En varios proyectos relacionados con la instalación de nuevas líneas eléctricas o con líneas existentes, se lleva a cabo un seguimiento insuficiente, que, sumado a la elevada heterogeneidad en las metodologías de muestreo y evaluación aplicadas, presenta una ausencia de información sobre la siniestralidad de aves en las condiciones presentadas. Esto impide valorar globalmente la magnitud de esta causa de mortalidad.

Se tiene conocimiento de que, si las aves no son localizadas rápidamente, pueden ser retiradas del lugar por animales carroñeros (Ponce et al., 2010), y las carcasas restantes pueden encontrarse en un estado de descomposición tan avanzado que no sea posible la correcta identificación ni la determinación de la causa de muerte con seguridad. Para una mejora de la recolección de datos, se implementaron diferentes métodos proactivos que facilitan la identificación y registro de estos incidentes. Un ejemplo de ello es el informe “Guía de Identificación de Rapaces Ibéricas por Restos Óseos” (Matarranz, 2019), acompañado de una biblioteca de modelos 3D de dichos restos óseos.

Estas herramientas permiten identificar correctamente rapaces ibéricas a partir de restos óseos como los fémures, las quillas..., utilizando las medidas morfológicas de estas especies. En esta guía se puede encontrar modelos 3D de restos óseos facilitando la comparación con muestras recogidas en el campo (MITECO, 2019). Este enfoque entre otros contribuye a una mejor comprensión de los incidentes que afectan a la avifauna.

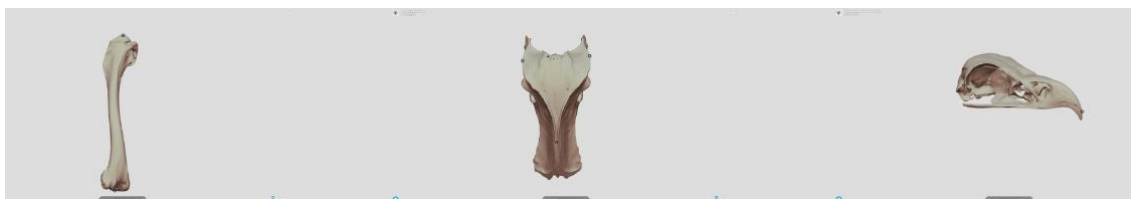


Figura 7: Ejemplo de simulación 3d de RESTOS ÓSEOS de Águila Imperial Ibérica (MITECO,2024)

La información actualmente disponible sobre los incidentes sugiere que la cifra real de incidencias es considerablemente superior, lo cual resalta aún más la gravedad del problema.

Entre las principales limitaciones identificadas se encuentra la carencia de datos precisos sobre la ubicación de los apoyos implicados. Muchos de los registros no incluyen las coordenadas geográficas, no aclaran el sistema de referencia empleado o simplemente no cuentan con imágenes del lugar en cuestión (ANTECEDENTES Y DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN DE LA ELECTROCUCIÓN Y COLISIÓN DE AVIFAUNA EN ESPAÑA, 2024).

La ausencia de homogeneidad y precisión representa un obstáculo importante que, además de dificultar la trazabilidad de las incidencias, —especialmente sabiendo de la existencia de duplicaciones o discrepancias en las fechas, según se considere el hallazgo del ave o el informe veterinario —, impide un análisis riguroso de la situación.

Por todo esto se requiere, cuanto antes, el desarrollo de nuevas formas de recolección de datos y dispositivos adaptados a las necesidades medioambientales, y que estén alineadas con las normativas pertinentes.

Tomando en cuenta la situación, el MITECO ha realizado una importante labor con el objetivo de centralizar la información sobre la mortalidad aviar, integrando datos recabados desde 2004 de sus propios proyectos, y los proporcionados por las Comunidades. Además, el ministerio recopila los datos procedentes de empresas eléctricas, siguiendo unos protocolos específicos descritos en el informe de la Red Eléctrica de España (2016), donde se incluyen diversos estudios para la corrección de desviaciones sistemáticas en los datos. Empresas como i-DE (Iberdrola) y la REE también colaboran en la recopilación de datos.

En este contexto, en la Tabla 2 y 3 se presentan los datos de electrocución y de colisión registrados por CC.AA. para ofrecer una visión general del impacto de las infraestructuras eléctricas.

Tabla 2. Datos de electrocuciones recopilados por el MITECO (MITECO, 2024)

CCAA	Nº de individuos electrocutados	Especies afectadas
ANDALUCÍA	2.023	50
ARAGÓN	164	9
ASTURIAS	20	4
CANTABRIA	2	2
CATALUÑA	1.525	36
CASTILLA – LA MANCHA	2.937	42
COMUNIDAD VALENCIANA	973	40
CASTILLA Y LEÓN	728	27
EXTREMADURA	422	27
GALICIA	12	8
ISLAS BALEARES	330	12
LA RIOJA	73	14
MADRID	115	19
MURCIA	190	21
NAVARRA	3554	8
PAÍS VASCO	35	6
<b>TOTAL</b>	<b>9.603</b>	<b>70</b>

Tabla 3. Datos de colisiones recopilados por el MITECO por CCAA (MITECO, 2024)

CCAA	Nº de individuos COLISIONADOS	Especies afectadas
ANDALUCÍA	3	2
ARAGÓN	3	2
CATALUÑA	2	2
CASTILLA – LA MANCHA	123	23
COMUNIDAD VALENCIANA	6	5
CASTILLA Y LEÓN	388	76
EXTREMADURA	117	22
GALICIA	19	9
ISLAS CANARIAS	102	22
LA RIOJA	3	2
MADRID	7	5
NAVARRA	3	2
PAÍS VASCO	2	1
<b>TOTAL</b>	<b>778</b>	<b>173</b>

Esta información pone en evidencia una elevada variación dependiendo de la región y de si es electrocución o colisión, lo que sugiere diferencias en la distribución de líneas eléctricas peligrosas, en la densidad de aves afectadas y en los esfuerzos de monitoreo por parte de cada una de las comunidades autónomas.

La Figura 8 permite observar geográficamente los registros de mortalidad por electrocución durante el periodo 2004-2022. Facilita la identificación de posibles áreas de riesgo que tengan una mayor prioridad para intervención.

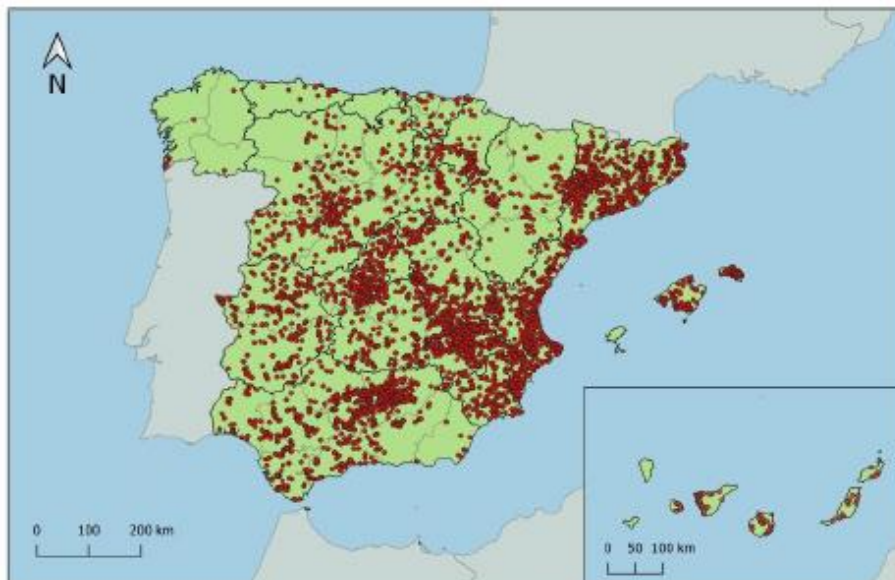


Figura 8. Distribución espacial del total de registros de mortalidad por electrocución (MITECO, 2024)

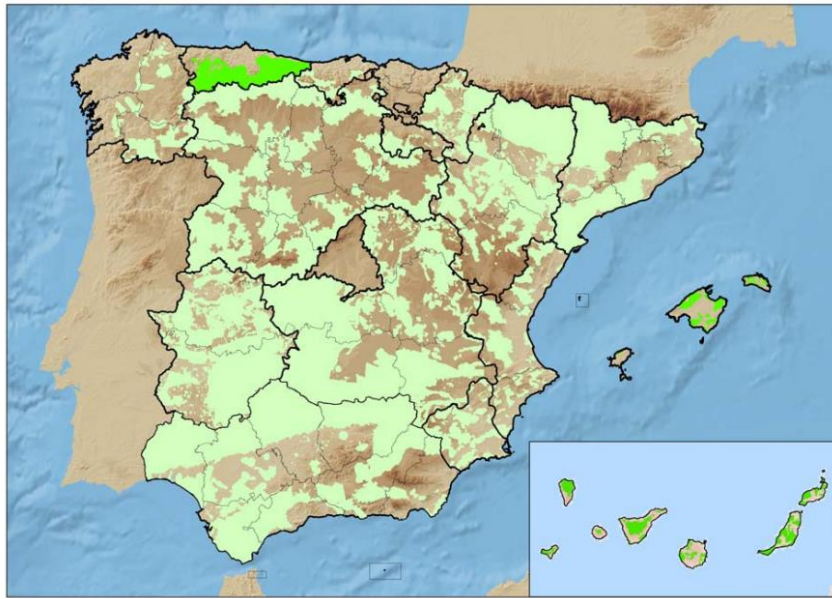


Figura 9: Zonas de protección establecidas según el R.D. 1432/2008 (en verde). En verde intenso, CC.AA. que han aportado un borrador de la información (Tragsatec, 2014)

La Figura 9 permite visualizar las zonas de protección establecidas conforme al RD. 1432/2008, diferenciando las comunidades que han proporcionado información completa de incidentes y aquellas que solo remitieron borradores preliminares (Jefatura del Estado, 2008). Esta información ayuda a contrastar la distribución de la mortalidad registrada con el alcance real de las medidas implementadas de protección.

Comparando ambas figuras, se hace evidente que en regiones de elevada mortalidad no existen suficientes zonas protegidas, o bien los datos disponibles aún tienen carencias o no son estandarizados.

### 1.1.3. IMPACTO ECONÓMICO NACIONAL

En 2008, el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente aprobó y publicó el Real Decreto 1432/2008, de 29 de agosto, con el objetivo de reducir el daño o perjuicio que tienen las líneas eléctricas sobre las aves (Jefatura del Estado, 2008). Esta normativa establecía una serie de requerimientos para las CC.AA., incluyendo la identificación y modificación de tendidos que no cumplieran con las especificaciones técnicas establecidas, y la financiación de parte de éstas por el propio Ministerio. Aunque sólo se incluían medidas para líneas que contaran con conductores desnudos, ignorando las problemáticas en otras infraestructuras eléctricas.

Desde la implementación de este R.D., solo Madrid sigue sin declarar sus Zonas de Protección, mientras que las Comunidades de Baleares, Canarias y el País Vasco siguen en proceso. El resto de las comunidades si declararon, pero pocas identificaron las líneas que no cumplen con los requisitos técnicos. Esta información fue conseguida con la ayuda de compañías eléctricas como EDP o Gas Natural-Unión Fenosa, que proporcionaron datos de sus zonas.

La tabla 4 presenta un resumen del grado de cumplimiento por parte de las CC.AA. del R.D. 1432/2008 (Jefatura del Estado, 2008). Esta información nos resulta clave para orientar futuras actuaciones en conservación de la biodiversidad y mejora de la seguridad eléctrica.

	Situación Legal			Inversiones		
	Normativa Propia	ZZ.PP.	Tendidos	Colisión	Electrocución	Total
Andalucía	Sí	Sí	Sí	4.963.040	1.001.675	5.964.715
Aragón	Sí	Sí	Aporta informe	12.006.880	73.885.651	85.892.531
Canarias	No	No	No	909.440		909.440
Cantabria	No	Sí	Aporta informe	1.717.360	9.489.288	11.206.648
Castilla La Mancha	Sí	Sí	Sí	9.792.560	33.058.927	42.851.487
Castilla y León	No	Sí	Sí	18.835.840	168.282.430	187.118.270
Cataluña	No	Sí	Sí	14.486.000	1.061.923	15.547.923
C. de Madrid	Sí	No	No	3.194.960		3.194.960
C.F. de Navarra	Sí	Sí	No	2.005.920		2.005.920
C. Valenciana	No	Sí	Aporta informe	3.965.440	1.246.557	5.211.997
Extremadura	Sí	Sí	No	6.390.480		6.390.480
Galicia	No	Sí	Aporta informe	2.852.240	30.308.326	33.160.566
Islas Baleares	No	Sí	No	1.282.160		1.282.160
La Rioja	Sí	Sí	Aporta informe	1.804.800	2.850.838	4.655.638
País Vasco	No	Sí	No	3.005.520		3.005.520
P. de Asturias	No	No	No	5.488.000	4.027.007	9.515.007
Región de Murcia	Sí	Sí	Aporta informe	1.633.760	14.469.428	16.103.188
	<b>Subtotales</b>			<b>94.334.400</b>	<b>339.682.050</b>	<b>434.016.450</b>

Tabla 4. Estudio de integración de necesidades de financiación impuestas por el R.D. 1432/2008

Con la información aportada por algunas Comunidades Autónomas, se estima que hay que corregir dentro de las zonas de protección 151.014 apoyos de 3ª categoría (<66 kV) y 2.545,8 km de tendidos de 1ª y 2ª categoría ( $\geq 66$  kV). Este volumen de intervención no está distribuido de manera equitativa en el territorio ya que hay zonas con una mayor concentración. Estas actuaciones hacen que la corrección de los tendidos eléctricos sea de las principales tareas de conservación en muchas comunidades autónomas, llegando a establecer legislación específica.

Queda demostrada la existencia de una conexión directa entre la calidad del suministro eléctrico (medida por los indicadores TIEPI y NIEPI) y la cantidad de apoyos peligrosos para las aves. Aunque estos modelos analíticos empleados incluyen otro tipo de parámetros, la relación entre la calidad del suministro y el riesgo para las aves es algo nuevo e importante que se ha descubierto.

Si comparamos la eficacia de los sistemas energéticos usando las emisiones de  $CO_2$ , observamos que las interrupciones provocadas por colisiones y electrocuciones afectan negativamente la eficiencia del sistema eléctrico español aumentando las emisiones de  $CO_2$ . En el *Estudio de integración de necesidades de financiación impuestas por el R.D. 1432/2008* se desarrollan varios escenarios de cálculos (Jefatura del Estado, 2008). La más desfavorable estima unas emisiones de 5.156 tn anuales de  $CO_2$  con un gasto de aproximadamente 750.000 € (estas cifras fueron obtenidas tomando en consideración ciertos baremos presentes en la Ley 36/2014, que establece un valor equivalente de 5 €/tn y un interés legal del 3,5%). Al empezar a considerar

los gastos adicionales como la contratación de personal especializado, la maquinaria necesaria, el mantenimiento de equipos, el desplazamiento de los encargados, las indemnizaciones y penalizaciones a las que están sometidas las distribuidoras, los costos de limpieza y restauración después de un incidente como incendios... el costo total acaba teniendo un mayor impacto económico.

En lo que respecta a los gastos de desplazamiento se generan emisiones adicionales de  $CO_2$ . Según los cálculos, las emisiones derivadas del desplazamiento de los encargados de reparación alcanzan un total de 4.137.299,24 kg de  $CO_2$ , lo que representa un costo adicional que ronda los 591.032,75 €.

Consta mencionar que la reducción del  $CO_2$  no es la única ventaja ambiental asociada a la adecuación de los tendidos eléctricos. También es importante considerar los incendios forestales provocados, de los cuales aproximadamente el 8% tienen su origen en accidentes con la avifauna. A pesar de que los incendios causados específicamente por la interacción entre aves y tendidos suelen ser menos comunes que otros, son muy relevantes. Se registraron alrededor de 30 casos entre los años 2000 y 2012, lo que representa algo más del 1% de los 2.789 incendios recogidos en la base de datos del Área de Defensa Contra Incendios Forestales del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (Tragsatec, 2014).

En 2021, un buitre leonardo (*Gyps Fulvus*) colisionó contra un tendido eléctrico en Alburquerque, Badajoz, y lo que en un principio parecía un incidente aislado acabó desatando un incendio que arrasó 700 hectáreas de terreno (Miranda, 2022). En 2014 tuvo lugar una situación muy dramática en Chile, donde dos buitres víctimas de electrocución causaron el mayor incendio urbano en la historia del país, destrozando 2.900 viviendas y un recuento de 15 fallecidos y más de 500 heridos (Agencias, 2014).



Figura 10. Incendio en Alburquerque (Badajoz) provocado por un buitre leonardo colisionando con un tendido eléctrico (Miranda, 2022)

Este fenómeno no es aislado ya que ocurre cada año. Incidentes donde las aves pueden desencadenar incendios devastadores al entrar en contacto con los tendidos. En España se estima que el 2,4 % de los incendios vinculados a líneas eléctricas son provocadas por interacciones con aves. Especies como el águila, el buitre o la urraca, al colisionar o posarse sobre los cables, se pueden prender de fuego por el plumaje en el caso de un cortocircuito, y al caer desplomadas sobre suelos secos, es cuando se provoca el incendio.

Otro incidente se registró en agosto de 2023 en el municipio de Salvatierra de los Barros en Badajoz, donde un cernícalo colisionó contra un tendido eléctrico provocando un incendio. La Guardia Civil confirmó que la línea eléctrica no cumplía con las medidas preventivas exigidas en las normativas vigentes para la protección de la avifauna (R.H., 2023). Como respuesta, se pusieron en marcha operativos de servicio a nivel nacional para reforzar la protección de la avifauna frente a la electrocución con el objetivo de prevenir estas situaciones y mitigar las consecuencias derivadas para todas las partes implicadas.



Figura 11. Imagen del ave que chocó con el tendido provocando un incendio en Badajoz (R.H., 2023)

En total, los incendios provocados por tendidos eléctricos suponen un coste mínimo de 455.693,85 € al año. Si el costo anual por incendios se mantuviese constante, se hablaría de un valor capitalizado mínimo de 13 millones de euros. Además, los incendios provocados por aves generan unas emisiones anuales de 2.280,07 tn de  $CO_2$ , lo que representa un coste adicional de 325.723,086 €.

El impacto económico anual por pérdida de la biodiversidad debido a la muerte de unos 22.320 rapaces por electrocución acumula unos 21.980.000 €. Su valor capitalizado alcanza los 62.000.000 €, y podría llegar a superar los 4.000.000.000 € si se aplicasen más valoraciones del modelo *MORA* con unas pérdidas anuales de hasta 141.300.000 € (Tragsatec, 2014). El modelo *MORA* es un método oficial del *Ministerio para la Transición Ecológica* en España que suele asignar valores monetarios elevados ya que toman en cuenta aspectos ecológicos, sociales y culturales. Esto pone en evidencia un enorme coste ambiental y económico de no corregir los tendidos eléctricos peligrosos.

### 1.1.4. SITUACIÓN INTERNACIONAL

A nivel internacional, la situación también es preocupante. El impacto de los tendidos eléctricos ha sido abordado ampliamente en numerosos países, estudiando tanto sus efectos sobre las aves como mitigando las consecuencias que acarrearán sobre ellas. A continuación, se analizan casos registrados en distintos países

En Estados Unidos, a principios de los años 2000 esta problemática seguía siendo fragmentaria, la mayoría de los estudios disponibles eran limitados en alcance y metodología con una representación desproporcionada de las poblaciones de aves afectadas y sus respectivos hábitats. La comunidad científica se centraba en casos puntuales de electrocuciones o colisiones, sin que existiera una estimación nacional clara de lo generalizado que estaba el problema en cuestión. La mayoría de los estudios incluían una o unas pocas especies complicando la posibilidad de realizar una evaluación sistemática de la mortalidad (Wallace P. Erickson, 2025)

Actualmente hay una mayor concienciación al respecto. Publicado en una base de datos de la Biblioteca Nacional de Medicina (NLM), parte de los Institutos Nacionales de Salud (NIH) de Estados Unidos, que proporciona acceso a literatura científica, se llevó a cabo un análisis cuantitativo que recolecta datos de 14 estudios diferentes que cumplieron con unos criterios de inclusión proporcionando una estimación mucho más clara y preocupante: se estima que entre 12 y 64 millones de aves mueren anualmente en Estados Unidos debido a los tendidos eléctricos. Esta cifra incluye que entre 8 y 57 millones de muertes se deben por colisión, y que entre 0,9 y 11,6 millones por electrocución.

En la Tabla 5, se detalla las estimaciones de mortalidad por tipo de infraestructura registradas hasta el año 2014 en Estados Unidos:

Tabla 5. Estimaciones de Mortalidad por tipo de Infraestructura en los EE. UU. (Loss, Will, & Marra, 2014)

Tipo de Mortalidad	Uds de Infraestructuras en EE. UU. <i>Mean units of U.S. infrastructure</i>	Mortalidad Total <i>Total mortality (millions)</i>		Muertes por km/ poste <i>Mortality per km/pole</i>	
		Median	95% CI	Median	95% CI
<b>Collision at transmission lines</b>	862,207 km	25.480.000	8.000.000-57.250.000	29.6 aves por km	9.3-66.4
<b>Electrocution at distribution lines</b>	185.000.000 poles	5.630.000	920.000-11.550.000	0.030	0.005-0.062
<b>TOTAL</b>		31.160.000	12.630.000-63.980.000		

Aunque gran parte de la evidencia cuantitativa sobre la mortalidad aviar debido a una incrementada presencia de tendidos eléctricos proviene de EE. UU., todos los países del continente americano se enfrentan al mismo problema. Presentan una combinación peligrosa ya que cuentan con una alta densidad de avifauna y una creciente densidad de líneas eléctricas que atraviesan hábitats críticos.

Esta situación es especialmente visible en Centroamérica, considerado una región que alberga ecosistemas con gran riqueza biológica y que actúa como corredor de numerosas especies migratorias. En países como Colombia y Venezuela, se han documentado 46 y 10 especies afectadas por electrocuciones, respectivamente. En Brasil y Argentina se realizaron diversos estudios aislados que también reportan casos de mortalidad aviar asociada a estas infraestructuras.

En México, a pesar de ser uno de los países con mayor diversidad de aves en el mundo, las investigaciones sobre el impacto de las líneas eléctricas han sido limitadas o casi nulas. Estudios recientes en Parques en los estados de Oaxaca, Guanajuato y Tamaulipas comenzaron a documentar la magnitud del problema, registraron un total de 579 cadáveres, de los cuales el 85% pudieron ser identificadas como pertenecientes a 65 especies diferentes, 18 de ellas especies migratorias consideradas de riesgo (Fig. 12). Estos registros aumentan a 77 el número total de especies con mortalidad documentada por colisiones o electrocuciones en México (Escobar-Ibáñez et al., 2022).

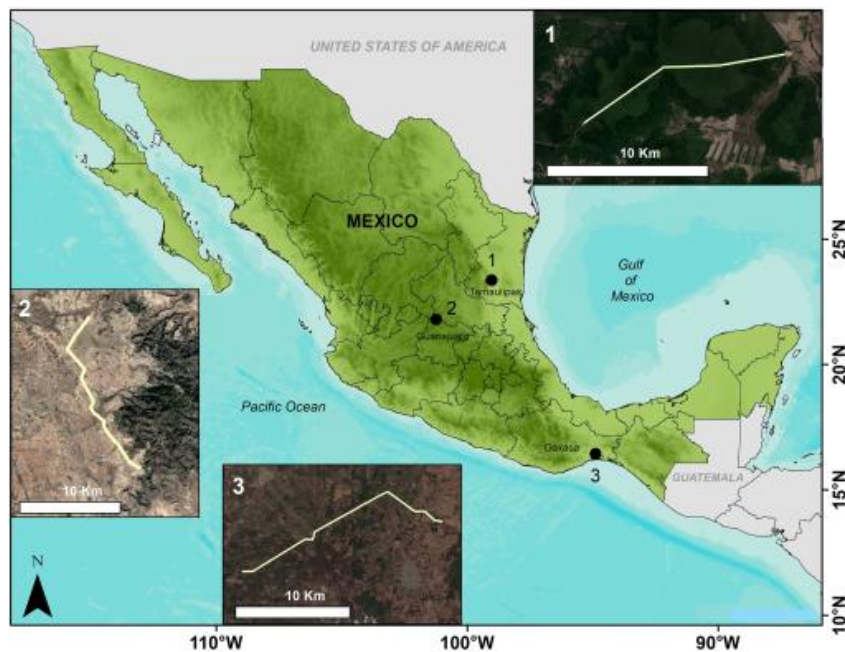


Figura 12. Ubicación y longitud de las líneas de transmisión muestreadas en los estados de Tamaulipas (1), Guanajuato (2) y Oaxaca (3) en México.

Este fenómeno no es exclusivo del continente americano o europeo. En Sudáfrica, hasta un 30% de la población de águilas muere debido a accidentes con las infraestructuras eléctricas. En Australia, el problema también afecta a aves rapaces como el águila audaz (*Aquila audax*), con un aumento de muertes durante las últimas décadas debido a la expansión de las redes eléctricas (Energy Grid Alliance, 2020).

En Tasmania, se estima que hay una población de menos de 1.000 ejemplares adultos de águilas audaz (Fig. 13). Para abordar este problema se disponen a invertir 4 millones de dólares en la instalación de más de 260 km de dispositivos de mitigación en zonas de alto riesgo (Moran, 2022).



Figura 13. Águila audaz electrocutada yace en el suelo de Tasmania (Moran, 2022)

En India, la electrocución de aves en líneas eléctricas representa una de las principales causas de mortalidad de especies como el ave nacional, el pavo real (Harness & Juvvadi, 2013). En Mongolia, las estructuras eléctricas han contribuido a la disminución de aves carroñeras, como los buitres, considerados especies clave en los ecosistemas. Y en Etiopía, estudios han documentado impactos severos en especies endémicas y rapaces debido al mal diseño de postes eléctricos (Adrian Orihuela-Torres, 2019).

El impacto económico derivado de estos accidentes es significativo. Las compañías eléctricas deben enfrentar elevados costos debido a los daños que causan estos accidentes, que incluyen la reparación de equipos, la interrupción del suministro eléctrico y la activación de sistemas de protección. Además, los cortes de energía y los problemas operativos aumentan los gastos de las compañías, afectando tanto a las comunidades como a las empresas.

Esta problemática afecta a especies en todos los continentes, desde áreas urbanas hasta entornos naturales remotos. No se trata de un asunto exclusivo de biólogos u ONGs, este desafío requiere una participación de profesionales en el sector de ingeniería. Garantizar un suministro eléctrico continuo y de calidad, así como la durabilidad de los equipos instalados, debe abordarse junto con la necesidad de preservar la biodiversidad.

Las soluciones exitosas aplicadas en una región o en un país pueden llegar a tener un impacto directo en otros contextos geográficos, por lo que se debería de considerar el esfuerzo internacional coordinador en favor de la conservación y la sostenibilidad. Propuestas específicas como el diseño de forros protectores para subestaciones eléctricas adquieren una relevancia significativa, ya que buscan mitigar los riesgos y pueden adaptarse en distintas regiones del mundo.

## 2. MARCO REGULATIVO.

---

Las primeras normativas de protección del medioambiente surgieron hace más de tres décadas en España, y en los últimos veinte años se desarrollaron directrices tanto a nivel estatal como a nivel europeo para la conservación de la biodiversidad (Giralda, 2010). Sin embargo, hoy en día no existe una normativa específicamente dirigida hacia la protección avifauna en subestaciones eléctricas.

Esto hace que, en la práctica, ante la falta de directrices, se apliquen requerimientos dirigidos originalmente para líneas aéreas de alta tensión. Aunque esto pueda ofrecer cierta protección, hay problemas en las geometrías de sus componentes que dificulta el encaje de las soluciones técnicas ofrecidas.

Existen normativas para tratar la problemática de la protección avifauna vinculada a las líneas aéreas. Estas regulaciones son muy importantes para asegurar la conservación de las especies protegidas y disminuir el impacto de estas instalaciones en los ecosistemas.

En este apartado, se abordará precisamente ese marco regulativo presentado que más le sirve a este proyecto. También hay normativas en las que se establecen los criterios técnicos sobre los posibles materiales para la fabricación y requisitos que deben de respetar los diseños de los dispositivos de protección, asegurando así su eficiencia y seguridad.

## 2.1. NORMATIVA DEL SECTOR ELÉCTRICO Y SEGURIDAD INDUSTRIAL

### 2.1.1. REAL DECRETO 1955/2000, de 1 de diciembre.

El Real Decreto 1955/2000 regulan las actividades de transporte, distribución, comercialización, suministro y procedimientos de autorización de instalaciones de energía eléctrica (BOE-A-2000-24019).

Este decreto es clave porque define los procedimientos de autorización y las medidas de mitigación ambiental en infraestructuras eléctricas. Cualquier modificación a éstas debe cumplir con los requisitos administrativos y técnicos establecidos en esta norma.

Los siguientes artículos del Decreto son particularmente relevantes ya que indican los principios generales y mencionan la necesidad de evaluar el impacto de las instalaciones en el entorno aplicando medidas correctoras.

Extractos de interés del R.D. 1955/2000, de 1 de diciembre:

#### ***“Artículo 9. Principios generales***

*1. El desarrollo de la red cumplirá los requisitos de seguridad y fiabilidad para las futuras configuraciones de la red, los cuales serán coherentes con los criterios técnicos establecidos en los procedimientos de operación del sistema.*

*(...)*

*En la selección de las opciones de refuerzo de la red, se integrarán criterios medioambientales, de forma que los planes de desarrollo procuren la minimización del impacto medioambiental global*

*(...)*

#### ***Disposición adicional undécima. Protección de la avifauna.***

*Al objeto de prevenir daños a la avifauna, a propuesta de los Ministerios de Economía y Medio Ambiente, se establecerán las medidas de carácter técnico que se deberán adoptar para evitar la colisión y electrocución de las aves con las líneas eléctricas.”*

## 2.1.2. Ley 21/1992, de 16 de Julio, de Industria.

La Ley 21/1992 establece el marco normativo para la ordenación y coordinación de las actividades industriales por las Administraciones Públicas. Su objetivo principal es regular los aspectos de seguridad, calidad y sostenibilidad en la Industria (BOE-A-1992-17363).

Extractos de interés de la Ley 21/1992, de 16 de julio:

### ***(...) Artículo 2. Fines.***

*El objeto expresado en el artículo anterior se concretará en la consecución de los siguientes fines:*

1. *Garantía y protección del ejercicio de la libertad de empresa industrial.*
2. *Modernización, promoción industrial y tecnológica, innovación y mejora de la competitividad.*
3. *Seguridad y calidad industriales.*
4. *Responsabilidad industrial.*

*Asimismo, es finalidad de la presente Ley contribuir a compatibilizar la actividad industrial con la protección del medio ambiente.*

*(...)*

En el artículo 31 se menciona su compatibilidad con el medio ambiente, incluyendo una tipificación de las infracciones que afectan al entorno natural, como los daños derivados de actividades industriales hacia las personas, la flora, la fauna, las costas o el medio ambiente en general. Estas acciones se consideran como infracciones graves.

### ***(...) Artículo 31. Clasificación de las infracciones.***

1. *Son infracciones muy graves las siguientes:*
  - a) *El incumplimiento doloso de los requisitos, obligaciones o prohibiciones establecidos en la normativa industrial siempre que ocasionen riesgo grave o daño para las personas, la flora, la fauna, las cosas o el medio ambiente.*  
*(...)*
2. *Son infracciones graves las siguientes:*
  - a) *La fabricación, importación, distribución, comercialización, venta, transporte, instalación, reparación o utilización de productos, aparatos o elementos sujetos a seguridad industrial sin cumplir las normas reglamentarias, cuando comporte peligro o daño grave para personas, flora, fauna, cosas o el medio ambiente.*  
*(...)*
  - m) *La inadecuada conservación y mantenimiento de instalaciones si de ello puede resultar un peligro para las personas, la flora, la fauna, los bienes o el medio ambiente.*  
*(...)*
  - q) *El incumplimiento por negligencia grave, de los requisitos, obligaciones o prohibiciones establecidos en la normativa industrial siempre que se produzca riesgo para las personas, la flora, la fauna, las cosas o el medio ambiente, aunque sea de escasa entidad; y el mismo incumplimiento y comportamiento cuando, cometido con*

*negligencia simple, produzcan riesgo grave para las personas, la flora, la fauna, las cosas o el medio ambiente”*

Esta ley es importante ya que es uno de los primeros casos en los que se aborda el tema del medio ambiente dentro del contexto industrial, reconociendo que problemáticas como la electrocución y colisión de la Avifauna afectan tanto al sector industrial como a la conservación ambiental.

En resumen, abarca una cuestión que involucra a dos ministerios y establece un régimen sancionador para las infracciones relacionadas. Esta normativa es clave para el desarrollo de soluciones como el dispositivo propuesto en este proyecto, al integrar la protección de la avifauna dentro del marco legal industrial.

### 2.1.3. REAL DECRETO 542/2020, de 26 de mayo.

El Real Decreto 542/2020 tiene como objetivo modificar y abolir diversas disposiciones en materia de calidad y seguridad industrial en España como respuesta a la puesta en vigor de los Reglamentos Europeos.

Este Real Decreto adapta la legislación española a los nuevos requisitos europeos con el fin de mejorar la seguridad y la calidad en instalaciones industriales, específicamente a las líneas eléctricas.

Extractos de interés del R.D. 542/2020, de 26 de mayo:

*“(…) **Apartado 2 del Art. 13. Proyecto de las líneas:** (…)*

*Las instalaciones deberán cumplir con las condiciones técnicas necesarias para garantizar la seguridad de las personas, los bienes y el medio ambiente. Estas condiciones se refieren a la resistencia mecánica, aislamiento eléctrico y protección frente a incendios y otros riesgos. Las prescripciones contenidas en este reglamento son mínimas, y se podrán aplicar soluciones alternativas siempre que se garantice un nivel de seguridad equivalente (…)*”.

*“(…) **Instrucción Técnica Complementaria ITC-LAT 05 - Clasificación de Defectos. Defecto grave:** (…)*

*(…) 4.1. El incumplimiento de las prescripciones técnicas establecidas en el Real Decreto 1432/2008, de 29 de agosto, o cuando los elementos instalados en aplicación de este estuvieran en deficiente estado, en tendido ubicado en Zonas de Protección, declarada al amparo de este real decreto, y cuando el tendido hubiera sido notificado como peligroso por la administración competente (…)*”.

*(…) 4.2. El incumplimiento de las prescripciones técnicas establecidas en el Real Decreto 1432/2008, de 29 de agosto, cuando el tendido hubiera sido notificado como peligroso o causante de incendio forestal o electrocución de avifauna protegida, fuera de zonas de protección, o cuando los elementos instalados de acuerdo con las prescripciones técnicas que se establecen en este real decreto estuvieran en un estado deficiente (…)*”.

## 2.2. NORMATIVA MEDIOAMBIENTAL

### 2.2.1. Ley 42/2007, de 13 de diciembre, del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad.

Esta Ley establece el marco legal básico para la conservación y el uso sostenible del patrimonio natural y la biodiversidad en España. Sus principios se centran en preservar la diversidad biológica y en proteger los ecosistemas.

En el artículo 57 viene establecida la necesidad de estrategias contra amenazas a la biodiversidad como por ejemplo la electrocución y colisión de aves. En los artículos 79, 80 y 81 se indican las infracciones y sanciones. Estos artículos, vinculadas con la Ley 26/2007, ofrecen una valoración de daños y definen los costos de reparación.

Extractos de interés de la Ley 42/2007, de 13 de diciembre:

***“(...) Título III Conservación de la biodiversidad.***

***Capítulo I Conservación in situ de la biodiversidad.***

***Artículo 54. Garantía de conservación de especies autóctonas silvestres (...)***

*La Administración General del Estado y las comunidades autónomas, en el ámbito de sus respectivas competencias, adoptarán las medidas necesarias para garantizar la conservación de la biodiversidad que vive en estado silvestre, atendiendo preferentemente a la preservación de sus hábitats y estableciendo regímenes específicos de protección para aquellas especies silvestres cuya situación así lo requiera (...).”*

### 2.2.2. REAL DECRETO 1432/2008, del 29 de agosto.

El Real Decreto 1432/2008 es una norma técnica que, derivada de leyes del sector eléctrico (Ley 21/1992 y Ley 54/1997) y medioambiental (Ley 42/2007), representa una regulación transversal que integra la protección ambiental en infraestructuras eléctricas. Establece normas de carácter técnico con el fin de reducir el impacto de electrocución y colisión de aves en líneas eléctricas de alta tensión.

Entre las principales disposiciones del Real Decreto 1432/2008 se encuentran:

- a. La obligación de aplicar medidas de aislamiento en *zonas de especial protección para las aves* (ZEPA) y en áreas donde se haya detectado un índice elevado de mortalidad de aves. Viene indicado en el Artículo 4.
- b. La utilización de elementos o dispositivos que eviten el contacto simultáneo de las aves con partes conductoras. Recomienda el uso de balizas salva pájaros o similar en nuevos tendidos con el fin de evitar colisiones
- c. La implementación de medidas preventivas en el diseño de nuevas infraestructuras eléctricas. Especifica distancias mínimas entre elementos eléctricos como los conductores y apoyos. Prohíbe ciertos diseños de poyos peligrosos para la avifauna.

Extractos de interés del R.D. 1432/2008, del 29 de agosto:

*“(...) **Artículo 1. Objeto.** (...)”*

*Este Real Decreto tiene por objeto establecer normas de carácter técnico de aplicación a las líneas eléctricas aéreas de alta tensión con conductores desnudos situadas en las zonas de protección definidas en el artículo 4, con el fin de reducir los riesgos de electrocución y colisión para la avifauna, lo que redundará a su vez en una mejor calidad del servicio de suministro (...)”.*

*“(...) **Artículo 4. Zonas de protección.** (...)”*

*1. A efectos de este real decreto, son zonas de protección:*

- a. Los territorios designados como Zonas de Especial Protección para las Aves (ZEPA), de acuerdo con los artículos 43 y 44 de la Ley 42/2007, de 13 de diciembre, de Patrimonio Natural y de la Biodiversidad. (...)”.*
- b. 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.*

## 2.3. AENOR EA 0058:2016

La Especificación AENOR EA 0058:2016 establece los requisitos y los métodos de ensayo aplicables a los forros utilizados en líneas eléctricas aéreas de distribución con el fin de reducir la mortalidad de la fauna autóctona mientras garantiza un suministro eléctrico continuo. Estos forros actúan recubriendo partes descubiertas en tensión de la infraestructura eléctrica (EA 0058, 2016).

Esta especificación define la tensión simple como la tensión máxima de línea dividida entre  $\sqrt{3}$ . En un sistema eléctrico, la tensión máxima medida entre dos fases (tensión de línea) es mayor que la tensión existente entre fase-tierra. Es decir:

- Si la tensión máxima de línea es de 36 kV, la tensión simple será:

$$\frac{36 \text{ kV}}{\sqrt{3}} \approx 20.78 \text{ kV}$$

- Si la tensión máxima de línea es de 72.5 kV, la tensión simple será:

$$\frac{72.5 \text{ kV}}{\sqrt{3}} \approx 41.88 \text{ kV}$$

Esto es importante debido a que muchos componentes eléctricos (en este caso los forros) son diseñados para soportar una tensión simple, es decir, la tensión real que experimentan con respecto a tierra, no la tensión entre fases.

La EA 0058 es complementaria con una serie de normas técnicas de referencia. La inclusión de estos estándares garantiza que los forros evaluados bajo esta especificación cumplen con los requisitos técnicos necesarios para un uso prolongado y eficiente en condiciones reales de operación. Estas normas son:

- **UNE-EN ISO 868.** *Plásticos y ebonita. Determinación de la dureza por medio de un durómetro (dureza Shore)*
- **UNE-EN 60811-501.** *Cables eléctricos y de fibra óptica. Métodos de ensayo para materiales no metálicos. Parte 501: Ensayos mecánicos. Ensayos para determinar las propiedades mecánicas de las mezclas de aislamientos y cubiertas*
- **UNE-HD 605:2013.** *Cables eléctricos. Métodos de ensayo adicionales.*
- **UNE-EN 60695-2-11:2015.** *Ensayos relativos a los riesgos del fuego. Método de ensayo del hilo incandescente. Ensayo de inflamabilidad para productos terminados.*
- **UNE-EN 60243-1:2013.** *Rigidez dieléctrica de los materiales aislantes. Métodos de ensayo. Parte 1: Ensayos a frecuencia industrial*
- **UNE 211605.** *Ensayo de envejecimiento climático de materiales de revestimiento de cables*
- **UNE-EN 60811-403.** *Cables eléctricos y de fibra óptica. Métodos de ensayo para materiales no metálicos. Ensayo de resistencia al ozono sobre compuestos elastoméricos.*

La Especificación AENOR EA 0058:2016 define una serie de conceptos técnicos esenciales para una selección correcta y una evaluación de los forros. También se establecen criterios de clasificación y ensayo.

### 2.3.1. Definición de forro y principios funcionales

El forro es definido como un elemento de protección cuya función principal es evitar el contacto eléctrico directo entre la avifauna y las partes activas de una línea eléctrica. Queda demostrado que el uso de forros reduce considerablemente la mortalidad de aves en este tipo de entornos.

Desde un punto de vista del diseño, estos dispositivos deben cumplir con unos requisitos generales:

- Presencia de un sistema eficaz de evacuación de agua para prevenir acumulaciones internas.
- Mantenerse firmemente en su posición bajo condiciones medioambientales previsibles. Deben evitar desplazamientos por vientos o por vibraciones.
- Buena adaptabilidad dimensional a los componentes que recubren. Deben asegurar un ajuste seguro y eficiente.

El forro debe estar fabricado con un material aislante eléctrico. La normativa establece que no deben existir elementos conductores que atraviesen su superficie en zonas protegidas, y que tanto la cara interna como la externa han de estar libres de defectos visibles (grietas, agujeros, fisuras, abrasiones...) que puedan comprometer su integridad dieléctrica. Solo se aceptarían pequeñas irregularidades si no afectan la funcionalidad del dispositivo.

La norma exige que los forros tienen que ser capaces de rendir en un rango térmico amplio, comprendido entre  $-25^{\circ}\text{C}$  y  $105^{\circ}\text{C}$ , sin perder su funcionalidad. Es decir, deben seguir cumpliendo como aislantes eléctricos tanto en climas fríos como en entornos cálidos. Esto implica:

#### a) A bajas temperaturas (hasta $-25^{\circ}\text{C}$ ):

Los materiales pueden volverse frágiles. Hace falta hacer una comprobación de si siguen siendo mecánicamente resistentes y de que no se agrieten ni se deformen. La norma EA 0058 exige un ensayo mecánico específico (apartado 8.3.2., norma AENOR 0058:2016). Esta prueba simula las condiciones frías y evalúa si el forro conserva sus propiedades estructurales.

#### b) A altas temperaturas (hasta $105^{\circ}\text{C}$ ):

Los materiales pueden ablandarse perdiendo la forma o reduciendo la capacidad dieléctrica. No se exige ensayo físico, sino que se acepta una declaración del fabricante que certifique que el material empleado ha sido probado o formulado para soportar esa temperatura de manera continua. Para estas temperaturas donde se evalúa el comportamiento del material, se aplican ensayos específicos como la norma **UNE-EN 60695-11-10:2013/AC:2014** que corresponde al **Ensayo de Combustión Vertical**

### 2.3.2. Clasificación de forros

La norma establece dos criterios principales de clasificación:

- a) Según el tipo de componente protegido
- Forros para conductores
  - Forros para grapas y herrajes de amarre o suspensión
  - Forros para conectores
  - Forros para partes metálicas de los aisladores
  - Forros para bornas de Auto válvulas y transformadores
  - Forros para seccionadores y cortacircuitos
  - Forros para puntos de puesta a tierra

Este apartado establece que cuando un forro cubre varios elementos, debe identificarse con un nombre compuesto o múltiple (ejemplo: SPSF6, EnverTec)

- b) Según la tensión nominal de la red eléctrica

Tabla 6. Clasificación según la tensión nominal (EA 0058, 2016)

Clase	Tensión Nominal (kV)
0	$> 1 \text{ kV y } \leq 30 \text{ kV}$
1	$> 30 \text{ kV y } \leq 66 \text{ kV}$

### 2.3.3. Instalación

Los forros deben venir acompañados de unas instrucciones de instalación del fabricante, donde se detalla el modo de instalación, y mencionar elementos, accesorios o dispositivos que permitan su correcto funcionamiento.

### 2.3.4. Marcado

Se requiere que los forros lleven un marcado claro, ya sea en relieve, grabado o impreso de forma que no se borre con el tiempo y sobre todo que sea legible. El marcado en cuestión debe incluir:

- Nombre e identificación del fabricante
- Referencia del modelo
- Nivel de tensión
- Fecha de fabricación. Puede ser incluido en el número de lote o en un código interno que permita saber cuándo y dónde se hizo
- Símbolo de reciclabilidad

En caso de que el forro pueda ser instalado utilizando técnicas de trabajo en tensión o a distancia, se añadiría una "T" al final de la referencia del modelo. El marcado tiene que estar en la parte externa del forro, accesible a plena vista. Tampoco puede influir negativamente en la calidad del forro.



### 2.3.5. Ensayos

La norma EA 0058 establece una serie de ensayos tanto sobre los materiales empleados como sobre los forros completos. Estos ensayos se clasifican en estos dos tipos según las muestras solicitadas:

- **ENSAYOS SOBRE EL MATERIAL:**

Ensayos sobre el material. Deben realizarse antes de la comercialización de un nuevo modelo para verificar que sus características son las adecuadas para las condiciones de uso previstas.

#### 2.3.5.1. *Ensayo de dureza (8.2.1)*

Ensayo conforme a la Norma UNE-EN ISO 868, ayuda a determinar la dureza de penetración del material del forro. Se debe medir la temperatura ambiente de la sala de ensayo, y la dureza de las muestras siguiendo las pautas de dicha norma. Se emplea un durómetro Shore tipo A (Fig. 14).



Figura 14. Ejemplo de un durómetro Shore analógico. Marca Sauter HBA 100-0

El criterio de aceptación es cuando la dureza de cada una de las muestras sea superior a 50 (Shore A).

#### 2.3.5.2. *Ensayo de resistencia a la tracción y alargamiento a rotura (8.2.2)*

Ensayo conforme a la Norma UNE-EN 60811-501, permite determinar la máxima carga de tracción soportada por el material empleado y el incremento de longitud producido a la rotura. Este ensayo se realiza siguiendo los requerimientos establecidos en dicha norma sobre 5 muestras del material del forro.

Hay dos criterios de aceptación:

- a) La tensión de rotura de cada muestra debe ser  $\geq 4$  [N/mm<sup>2</sup>].
- b) El alargamiento de rotura de cada muestra debe ser  $\geq 200$  %.

### 2.3.5.3. *Ensayo de resistencia al desgarro (8.2.3)*

Ensayo para determinar la resistencia al desgarro del material. Se lleva a cabo conforme a lo establecido en el apartado 2.2.2.2 de la Norma UNE-HD 605, sobre un total de 3 muestras del material. El criterio de aceptación es que la Resistencia al Desgarro de cada muestra debe ser  $\geq 10$  [N/mm].

### 2.3.5.4. *Ensayo de inflamabilidad (8.2.4)*

Este ensayo tiene como finalidad comprobar la respuesta del material empleado en la fabricación del forro ante la ignición directa y evaluar su capacidad para extinguirse por sí mismo una vez retirada la fuente de calor. Con esto se pretende garantizar que el material no contribuya a propagar el fuego.

La prueba se lleva a cabo siguiendo los criterios que vienen establecidos en la norma UNE-EN 60695-2-11, aplicados sobre una muestra representativa del material. Este se somete a una temperatura de 650°C (simulación extrema pero realista). La aceptación o rechazo dependerán del cumplimiento de los requisitos definidos en el capítulo 10 de dicha norma. Esta norma define procedimientos para poder evaluar el comportamiento de materiales eléctricos frente al fuego. Es muy importante para garantizar que el diseño del forro no tenga un riesgo aumento de incendio en caso de arco eléctrico. Dentro de esta norma existen varios tipos de ensayos. A continuación, se explicará el ensayo de inflamabilidad que proporciona una mayor seguridad, aunque éste no venga solicitado por la EA0058.

El ensayo de Inflamabilidad según la norma UNE-EN 60695-11-10:2013/AC:2014 corresponde al Ensayo de Combustión Vertical (Fig. 15), en el cual se somete el material a una llama durante 10 segundos, aquí se evalúan los parámetros como son el tiempo de llama residual y el goteo del propio material, que son indicadores esenciales de su comportamiento ante el fuego.

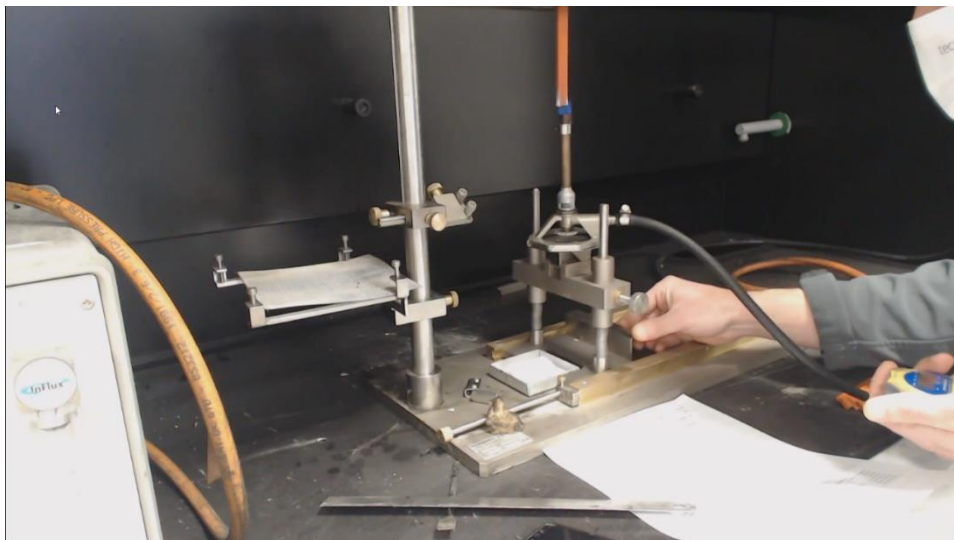


Figura 15. Ensayo de Combustión Vertical según norma UNE-EN 60695

Esta prueba se realiza en condiciones ambientales controladas, con dos sets diferentes de 10 probetas: el primero acondicionado a una temperatura de  $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  y a una humedad relativa de  $50\% \pm 5\%$  durante unas 48 horas, y el segundo set estará acondicionado a una temperatura de  $70^{\circ}\text{C} \pm 1$  durante 168h en un horno con ventilación. Esto se hace para simular condiciones extremas. Tras la realización del ensayo según la norma UNE-EN 60695-11-10:2013/AC:2014, se procede a clasificar el material en tres categorías: V0, V1 y V2, dependiendo de su capacidad de resistir la combustión, el goteo inflamado y la incandescencia residual. Estas clasificaciones reflejan el grado de autoextinción del material:

- a. **Clasificación V0:** La más exigente (Fig. 16). El fuego se extingue en 10 segundos sin goteo.
- b. **Clasificación V1:** El fuego puede tardar en extinguirse hasta 30 segundos, también sin goteo.
- c. **Clasificación V2:** El fuego se extingue en 30 segundos, pero con presencia de goteo.

Es fundamental utilizar materiales con clasificación V0 puesto que ofrecen un mayor nivel de seguridad frente al riesgo de incendio. Se trata de una elección especialmente crítica en instalaciones localizadas en zonas naturales o de alto valor ecológico, donde minimizar el riesgo de ignición puede prevenir incendios naturales (EnverTec, 2021).



Figura 16. Ejemplo de material clasificado como V0 (EnverTec, 2021)

#### 2.3.5.5. **Ensayo de rigidez dieléctrica (8.2.5)**

Ensayo sirve para determinar cuanta tensión eléctrica puede aguantar un material aislante antes de perforarse o sufra una ruptura dieléctrica (cuando el material deja de aislar y permite el paso de corriente).

Se hace conforme al Capítulo 10.2 de la Norma UNE-EN 60243-1, en el que se requieren 5 muestras de 60 x 60 mm. El espesor del material debe conocerse con precisión porque el resultado se expresa en kV/mm.

Para el montaje del ensayo se usa aceite de transformadores como medio aislante líquido para simular condiciones reales de aislamiento y evitar descargas. Se usan dos electrodos de  $\varnothing 25$  mm. La probeta se coloca entre ambos electrodos sumergiéndose en

el aceite. Se aplica tensión creciente hasta la ruptura del material. El material es aceptado únicamente si supera o iguala los 18 [kV/mm].

#### **2.3.5.6. Ensayo de envejecimiento climático (8.2.6)**

Ensayo que analiza el comportamiento del material empleado en la fabricación del forro mientras se somete a un largo periodo de tiempo a la acción de la radiación solar y a la intemperie. Se realiza conforme a la Norma UNE 211605 sobre cinco probetas de 6 cm x 6 cm. Las probetas se deben tomar de la zona expuesta a la radiación.

Para el montaje del ensayo se consideran estas condiciones:

- a) Radiación Energética = 43 [W/m<sup>2</sup>]
- b) Nº de Ciclos Climáticos = 6
- c) Temperatura del recinto para las fases 3 y 4 del ciclo = (70 ± 3) °C.

El criterio de aceptación es cuando no hay una variación mayor del 15% de la dureza y rigidez dieléctrica.

#### **2.3.5.7. Ensayo de resistencia de ozono (8.2.7)**

Ensayo realizado conforme a la Norma UNE-EN 60811-403, en el que se evalúa la resistencia al agrietamiento superficial producido en la superficie del material debido al efecto del ozono. Se realiza sobre 1 muestra bajo las siguientes condiciones:

- a) Temperatura = 25 ± 2 °C
- b) Concentración de Ozono: 250 ± 25 ppm
- c) Tiempo de exposición: 30h

El ensayo es aprobado cuando el forro no presenta ninguna grieta en la inspección visual realizada después del ensayo.

- **ENSAYOS SOBRE FORRO COMPLETO**

Deben aplicarse a cada unidad fabricada, comprobando su integridad física y funcional.

#### **2.3.5.8. Verificación de las características constructivas (8.3.1)**

Se lleva a cabo una inspección visual de la pieza según el plano aportado por el fabricante. Se comprueban todas las dimensiones, teniendo en cuenta las tolerancias especificadas sin someter el dispositivo a ningún tipo de esfuerzo.

También se debe comprobar la validez y calidad del marcado, que debe permanecer legible después de ser frotado sucesivamente durante 1 minuto con un trapo empapado de agua jabonosa seguida de otro minuto con un segundo trapo empapado en alcohol isopropílico.

### 2.3.5.9. Ensayo mecánico de impacto a baja temperatura (8.3.2)

Ensayo que ayuda a evaluar la resistencia al impacto mecánico en frío de los forros. Deben ser sometidos al aparato de la Fig. 17, el cual representa un equipo para la realización de este ensayo sin pretender estandarizar su diseño salvo en las dimensiones indicadas.

El aparato y la muestra deben introducirse en un refrigerador a una temperatura de ensayo de  $-25\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ . En el caso de que la muestra alcance esa temperatura o después de un periodo de 2 horas, se coloca el forro sobre la base de acero como en la figura.

El ensayo básicamente consiste en dejar caer un martillo de 6,8 kg desde 300 mm  $\pm 1\%$  sobre el punto más débil del forro (a más de 5 mm del borde), aplicando 20 J de energía. Después del impacto se deja que el forro vuelva a temperatura ambiente y se rechaza si presenta grietas o fracturas.

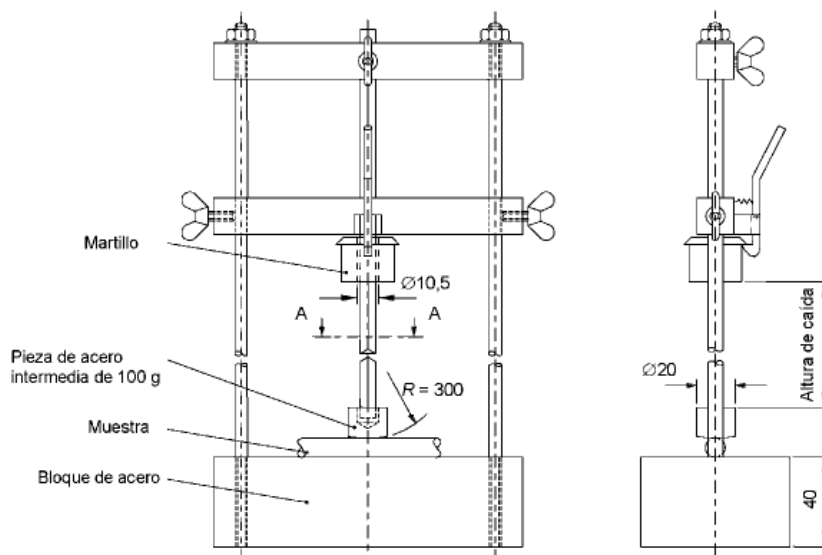


Figura 17. Aparato modelo para la prueba de Impacto (EA 0058, 2016)

### 2.3.5.10. Ensayo dieléctrico y medida de la corriente de fuga (8.3.4)

Este ensayo tiene como objetivo determinar la capacidad del forro para soportar tensiones eléctricas sin riesgo de fugas de corriente.

El ensayo se realiza sobre una muestra, la cual debe limpiarse cuidadosamente con alcohol isopropílico y dejarse secar al aire durante 15 minutos antes del ensayo. Seguidamente se expone a una atmosfera húmeda sin que entre en contacto directo con agua líquida y luego secarse de nuevo con papel absorbente. Todo esto se lleva a cabo en condiciones atmosféricas normales comprendidas entre  $18\text{ }^{\circ}\text{C}$  y  $28\text{ }^{\circ}\text{C}$  y con una humedad relativa entre 45 y 75%.

Después de esta fase de acondicionamiento, la pieza es instalada en condiciones que simulen su funcionamiento real, con todos los elementos de su instalación como los empalmes, grupos de sujeción, de aislamiento, terminales, cintas, etc. Si se trata de un forro dividido por varias partes se debe ensayar cada una por separado.

Para medir la corriente de fuga se usa un electrodo metálico compuesto de mallas trenzadas de cobre estañado que envuelve la superficie del forro. La malla debe colocarse de forma que la distancia entre su borde y la entrada del conductor sea  $\geq 50$  mm. El contacto entre la malla y el forro debe ser uniforme, si hace falta se rodea el cuerpo varias veces para tener mejor cobertura (Fig. 18).

La malla es luego conectada a tierra mediante un cable. Esto permite medir la corriente de fuga a través de un circuito específico. El objetivo es aplicar una tensión controlada para medir la corriente que fluye a través del electrodo.

En resumen, el ensayo se realiza aplicando una tensión durante 1 minuto simulando condiciones normales de funcionamiento. La corriente de fuga se mide gracias a la conexión entre la malla de cobre y tierra. Se acepta el ensayo cuando el aislamiento del forro no presente ninguna perforación dieléctrica, cebado ni arco de contorneo, y que la corriente de fuga es inferior a 2 mA.

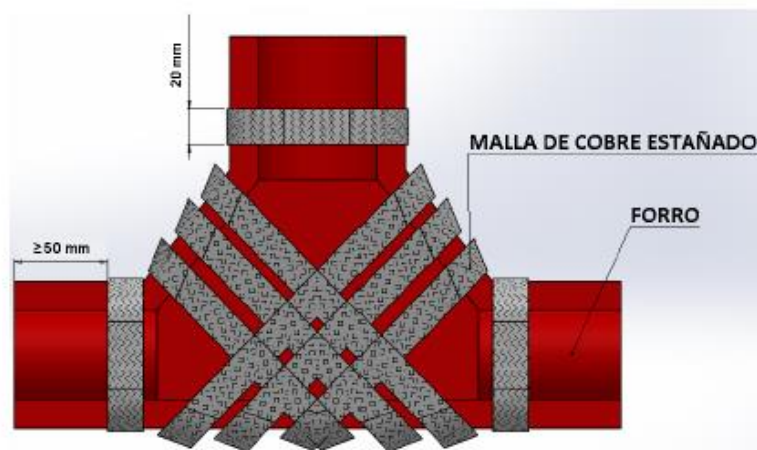


Figura 18. Ejemplo de disposición del electrodo metálico sobre un forro (EA 0058, 2016)

Ensayos de muestreo (Sample test): se hace para los ensayos de muestreo, el número de muestras será establecido por la Tabla 7. Esos ensayos son ensayos periódicos que se llevan a cabo sobre una muestra representativa definida de forros completos para confirmar que el producto final cumple con las especificaciones técnicas exigidas.

Tabla 7. Número de muestras para ensayos de muestreo (EA 0058, 2016)

Tamaño de lote suministrado	Muestra	Tamaño de la muestra (%)	Nº de defectos para aceptar	Nº de defectos para rechazar
20 to 500	Única	2**	0	$\geq 1$
500 to 1 000	Primera		0*	$\geq 2$
500 to 1 000	Segunda		0	$\geq 1$
> 1 000	Primera		Sujeto a acuerdo entre cliente y fabricante	

\* En caso de 1 fallo no se rechaza la muestra, pero se deben repetir los ensayos con las mismas pautas; si vuelve a aparecer un fallo se rechaza el lote.  
\*\* Con un mínimo de 5 muestras.

Tabla 8. Listado y clasificación de los ensayos de la Norma (EA 0058, 2016)

Descripción de los ensayos	Apartado	Ensayos de Tipo	Ensayo Individual	Ensayo sobre muestras
<b>Ensayos sobre el material:</b>				
Ensayo de Dureza	8.2.1	X		
Ensayo de resistencia a la tracción y alargamiento hasta la rotura	8.2.2	X		
Ensayo de Resistencia al desgarro	8.2.3	X		
Ensayo de inflamabilidad	8.2.4	X		
Ensayo de Rigidez dieléctrica	8.2.5	X		
Ensayo de envejecimiento climático	8.2.6	X		
Ensayo de Resistencia al ozono	8.2.7	X		
<b>Ensayos sobre el forro completo:</b>				
Verificación de las características constructivas	8.3.1	X		X
Forma y dimensiones	8.3.1.1	X		X
Aspecto y acabado	8.3.1.2	X	X	
Marcado	8.3.1.3	X	X <sup>1)</sup>	X
Ensayo mecánico a baja temperatura	8.3.2	X		
Ensayo mecánico del forro	8.3.3	X		
Ensayo dieléctrico y medida de corriente de fuga	8.3.4	X		

1) Solo Inspección visual.

### 3. ESTUDIO DE MERCADO

---

El presente estudio de mercado tiene como objetivo evaluar la viabilidad y la demanda destinados a la protección de la avifauna en las subestaciones eléctricas. Actualmente, los fabricantes no cuentan con forros diseñados específicamente para estas instalaciones, por lo que existe una necesidad de alternativas.



*Figura 19. Ejemplo de Subestación (Cuerva, 2024)*

Ante la falta de opciones hechas a medidas, se han considerado aquellos dispositivos cuya geometría guardan cierto parecido con los componentes en tensión que suelen encontrarse en las subestaciones. No son soluciones diseñadas con tal objetivo, pero se acercan lo suficiente como para ofrecer una alternativa “viable”, al menos como punto de partida.

En este análisis se presentarán distintos modelos de forros protectores, enfocados principalmente en cubrir bornas. Las bornas cumplen un rol esencial, son el punto de conexión entre los conductores eléctricos y los transformadores u otros elementos de la instalación (Fig. 18). Hay que tener en cuenta que no todas las bornas son iguales. Existen diversos tipos, como las bornas de conexión, de tornillo o de resorte, cada uno con particularidades, pero todos con un factor común: dejan superficies conductoras al descubierto.

Todos estos tipos de bornas presentan superficies expuestas con un elevado riesgo de contacto para las aves. Este punto es crucial, el diseño de un forro especializado pretende cubrir aislando así esos puntos críticos ayudando a mitigar el riesgo de electrocución sin comprometer la funcionalidad. En algunos casos, como las bornas de tornillo o de conexión, los terminales quedan al descubierto incrementando aún más el peligro.

Para contextualizar el diseño propuesto, se incluye a continuación una comparativa de distintas soluciones disponibles en el mercado destinadas a la protección de elementos que pueden llegar a tener geometrías similares a las piezas en tensión de las subestaciones eléctricas, indicando sus materiales, aplicaciones y limitaciones.

## 3.1. ESTUDIO DE MERCADO NACIONAL

### CONECTORES Y SISTEMAS

Conectores y Sistemas es una empresa con sede en Granada dedicada exclusivamente a la fabricación de soluciones de protección avifauna para infraestructuras eléctricas. Desde su fundación en 2003, ha centrado su actividad en el desarrollo de cubiertas, mantas y protectores fabricados con materiales poliméricos aislantes, pensados para minimizar riesgos en componentes conductores de la electricidad.

El catálogo de la empresa incluye una gran variedad de cubiertas diseñadas para el aislamiento de casi todos los elementos en tensión potencialmente peligrosos para las aves en redes de media y alta tensión (CONECTORES Y SISTEMAS, 2025).



Figura 20. Portada del catálogo de Conectores y Sistemas

Las soluciones ofrecidas se basan en piezas premoldeadas, tubos retráctiles y cubiertas ajustables, todas enfocadas en cubrir puntos críticos de contacto sin interferir en la operatividad del sistema eléctrico. Los materiales termoplásticos aislantes empleados ofrecen una buena rigidez dieléctrica sin dejar de ser ligeros; esto permite fabricar protectores que se ajustan bien a distintos componentes sin añadir peso excesivo. Aunque también son rígidos, manteniendo siempre su forma inalterable lo que puede ayudar a desempeñar su función hasta en condiciones atmosféricas adversas. Esto permite fabricar protectores que se ajustan bien a distintos componentes sin añadir peso excesivo.

Aunque, existe el riesgo de que los polímeros puedan degradarse perdiendo su color rojo e incluso llegando a afectar en su operatividad. Esta característica junto a la naturaleza no ignífuga del material puede llegar a suponer un gran problema en entornos con riesgo de arco eléctrico o exposición a chispas. Además, su resistencia mecánica puede ser limitada frente a esfuerzos prolongados si no están reforzados.

La elección del material, en el contexto de este proyecto, merece una evaluación muy detallada para asegurar el nivel de aislamiento eléctrico, a la vez que su fiabilidad a la hora de posibles arcos eléctricos o puntos calientes para que no lleguen a derivar en incendios.

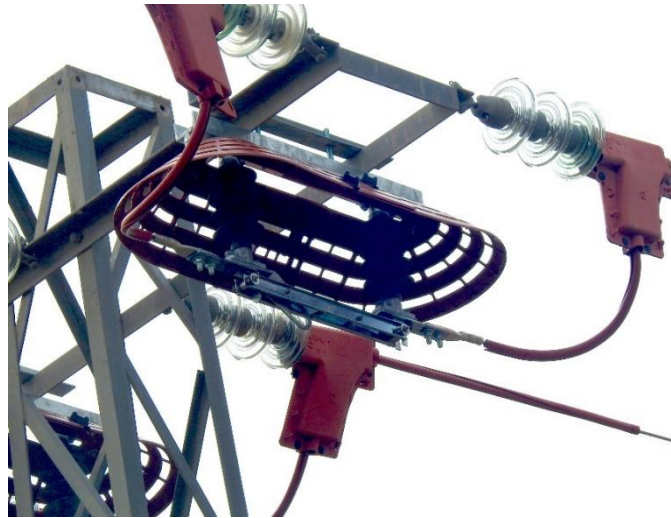
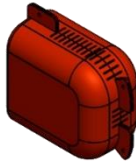
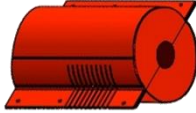

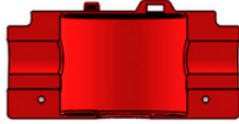


Figura 21. Soluciones ofrecidas por Conectores y Sistemas

A continuación, se incluye en la tabla 9 general con los principales modelos de protectores para bornes y elementos especiales, detallando características, compatibilidades y aplicaciones. También se presenta un enfoque específico en el modelo **CPB-36**, seleccionado por su adaptabilidad.

Tabla 9. Tabla general de soluciones específicas para Bornas (Conectores y Sistemas)

MODELO	FUNCIÓN	IMAGEN
<b>CSCAPU-1</b>	Cubre transformadores, transformadores aéreos, pararrayos y terminaciones.	
<b>CSCAPU-2</b>	Cubre transformadores, transformadores aéreos, pararrayos y terminaciones.	
<b>CSCAPU-3</b>	Cubre transformadores, transformadores aéreos, pararrayos y terminaciones.	
<b>CSPARPOL</b>	Protector para cubrir transformadores y pararrayos.	

El modelo que más se asemeja a la geometría que comúnmente tienen los dispositivos encontrados en las subestaciones eléctricas es el modelo con referencia CSCAPU-3, donde sus características principales quedan reflejadas en la Tabla 10.

Tabla 10. Características generales del modelo CSCAPU-3

MODELO	MATERIAL	TENSIÓN	FUNCIÓN
<b>CSCAPU-3</b> 	Materiales Poliméricos	$\leq 18$ kV	Protector para cubrir transformadores, transformadores aéreos, pararrayos y terminaciones.
	<b>CERTIFICACIÓN</b>		
	No especificada en el catálogo		
<b>CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Presenta un diseño envolvente con geometría semicilíndrica y una cubierta superior tipo cúpula para evitar acumulación de agua o residuos</li> <li>✓ Incluye ranuras laterales para facilitar la instalación y el acople</li> </ul>			

El modelo CSCAPU-3 pertenece a una línea de protectores (junto a los modelos CSCAPU-1 y CSCAPU-2), desarrollados para cubrir elementos expuestos en instalaciones eléctricas como transformadores, terminales, pararrayos o conexiones aéreo-subterráneo. Cada uno responde a necesidades ligeramente distintas, pero comparten la misma forma base.

El CSCAPU-3 ha sido diseñado para cubrir componentes de formas cilíndricas ligeramente prismáticas, que suelen encontrarse en puntos vulnerables.

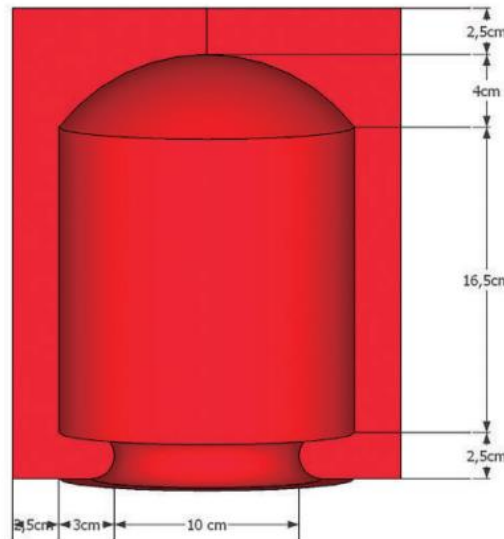
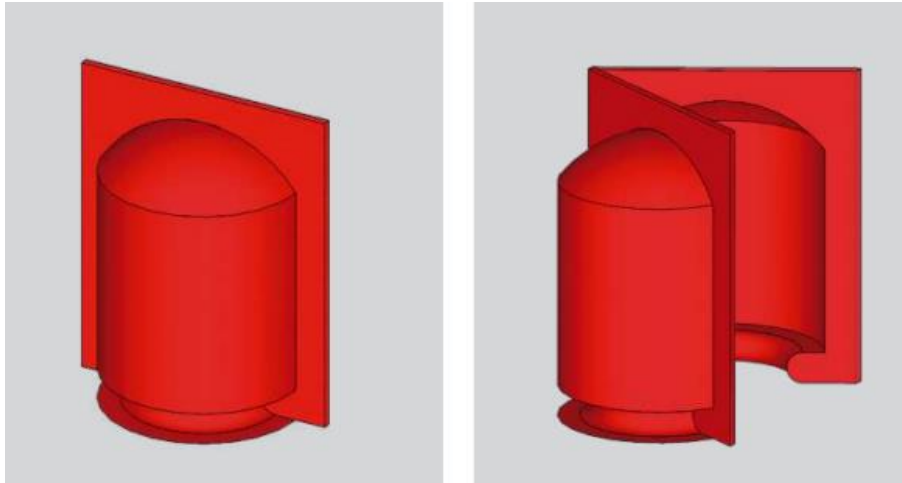


Figura 22. Dimensiones del forro modelo CSCAPU-3 (CONECTORES Y SISTEMAS, 2025)

No se detalla el método de instalación ni el tipo de fijación. La forma del dispositivo (*Fig. 23*) sugiere una instalación directa por encaje, pero no se especifica si debe utilizarse adhesivos, bridas o su propio diseño encajable. En otros de los dispositivos comercializados por el mismo fabricante, se indica que la fijación se realiza mediante “tornillos” de material también plástico y color negro, los cuales se venden a parte del dispositivo incrementando su precio.



*Figura 23. Vistas alternativas del modelo CSCAPU-3*

Tampoco se ha podido visualizar sus especificaciones técnicas ya que las fichas técnicas de los dispositivos de esta marca se encuentran en un apartado no visible públicamente, para el que se necesitaría solicitar acceso mediante un “portal cliente”.

La parte superior en forma cilíndrica acabada en un domo semiesférico no parece una decisión casual: ayuda a evitar que se acumule agua, polvo o busca evitar la nidificación sobre él. Las ranuras laterales también sugieren un encaje por presión o flexión del propio material.

En conclusión, el modelo CSCAPU-3 puede resultar interesante para proyectos que busquen una solución sencilla y económica para cubrir elementos eléctricos expuestos en media tensión. También podría ser de interés en contextos donde se busca reducir riesgos de contacto accidental, pero sin necesidad de una envolvente compleja o sobredimensionada, viéndose como una alternativa práctica para compañías eléctricas que estén adaptando instalaciones con medidas de protección mínimas.

Eso sí, para aplicaciones en zonas con alta exposición ambiental (viento, calor, zonas ZEPA o riesgo de incendio), sería recomendable que el material cuente con propiedades ignífugas. Por ahora, el valor de estos productos radica más en la usabilidad y sencillez que en la especificidad técnica avanzada.

## ENVERTEC S.L.

EnverTec es una empresa española con sede en la ciudad de Granada especializada en el diseño, fabricación y suministro de soluciones avanzadas para la protección de la avifauna frente a los riesgos de electrocución y colisión en líneas eléctricas de media y alta tensión, evitando así las interrupciones en el servicio de suministro eléctrico. También cuenta con una línea de comercialización de aisladores poliméricos adaptados para cumplir con los requerimientos del R.D. 1432/2008 que exige unas medidas mínimas longitudinales de aislamiento dependiendo de la tipología del apoyo.

Considerada como referente nacional e internacional en sistemas de protección antielectrocución y anticolidión, EnverTec ha logrado consolidar su presencia en países como Portugal, Chile, Costa Rica, Bulgaria, Noruega, México y, recientemente, Colombia, con un nuevo envío de soluciones especializadas marca CAON-KORWI®, entre las que incluyen los modelos como el STSC13, el SPSF6 o el nuevo modelo SPSF66.

Esta empresa lleva a cabo un control sobre todas las fases del proceso de producción desde la etapa de diseño inicial, adecuándose a la normativa vigente y a los requerimientos de los clientes, hasta la producción y definición de los ensayos individuales y de muestreo. Esto permite una mayor calidad, trazabilidad y adaptabilidad de sus soluciones. También prestan especial atención a la fase logística, ofreciendo formatos de suministros eficientes y sostenibles, los cuales están adaptados a las características de cada uno de los productos y al medio de transporte empleado según los Incoterms acordados.



Figura 24. Portada del Catálogo 2025

EnverTec opera bajo un sistema de gestión certificado por las normas internacionales ISO 9001:2015 (Gestión de la Calidad), ISO 14001:2015 (Gestión del Medioambiente) e ISO 45001:2018 (Gestión de la Seguridad y Salud de los trabajadores) (Fig. 25).



Figura 25. Nuevas certificaciones ISO obtenidas (EnverTec, 2021)

Algunos de los productos suministrados de EnverTec han superado con éxito los ensayos necesarios para su certificación (Fig. 26), además de ser incluidos en la certificación A30/000121 conforme a la especificación AENOR EA0058:2016.

Para poder valorar correctamente el desempeño de los forros de marca CAON-KORWI®, se presentan a continuación dos tablas que recogen las características nominales de los materiales empleados y las especificaciones técnicas que obtuvieron mediante diversos ensayos normalizados con el fin de evaluar la fiabilidad mecánica, térmica y eléctrica en entornos de operación reales.



Figura 26. Certificación AENOR obtenida para el forro SCA6RT (EnverTec, 2025)

Tabla 11. Características nominales de la Silicona HTV (EnverTec, 2016)

<b>CARACTERÍSTICAS NOMINALES DEL MATERIAL</b>	
Denominación	Caucho de Silicona (Negro de carbón blanco)
Tipo	HTV. Componente de caucho de silicona sólido con vulcanización a elevada temperatura (180°C)
Modelo	110-2 (película molecular 60W a 65W)
Rev. Hidrófugo	Nivel Hc2 – WC2 de permeabilidad al agua
Color	Rojo Ral 3031

El material empleado en los forros de EnverTec es un caucho de silicona HTV (*High-Temperature Vulcanized*) que fue sometido a un proceso de vulcanización a altas temperaturas, alrededor de 180°C. Este material es conocido por una excelente resistencia a la intemperie, al ozono, a la humedad y, especialmente, a las deformaciones a temperaturas elevadas que lo hacen adecuado para aplicaciones en sistemas eléctricos de alta tensión. Este material también se usa para la fabricación de las “camisas” poliméricas de los aisladores de composite por su buen comportamiento en atmosferas salinas o contaminadas.

Tabla 12. Especificaciones Técnicas del compuesto usado (EnverTec, 2016)


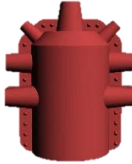



<b>ESPECIFICACIONES TÉCNICAS</b>	
Inflamabilidad	V0 (UNE 60695-11-10)
Densidad	>1,1 g/cm <sup>3</sup> (ISO-868)
Dureza	>50 Shore A (ISO-868)
Tensión de Rotura	>4N/mm <sup>2</sup> (EN 60811-501)
Alargamiento de Rotura	>200% (EN 60811-501)
Resistencia al Desgarro	>10N/mm <sup>2</sup> (UNE-HD-605)
Rigidez Dieléctrica	>18kV/mm (UNE 60243-1)
Resistencia al Ozono	250ppm (UNE 60811-403:2012)
Envejecimiento climático	1000h (UNE EN 60243-1)

Estas especificaciones permiten anticipar el posible rendimiento de los forros bajo condiciones de alta exigencia. Una dureza superior a 50 Shore A indica un grado de flexibilidad que le permite absorber impactos y facilitar la conformación de piezas sin comprometer su resistencia mecánica. La densidad superior a 1,1 g/cm<sup>3</sup> contribuye a una mayor rigidez estructural, mientras que la rigidez dieléctrica superior a 18 kV/mm asegura una mayor resistencia a altos voltajes sin el riesgo de descargas eléctricas. Además, su resistencia al desgarro y al envejecimiento climático refuerza su desempeño en entornos exteriores bajo condiciones de carga sostenida.

Este fabricante opta por la transparencia porque desde su página web, se puede consultar públicamente las fichas técnicas de sus dispositivos, lo que facilita mucho la tarea de encontrar el forro más adecuado para cada dispositivo.


A continuación, en el contexto de este trabajo, se presentan dos tablas relacionadas con los protectores de bornas desarrollados por EnverTec de marca CAON-KORWI®. La Tabla 13 muestra un resumen general de todos los modelos disponibles con sus características generales, y la Tabla 14 se centra en un dispositivo en particular escogido por su diseño innovador:

Tabla 13. Tabla general de soluciones específicas para Bornas (EnverTec, 2016)

MODELO	FUNCIÓN	IMAGEN
<b>SPB</b>	Forro para bornes de alta tensión de trafos de hasta 36kv	
<b>SPSF6</b>	Forro multifunción	
<b>SPSF66</b>	Forro multifunción	
<b>SPP</b>	Forro para aisladores poliméricos de apoyo y bornas de transformador	
<b>SPEB</b>	Forro para botellas terminales de media tensión	

El análisis se centrará en el modelo SPSF6, ya que sus características lo convierten en una base adecuada para el diseño de un nuevo forro protector específicamente para subestaciones eléctricas (SPSF6, 2014).

Tabla 14. Tabla de detalles del modelo SPSF6 (EnverTec, 2014)

MODELO	MATERIAL	TENSIÓN	FUNCIÓN
	Compuestos TPO	≤ 52 kV	Protector multifuncional de silicona HTV diseñado para cubrir partes en tensión como: <ol style="list-style-type: none"> <li>Bornes de interruptores SF6</li> <li>OCR</li> <li>Pararrayos</li> <li>Aisladores tipo ANSI 57-2 y 57-3</li> <li>Seccionadores y bases portafusibles</li> <li>Soportes de barras</li> </ol>
	<b>CERTIFICACIÓN</b> AEONOR EA0058 		
<b>CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Silicona de 3,5 mm de espesor</li> <li>✓ 7 salidas conicas a distintas alturas y angulos (90°, 135°, 180°), adaptables a distintas orientaciones del conductor.</li> <li>✓ Cierres por 16 bulones preinstalados, sin necesidad de herramientas para el montaje</li> <li>✓ El sistema de PINs de doble cono permite inspecciones posteriores sin dañar el forro.</li> <li>✓ Sistema de drenaje inferior en forma de estrella para evitar humedad y condensacion</li> </ul>			

El SPSF6 es una solución interesante porque ofrece protección a diferentes componentes como:

- Bornes de interruptores SF6:** puntos de conexión de interruptores que usan gas SF6 para interrumpir circuitos de A.T. de manera segura. Al estar expuestos requieren aislamiento para prevenir posibles accidentes
- OCR:** dispositivo automático para abrir y cerrar circuitos en caso de fallo (rayo, ramas caídas, etc).
- Pararrayos:** dispositivos que “redirigen” la energía de un rayo hacia tierra, protegiendo los equipos eléctricos en el proceso. Aunque estén diseñados para esto, siguen teniendo conexiones expuestas que requieren aislamiento.
- Aisladores tipo ANSI 57-2 y 57-3:** Aisladores de porcelana que cuentan con aletas rígidas de gran tamaño. Son aisladores de tipología “apoyo” o “line post” que suelen colocarse en disposición vertical.
- Seccionadores y bases portafusibles:** Elementos de corte y maniobra dispuestos en apoyos o subestaciones eléctricas.
- Soportes de barras:** No todas las partes en tensión son dispositivos con operatividad eléctrica, en ocasiones, partes con función únicamente mecánica se encuentran en tensión por lo que deben de tenerse en cuenta en las adaptaciones con forros avifauna.

Este dispositivo ha revolucionado la adaptabilidad de los dispositivos avifauna sin perder la inicial búsqueda de ergonomía, ya que una de las misiones principales en el diseño de estos

dispositivos es que se amolden lo máximo posible al objeto a aislar para no interferir ni en la funcionalidad ni en la operabilidad de este.

Este forro viene con 7 salidas colocadas a diferentes alturas y ángulos ( $90^\circ$ ,  $135^\circ$ ,  $180^\circ$ ), por lo que se puede adaptar fácilmente a muchas estructuras (EnverTec, 2014). La instalación del forro se lleva a cabo sin complicaciones gracias a los 16 bulones (PINs) preinstalados, por lo que todo se hace a mano sin uso de herramientas (Fig. 27).

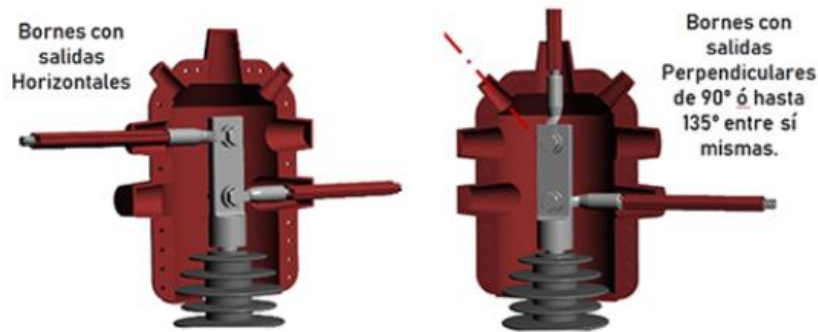


Figura 27. Identificación de las salidas y los ángulos del SPSF6 (EnverTec, 2014)

El modelo trae varias salidas cónicas que vienen cerradas de serie, para que solo se abran las necesarias (Fig. 27). Esto se hace con el fin de que el dispositivo no se llene de suciedad o de que se metan insectos (EnverTec, 2014).

**Bornes con salidas horizontales rotadas hasta  $20^\circ$**



Figura 28. Vista planta del forro (EnverTec, 2014)

El formato de suministro del protector para bornes modelo SPSF6 se organiza de la siguiente manera (Fig. 29):

- Se entregan en envases de cartón reciclable, cada uno conteniendo 4 unidades del protector, en color rojo RAL 3031.
- Cada caja incluye información del mes y del año de fabricación, del número de lote y recomendaciones de manipulación, almacenaje y reciclaje.
- Viene incluido un Manual de Instrucciones detallado que indica todos los pasos para la correcta instalación del protector. El manual incluye un código QR que enlaza a un video explicativo, facilitando aún más el proceso de montaje en campo.



Figura 29. Marcado del modelo SPSF6 (EnverTec, 2020)

Con todo esto, el SPSF6 ha sido capaz de traspasar fronteras ya que han servido para el aislamiento de transformadores de intemperie de media tensión en Bulgaria. Más concretamente en la *Figura 30* queda representado el dispositivo en condiciones operativas en una instalación en Bulgaria (EnverTec, 2014).



Figura 30. Imagen del SPSF6 montado en Bulgaria en 2019 (EnverTec, 2014)

## RH CORPORATIVE INTERNATIONAL



RH Corporate International es un grupo de empresas con sede en Madrid que han enfocado parte de su actividad en la fabricación de protecciones avifauna todas en material termoplástico.

A razón del incremento de incidentes de colisión y electrocución de aves en tendidos con CT aéreos y en líneas con la legislación vigente del R.D. 1432/2008, RH ha desarrollado una serie de productos incluyendo forros protectores para bornas de transformadores.

Los forros desarrollados por RH Corporate International son fabricados mediante un proceso de inyección de materiales con formulación propia (Compuesto TPO), con el fin de conseguir propiedades mecánicas y eléctricas optimizadas para entornos de alta tensión. En la Tabla 15 se recogen las especificaciones mecánicas de los forros de RH, obtenidas mediante los ensayos normalizados indicados en la Tabla 16:

Tabla 15. Especificaciones Técnicas del material usado (RH Corporate International, 2005)

Ensayo	Método	Unidades	Resultados
Densidad	ISO 1183	$g/cm^3$	1,37
1,37	ISO 868	Shore A	90
Resistencia al desgarro	UNE-HD 605 (Método 2)	$N/mm$	14
Resistencia a la tracción	UNE-EN 60811-501	$N/mm^2$	8
Alargamiento a rotura	UNE-EN 60811-501	%	566
Inflamabilidad	UNE-EN 60695-2-11	$^{\circ}C$	650
Resistencia al ozono	UNE-EN 60811-403	ppm	250
Rigidez dieléctrica	UNE-EN 60243-1	$kV/mm$	>18
Envejecimiento climático	UNE 211605	%	<15
Resistencia al fuego**	UNE EN 60695 11-10	-	V0

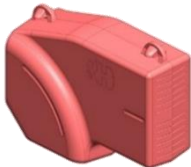
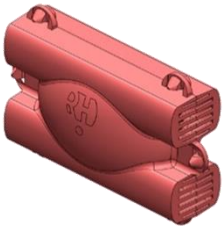

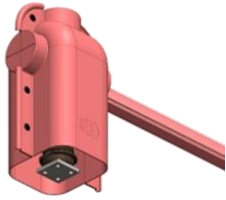

Tabla 16. Ensayos normalizados (RH Corporate International, 2005)

Ensayo	Método	Unidades	Resultados
Ensayo mecánico a baja temperatura	EA 0058	J	20
Ensayo mecánico del forro	EA 0058	N	>50
Ensayo dieléctrico y medida de corriente de fuga	EA 0058	mA	<2

Estos productos están desarrollados bajo un sistema de gestión de calidad certificado por la norma ISO 9001:2008 y de gestión medioambiental ISO 14001:2015.



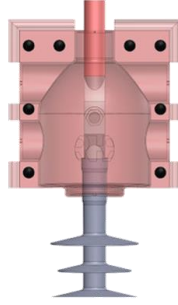
En la *Tabla 17* se presentan algunos de los elementos más representativos de esta marca. Cabe destacar que, si bien sus dispositivos están diseñados para reducir o mitigar el riesgo de electrocución, no hay garantía de protección integral puesto que no cubren completamente las partes en tensión. Al dejar ciertas zonas sin aislamiento, existe un riesgo de que puedan ocurrir los incidentes que se tiene que evitar. A pesar de esto, estos dispositivos son aceptados por compañías como Iberdrola como medida antielectrocución.

*Tabla 17. Tabla general de soluciones específicas para Bornas (RH Corporative International, 2005)*

MODELO	FUNCIÓN	IMAGEN
<b>RH-PPAT2.0</b>	Forro para cualquier borna o pasatapas para de trafos de hasta 36kv	
<b>RH-PAMP2.1</b>	Para conectores de empalmes o derivaciones en puentes flojos para conductores desnudos hasta LA 280.	
<b>RH-PPAT-D10/D21/16</b>	Para borna o pasatapas del lado de A.T para trafos aéreos instalados en poste	
<b>RH-PPBT/D7X3/12-14-37</b>	Para borna o pasatapas del lado de B.T. para trafos	
<b>RH-PTTA</b>	Para cualquier terminal, pasatapas, trafos o auto válvulas hasta 36 kV.	

Para la evaluación de los dispositivos protectores de bornas fabricados por RH, este apartado se centrará en el modelo RH-PTTA, ya que algunas de sus características junto con la manera en la que se presenta la información sobre su modo de instalación pueden considerarse referencias valiosas y aplicables al diseño del forro propuesto en este proyecto.

Tabla 18. Modelo RH-PTTA (RH Corporative International)

MODELO	MATERIAL	TENSIÓN	FUNCIÓN
<b>RH-PTTA</b> 	Compuestos TPO	≤ 36 kV	PIEZAS DE PROTECCIÓN PARA TERMINAL, TRAFOS Y AUTOVÁLVULAS  Puede ser instalado en cualquier terminal, pasatapas, trafos o auto válvulas hasta 36 kV
	<b>CERTIFICACIÓN</b>  Marca N AENOR 		
<b>CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ EMBALAJE: Múltiplos de 3 unidades</li> <li>✓ Fijación mediante 2 tornillos plasticos preinstalados</li> <li>✓ Posibilidad de sujeción alternativa mediante bridas</li> <li>✓ Adaptable a ejes de hasta 70 mm de diámetro</li> </ul>			

El forro modelo RH-PPTA es diseñado para cubrir ciertos componentes eléctricos cuya geometría y partes expuestas representan un riesgo de contacto para las aves. Componentes como:

- a) **Pasatapas:** elementos que permiten la conexión de equipos mediante unos envolventes metálicos. Suelen tener partes de dichas conexiones expuestas.
- b) **Terminales y auto válvulas:** zonas de entrada/salida de cables de media tensión donde hay riesgo por el contacto directo con las partes expuestas.
- c) **Transformadores o seccionadores aislados:** en ciertos casos, el **RH-PPTA** puede adaptarse a superficies ligeramente curvas o irregulares si el eje de fijación lo permite.

Este protector tiene buena versatilidad y facilidad de montaje, aunque por el material empleado sacrifica la adaptabilidad ergonómica que otros modelos si tienen.

La instalación del RH-PPTA es sencilla y pensada para que puedan ser montadas por técnicos de campo con rapidez sin tener que renunciar a la seguridad. Dependiendo del componente en el que se instalen, tienen manuales de instalación detallando el proceso:

- a) En terminales con campana o auto válvulas (Fig. 31):  
 Aquí se colocan las dos mitades del protector envolviendo la zona a forrar para luego ser fijadas mediante el uso de los **clips de cierre suministradas** en el kit.

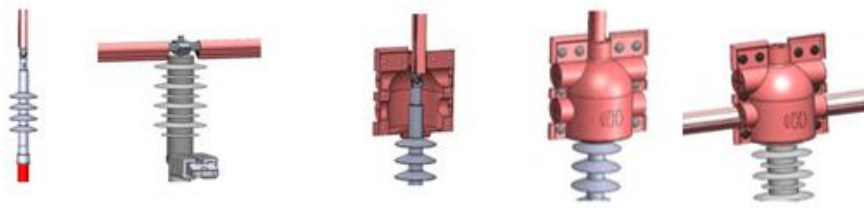


Figura 31. Proceso de instalación en terminales y Autoválvulas del RH-PPTA

b) En pasatapas (Fig. 32):

Cabe la posibilidad de que se tenga que recortar ligeramente el saliente de la parte inferior del protector RH-PPTA. La colocación sigue el mismo principio que antes, se trata de un montaje por cierre envolvente.



Figura 32. Proceso de instalación en pasatapas del RH-PPTA

c) En terminales sin campana (Fig. 33):

En este caso se usan unas bridas plásticas para sujetar el forro. Se coloca una mitad del RH-PPTA cubriendo la zona metálica en su totalidad. Luego se marca una línea guía en la base de la tobera para cortar el exceso de brida dejando 5 mm para continuar con la instalación garantizando que las bridas se queden bajo la salida vertical del forro.

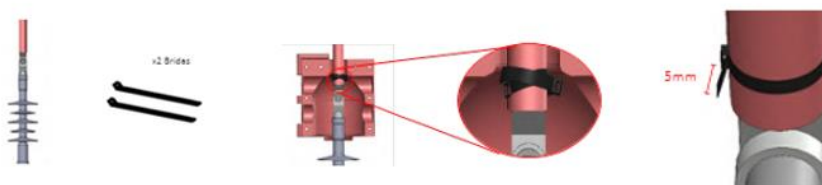


Figura 33. Proceso de instalación en terminación – sin apoyo en campana

El forro modelo RH-PPTA es empaquetado en múltiplos de 3, con cada unidad separada por plástico protector o espuma. En el embalaje no incluye código QR, pero si provee con un manual de instrucciones.

Aparte, RH International no especifica el lote ni la fecha de fabricación en cada unidad, lo que desde un punto de vista de trazabilidad se debe considerar.

Aunque cumple con su función básica, el RH-PPTA tiene ciertas limitaciones frente a otros modelos de diseño más completos. Su aplicación en estructuras más complejas se ve limitada por la ausencia de salidas cónicas (Fig. 34). El material empleado en la fabricación del forro, el compuesto TPO, ofrece una buena resistencia en general, pero tiene un rendimiento dieléctrico y una flexibilidad mucho más inferior que la silicona HTV. Además, la ausencia de sistema de drenaje o de respiración puede causar acumulación de humedad en entornos muy húmedos.

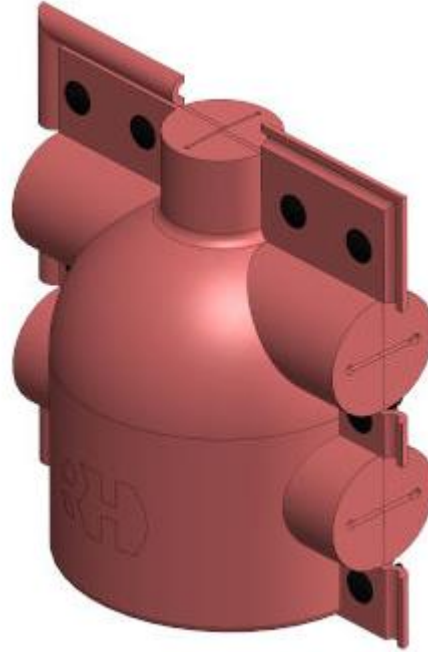


Figura 34. Modelo 3D del RH-PPTA (RH Corporative International)

En conclusión, el RH-PPTA es un dispositivo sencillo, robusto y funcional cuyo enfoque es ofrecer una respuesta práctica a elementos concretos. Aunque esté fabricado con un material menos resistente que la silicona HTV, el diseño de este forro presenta ciertos puntos positivos. Provee un manual de instalación completo para diferentes grupos de componentes eléctricos, acompañando las instrucciones de imágenes. Esto es un buen referente para este proyecto porque una buena protección no solo se trata del diseño físico del forro, sino también que tenga una instalación intuitiva y segura para los instaladores.

## 3.2. PANORAMA INTERNACIONAL DE SOLUCIONES DE PROTECCIÓN AVIFAUNA

Después de analizar un modelo de cada una de las tres empresas más destacadas en el sector de la protección avifauna en España, resulta interesante ampliar brevemente la búsqueda hacia algunas soluciones para bornas o directamente para subestaciones a nivel internacional.

**MIDSUN GROUP.** Empresa con sede en Connecticut, Estados Unidos, que opera a nivel internacional y se especializa en soluciones de aislamiento eléctrico y protección de la avifauna. Su catálogo ofrece múltiples forros para bornas adaptadas a distintas geometrías y tamaños. Estos forros son fabricados con silicona RTV, material que ofrece una buena resistencia a la contaminación y al salitre, siendo una opción práctica y económica para las zonas críticas de uso (SEITSA, 2018). Sin embargo, tiene menos rigidez y una estructura menos densa que hacen que no llegue al nivel de resistencia mecánica de la silicona HTV. Aunque la RTV cumple bien en ciertos contextos, la silicona HTV se impone como una opción más fiable, sólida y duradera (LeadRp, 2023).

Obtuvieron certificación según la norma IEEE 1656, además de estar aprobadas por la RUS (Rural Utilities Service). Algunas de sus soluciones para bornas más destacadas son:




**a) Bushing Cover Small/ Medium/ Extra Large:**

Esta familia de forros de MIDSUN ofrece protección contra contactos con fauna para bornas de distintos tamaños en:

- ✓ transformadores de servicio
- ✓ transformadores de poste
- ✓ para PT's (Potential Transformer) y CT's (Current Transformer)

Todos están fabricados con silicona RTV y poseen un aislamiento fase-tierra de hasta 25 kV y fijación mediante PINs que varía dependiendo del tamaño. El modelo SMALL cubre bornas de hasta 162,56 mm de altura y con una apertura inferior de hasta 76,20 mm. Incluye 5 PINs de fijación (identificados con un código de parte E/BC-Small). El MEDIUM amplía la cobertura a 275,84 mm de altura y 170,18 mm de base con 5 PINs también. Por último, el EXTRA LARGE, pensado para equipos más grandes, alcanza los 299,72 mm de altura con 170,18 mm de ancho. Este último incluye 6 PINs.



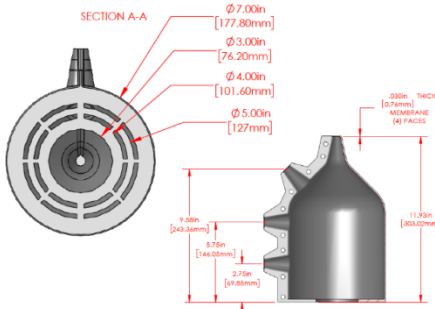

Tabla 19. Familia de Protectores para Bornas (MIDSUN GROUP, 1995)

Small	Medium	Extra Large
		

**b) Multiport Bushing Cover:**

Este modelo de Midsun Group es bastante interesante por su enfoque similar al modelo SPSF6 de EnverTec. Al igual que este, el Multiport Bushing Cover está diseñado para bornas con múltiples salidas, permitiendo un aislamiento efectivo incluso en configuraciones eléctricas complejas de varias conexiones. Se suministran con 9 PINs de fijación y también está fabricado con goma de silicona. Tiene un aislamiento Fase-Tierra de hasta 25 kV.

Tabla 20. Tabla de detalles del modelo Multiport Bushing Cover (MIDSUN GROUP)

MODELO	MATERIAL	TENSIÓN	FUNCIÓN
<b>MULTIPORT BUSHING COVER</b> 	Silicona RTV	≤ 25 kV	Protector multifuncional de silicona diseñado para cubrir bornas con múltiples salidas. 
	<b>CERTIFICACIÓN</b> Norma IEEE 1656		
<b>CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Duradero, no se descompone ni se vuelve quebradizo con el tiempo</li> <li>✓ Fijación mediante 9 PINs preinstalados</li> <li>✓ Alta resistencia UV, hidrofobicidad y durabilidad en exteriores</li> <li>✓ Compatible con bornas de diferentes <math>\varnothing</math>: 76,20; 101,60; 127,00; 177,80 [mm]</li> <li>✓ Altura total = 303,02 mm</li> </ul>			
			

**TE CONNECTIVITY**

La empresa TE CONNECTIVITY, a través de su línea Raychem, presenta el modelo BCAC-IC, fabricado con un polímero denominado poliolefina reticulada. Este es un forro aislante diseñado específicamente para proteger bornas de trafos, seccionadores y trafos de poste ante el contacto con la fauna. Este dispositivo es compatible con equipos de hasta 35 kV y destaca por una fácil instalación con el método propuesto “cold applied”, que no requiere de herramientas ni calor para su colocación (TE Connectivity, 2025).

Cuenta con una estructura de doble bisagra, la cual permite envolver fácilmente la parte superior de un aislador y asegurar un cierre con su sistema de enclavamiento (Fig. 35).



Figura 35. Modelo BCAC-IC de TE CONNECTIVITY

Uno de los aspectos más notables del diseño del BCAC-IC es la inclusión de múltiples orificios en la superficie del material (Fig. 35). Esto por un lado permite inspecciones visuales del nivel de aceite en las bornas del trafo facilitando su mantenimiento, pero, por otro lado, la presencia de orificios en la superficie comprometerá el desempeño del forro frente al polvo, agua o entrada de insectos por no estar adecuadamente sellada. Esta tendencia en el diseño es recurrente en toda la gama de soluciones ofrecida por Te Connectivity.

Comparándolo con otras soluciones, aunque ofrece una protección efectiva en aplicaciones estándar, no es considerada la opción más adecuada en entornos más exigentes donde se requiere mayor adaptabilidad y mejor resistencia mecánica.

## GALA® INNOVATIVE INSULATING SOLUTIONS

Es una empresa especializada en la protección de infraestructuras eléctricas (Gala Thermo Shrink PVT. LTD, 1979). Su catálogo incluye tubos termo contraíbles, cintas, laminas y cubiertas o forros premoldeados, todos pensados para evitar arcos o puentes eléctricos provocados por la fauna. En el contexto de cubiertas para bornas y conexiones de barras (Bus Connection Insulating Covers), GALA ofrece soluciones fabricados con un material de alto rendimiento basado en poliolefina, que es resistente a la radiación UV, al agrietamiento y a condiciones químicas severas (ácidos, sales, alcalinos, etc). Para entender mejor las capacidades técnicas del material, en la *Tabla 21* se muestran resumidas las especificaciones técnicas aplicadas que aparecen en el Catálogo:




Tabla 21. Especificaciones Técnicas del material empleado (Gala Thermo Shrink PVT. LTD, 1979)

PROPERTY	VALUE	TEST METHOD
Tensile Strength	9 N/mm <sup>2</sup> (Mpa) (min.)	ASTM D638
Ultimate Elongation	250 % (min)	ASTM D638
Density	1.20 ± 0.2 gm/cm <sup>3</sup>	ASTM D792

Hardness	40 ± 5 Shore D	ASTM D2240
Water absorption	0.5 % (max.)	ASTM D570
Heat Shock (90° C for 4 hr)	No Cracking	ASTM D2671
Flame Retardant	Pass	ASTM D2671
Low Temperature Flexibility	No Cracking	ASTM D2671
Continuous Temperature Limit	-45 to +105° C	IEC 216
Dielectric Strength	20 KV/mm.(min)	ASTM D149
Volume Resistivity	1 x 10 <sup>13</sup> ohm.cm (min)	ASTM D257
Dielectric constant	5 (max.)	ASTM D150
UV Resistance (5000 Hrs.)	No Colour Change	ASTM G154
Resistant to Tracking	No Tracking, Erosion or Flame failure up to 3.25 kV for 20 min.	ASTM D2303

En la *Tabla 22* se presentarán algunas referencias interesantes, todas hechas del mismo material:

*Tabla 22. Tabla general de soluciones específicas (Gala Thermo Shrink PVT. LTD, 1979)*

MODELO	FUNCIÓN	IMAGEN
<b>GPS 1099</b>	Forro para bornas, barras y conexiones generales	
<b>GPS 1178</b>	Para transformadores y barras	
<b>GPS 1211</b>	Para equipos donde se requiere corte en campo (requiere de ajustes manuales)	

### 3.3. CONCLUSIÓN DEL ESTUDIO

Después del previo análisis de los dispositivos disponibles para su utilización en bornas, podemos asegurar que nos encontramos con opciones de diferente índole, tanto en el panorama nacional como en el internacional. Aunque, igualmente existe una ausencia de forros específicamente diseñados para su uso en piezas de subestaciones eléctricas. Por ello este estudio se enfoca en modelos de protección para bornas, ya que su geometría y funcionalidad se aproximan de forma razonable a los requerimientos en estos entornos.

Por otro lado, el material empleado es el factor más determinante ya que de ello depende no solo la facilidad de instalación sino la manera de envejecer del forro y mantener sus propiedades. La silicona HTV destaca ampliamente frente a opciones como los compuestos TPO, las siliconas RTV y demás. Esto es por su buen comportamiento en ambientes contaminados al ser hidrofugo e ignífugo. Este comportamiento superior la convierte en el material de referencia para aplicaciones críticas.

El dispositivo diseñado, para poder cumplir con la normativa básica para estos dispositivos como es la EA0058, debe de cumplir con los siguientes requisitos referentes al proceso de diseño:

- Evacuación de agua: Todos los forros deben de poder evacuar en su totalidad al agua que pueda entrar en el forro a causa de la lluvia o nieve.
- Permanencia en posición inicial: Todos los forros deben de contar con un sistema de fijación viable que asegure una fijación óptima a la pieza a cubrir para que no se desplace.
- Ajuste óptimo a la pieza cubierta: Los forros deben de diseñarse partiendo de la geometría de la pieza a forrar, haciendo que el forro se adapte lo máximo posible sin holguras.

## 4. PRESENTACIÓN DEL DISPOSITIVO A FORRAR

Este apartado recoge tanto la identificación visual como las características técnicas del elemento a cubrir para poder diseñar un forro de manera eficaz. A través de imágenes de referencia y mediciones tomadas in situ, se analizarán aspectos claves como su geometría, dimensiones generales, ángulos críticos y cualquier detalle relevante para el proceso de diseño.

### 4.1. IMÁGENES Y UBICACIÓN DE LA SUBESTACIÓN

Las imágenes presentadas a continuación corresponden a la información disponible de la pieza a forrar. Este tipo de piezas ampliamente utilizadas en subestaciones componen un elemento de sujeción del conductor al equipo de seccionamiento (Fig. 36).

En este caso, la subestación donde se encuentra esta pieza corresponde a una nueva subestación situada en la provincia de Granada con objeto de servir de evacuación a una planta de generación fotovoltaica. La cual no se encontraba en funcionamiento a la hora de la toma de las imágenes.



*Figura 36: Imagen de la pieza a forrar en situación de trabajo*

Esta pieza se denomina como: Terminal de compresión tipo grapa/grapa de conexión para conductor flexible/grapa tipo cuña o grapa terminal.

Está anclada al extremo del contacto móvil del seccionador, que se acciona verticalmente según el diseño del equipo de la subestación.

Tiene dos funciones:

- a. Función eléctrica: asegura la continuidad del circuito eléctrico entre el conductor y flexible (que se ve arriba probablemente de tipo trenzado) y el contacto del seccionador

- b. Función mecánica: sujeta de modo firme el cable al brazo móvil del seccionador sin causarle daños, permitiendo también cierto grado de movimiento durante la apertura /cierre.

El cable que llega desde arriba es parte de un conductor flexible que conecta distintos equipos.

En conclusión, el elemento de sujeción en cuestión que conecta el conductor al brazo del seccionador es un punto crítico desde el punto de vista eléctrico frente a las posibles interacciones ante la avifauna. Reúne varios factores que justifican su protección con un recubrimiento protector:

- a. Geometría expuesta y riesgo de posada accidentales.  
La combinación entre la forma metálica de la pieza, su ubicación accesible y elevada la convierten en un lugar atractivo para aves de media-gran envergadura que quieran usarla como posadero o punto de descanso. El problema es que esta pieza no está aislada eléctricamente y está en contacto directo con partes activas del seccionador. Un simple contacto con las alas extendidas puede desembocar en una electrocución fatal.
- b. Material metálico altamente conductor.  
Una pieza metálica expuesta sin aislamiento representa una amenaza latente. Está diseñada para garantizar continuidad eléctrica y robustez mecánica, pero no para evitar contactos accidentales. Por lo cual se convierte en un punto clave a proteger con materiales dieléctricos.
- c. Proximidad a otros elementos con potencial eléctrico distinto.  
Debido a que la pieza forma parte de una conexión entre una fase activa y el contacto móvil de un seccionador, suele estar a poca distancia de partes metálicas a potencial de tierra u otras fases. Este tipo de condiciones suponen una probabilidad de arco eléctrico inducido por fauna incrementado si no hay existencia de una barrera física o aislante.
- d. Posibilidad de arco por contaminación o humedad.  
El riesgo de que se acumule polvo, salinidad o excrementos de aves pueden reducir la rigidez dieléctrica del aire circundante. En presencia de humedad, estas condiciones pueden fomentar la formación de arcos o corrientes no deseadas incluso sin que haya un contacto directo. Por lo que un forro con excelentes propiedades hidrofugas tendrían un desempeño superior ya que estas propiedades actúan eficazmente ante estas posibles ocurrencias.



*Figura 37. Grapa en situación de funcionamiento (perfil)*



*Figura 38. Grapa en situación de funcionamiento (vista del seccionador)*

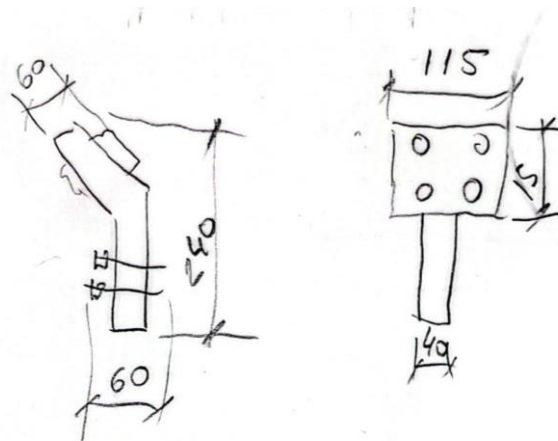
## 4.2. DIMENSIONES Y CARACTERÍSTICAS

Las medidas del elemento de sujeción se ven recogidas en los planos correspondientes al **Anexo I**.

Este tipo de piezas son normalizadas por lo que este forro podría usarse ampliamente en subestaciones de distintas localizaciones, pero únicamente para este tipo de piezas. El diseño específico del forro se diseñará partiendo de las medidas tomadas *in situ*. A partir del boceto (Fig. 39), en la *Tabla 23* se identifican las siguientes dimensiones principales:

*Tabla 23. Medidas recogidas de la grapa*

CARACTERÍSTICA	MEDIDA
Longitud total del conjunto	240 mm
Anchura máxima (zona de tornillos)	115 mm
Altura del cuerpo superior	150 mm
Ancho de la pletina	40 mm
Diámetro del conductor alojado (estimado)	28-30 mm
Ancho de fijación inferior	60 mm
Ángulo de inclinación del conductor	45°



*Figura 39. Boceto de la pieza tomada en la ubicación de la Subestación*

La parte superior de la grapa cuenta con cuatro tornillos de presión que ayudan a mantener firme el conductor. Aplican una presión uniforme sobre el cable, apretando firmemente contra la superficie de contacto sin dañarlo y evitando que se suelte por vibraciones o esfuerzo.



Figura 40. Vista en situación de la grapa

En la parte inferior tiene dos pernos de anclaje, los cuales permiten su fijación al conjunto móvil del seccionador. Los pernos son elementos de fijación similares a los tornillos, cuya diferencia es que necesitan una tuerca para apretarse por ambos lados, mientras que los tornillos se enroscan directamente.

El ángulo de inclinación de  $45^\circ$  facilitaría el recorrido del conductor flexible hacia los puntos de contacto (Fig. 42), lo cual introduce ciertas exigencias adicionales para el recubrimiento. Por lo que, bajo esta geometría inclinada, el material que se seleccione deberá ser capaz de adaptarse sin comprometer sus propiedades mecánicas ni su integridad. Será fundamental que mantenga su elasticidad, sea resistente al desgarro y conserve su estabilidad dimensional incluso si se encuentra sometida a deformaciones o tensiones derivadas de la instalación sobre superficies no planas.



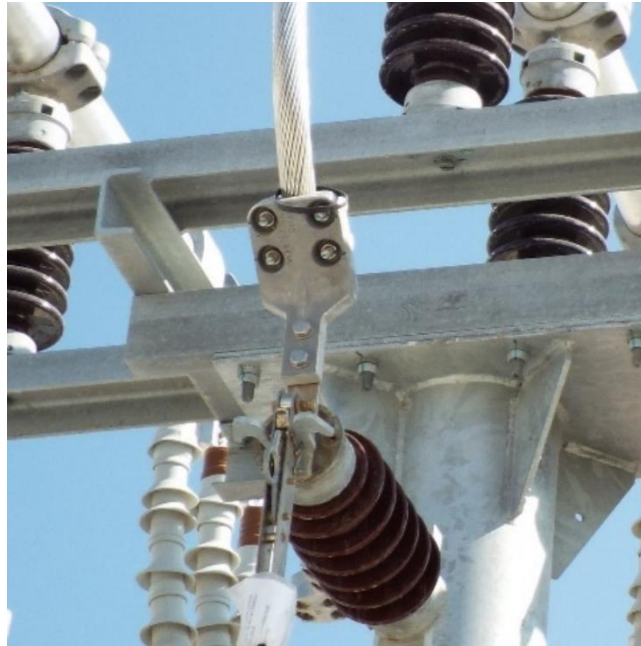
Figura 41. Vista perfil del conjunto



Figura 42. Vista perfil del ángulo de la grapa

La pletina saliente que se ve justo debajo de la grapa es un elemento de conexión mecánico que ayuda a fijar la grapa al brazo móvil del seccionador. Se podría decir que tiene función doble:

- a. Transmitir esfuerzos mecánicos desde el cable (peso, vibraciones, tensiones térmicas) hacia la estructura del seccionador
- b. Garantizar el contacto continuo eléctrico entre el conductor y el circuito del seccionador.



*Figura 43. Vista completa de la grapa y el seccionador*

# 5. SELECCIÓN DE MATERIALES.

---

## 5.1. MATERIALES ACTUALES UTILIZADOS

La selección de materiales para la fabricación de un dispositivo protector avifauna es considerado uno de los aspectos más relevantes para poder cumplir con una solución segura y eficaz. Esta elección no se limita únicamente en cubrir componentes activos, sino que requiere garantizar la integridad operativa de la infraestructura, minimizando a su vez los riesgos de interacción con la fauna.

En el marco de este proyecto, de las subestaciones eléctricas, los materiales más comúnmente empleados en la fabricación de forros son los termoplásticos y los elastómeros de silicona, específicamente los de tipo HTV (High Temperature Vulcanization). Ambos materiales ofrecen propiedades dieléctricas adecuadas, buena resistencia mecánica y un comportamiento adecuado frente a la exposición ambiental durante largos periodos de tiempo. Sin embargo, presentan diferencias en cuanto a su estructura, su capacidad de deformación térmica, el grado de envejecimiento y su compatibilidad con entornos naturales.



Figura 44. Ejemplo de una subestación forrada con soluciones termoplásticas (Fuente: EnverTec, 2020)

Por estas razones es importante comprender en profundidad las características, ventajas y limitaciones de cada uno. A continuación, se presenta un análisis de los materiales más representativos empleados en este campo.

### 5.1.1. TERMOPLÁSTICO

Los termoplásticos son una clase de polímeros que tras calentarse se ablandan y pueden moldearse con facilidad. Este proceso es reversible, al enfriarse solidifican su estructura química sin alterarla, es decir, que se pueden fundir y moldear varias veces sin sufrir cambios significativos en sus propiedades (Mecyplastec, 2023). Esta capacidad permite que los termoplásticos sean compatibles con procesos de transformación industrial a gran escala, como el moldeo por inyección o por extrusión. A su vez, esta facilidad de procesamiento permite la fabricación de un alto número de dispositivos con costos relativamente bajos.

Un termoplástico está formado por una cadena de polímeros ramificados o lineales que carecen de enlaces cruzados entre sí. Esta característica estructural le otorga gran maleabilidad térmica pero también supone una estabilidad dimensional reducida frente a temperaturas extremas. Bajo condiciones térmicas extremas o prolongadas, este material tiende a deformarse, perder rigidez o incluso fundirse, perjudicando su desempeño sostenido en entornos con condiciones de alta exigencia térmica o mecánica. Los más comunes en el contexto de la protección eléctrica son:

- Polietileno (PE): Buena resistencia química y dieléctrica
- Polipropileno (PP): Ligero, resistente a químicos y fatiga. Mas rígido que el PE, pero puede degradarse con el tiempo si está expuesto de forma constante ante rayos UV y solventes orgánicos
- Policarbonato (PC): Alta resistencia mecánica, térmica e impacto. Mas costoso que el PE o PP.

Características destacadas:

- **Facilidad de fabricación y moldeo:** ideales para producir piezas en grandes volúmenes y con geometrías complejas.
- **Peso ligero:** son materiales de poco peso facilitando su instalación en estructuras aéreas.
- **Propiedades dieléctricas aceptables:** aunque no alcancen el rendimiento de la silicona HTV, pueden funcionar bien en condiciones controladas.
- **Costo reducido:** son significativamente más económicos que los elastómeros. Esto puede resultar atractivo para proyectos con limitaciones presupuestarias.

**Limitaciones en aplicaciones con la fauna.** Los termoplásticos son vulnerables ante una exposición constante a radiación UV, ya que provoca fragilización del material. Este deterioro puede causar grietas, fisuras en la superficie e incluso pérdida de integridad estructural, especialmente si la pieza ha estado expuesta de forma continua al sol (Mecyplastec, 2023).

La rigidez de este material combinada con su baja capacidad de deformación elástica lo hace más propenso a grietas o fisuras superficiales por fatiga en ambientes dinámicos o con vibraciones.

Además, las superficies de los termoplásticos suelen ser duras pudiendo causar lesiones a las aves que se posan sobre ellas, sobre todo si el material ya presenta bordes quebradizos o expuestos por el envejecimiento solar.

Por último, estos materiales pueden acumular carga electrostática, atrayendo polvo o partículas contaminantes. Pueden incluso degradarse químicamente ante ciertos agentes presentes en entornos industriales.

Si bien cumplen con ciertos requisitos técnicos básicos, su empleo en entornos eléctricos con alta interactividad avifauna debe evaluarse con precaución. Son adecuados para zonas de baja exposición ambiental o para piezas sin contacto directo con la fauna (como elementos internos o cubiertas de bajo riesgo).

Comparándolos con materiales más avanzados como la silicona HTV, los termoplásticos muestran menor resistencia térmica, una baja adaptabilidad geométrica (no se ajustan bien a formas irregulares debido a su estructura) y en general una vida útil más corta en condiciones exteriores.

En conclusión, los termoplásticos pueden representar una solución accesible y de bajo costo para necesidades puntuales o provisionales, pero no son la opción más segura ni duradera cuando se trata de garantizar protección efectiva de la fauna en entornos eléctricos expuestos y de alto riesgo operativo.

### 5.1.2. SILICONA HTV

Este compuesto parte de un polímero base con un alto peso molecular, al que se le añaden cargas reforzantes, aditivos y un agente de curado. Esta mezcla luego es sometida a un proceso de vulcanización de alta temperaturas, haciendo que sus moléculas se entrelacen químicamente confiriéndole una forma fuerte y duradera.

Aunque el mecanizado específico se detallará en el siguiente apartado, basta con mencionar que este elastómero, una vez curado a alta temperatura, ofrece un equilibrio entre flexibilidad, resistencia térmica y durabilidad incluso en condiciones exigentes.

Ventajas claves de la silicona HTV:

- **Estabilidad térmica superior:** Puede soportar temperaturas extremas sin perder propiedades en un rango operativo entre  $-60^{\circ}\text{C}$  y  $250^{\circ}\text{C}$ , ideal para climas o ciclos térmicos severos (SiliconeTop.com, 2025).
- **Elasticidad constante:** a diferencia de los materiales rígidos, la silicona HTV conserva su flexibilidad con el paso del tiempo. Puede deformarse bajo presión o impacto y luego recuperar su forma original, sin que se agriete o pierda funcionalidad.
- **Superficies suaves:** El tacto del material y su capacidad de amortiguación lo hacen mucho menos agresivo ante un contacto directo con aves. Además, forros hechos con este material no presentan bordes cortantes ni fragmentaciones a lo largo del tiempo como puede pasar con los plásticos envejecidos.
- **Resistencia al envejecimiento:** Logra mantener su estructura frente a la radiación UV, ozono, humedad o contaminantes atmosféricos, prolongando considerablemente su vida útil.

- **Aislamiento eléctrico de alto rendimiento:** Posee excelentes propiedades dieléctricas y comportamiento estable ante descargas parciales.
- **Baja adherencia de partículas:** Gracias a su superficie naturalmente antiadherente, la silicona HTV no tiende a acumular polvo, humedad o contaminantes; reduciendo el riesgo de formación de arcos eléctricos o caminos conductores no deseados.

Limitaciones y consideraciones.

El uso de silicona HTV también implica ciertas consideraciones. Tiene un costo más elevado que el de materiales termoplásticos, lo que puede influir en decisiones de diseño si se da un presupuesto muy limitado. Además, su fabricación requiere de procesos específicos de vulcanización y curado, mucho más exigente que un simple moldeo de plásticos.

## 5.2. CONCLUSIÓN

Después de comparar las propiedades de ambos materiales, la elección del material se inclina claramente hacia la silicona sólida HTV.

A diferencia de los termoplásticos, que tienden a endurecerse y degradarse tras una exposición prolongada al sol o a condiciones ambientales o industriales agresivas, la silicona HTV mantiene su flexibilidad, resistencia mecánica y estabilidad eléctrica durante largos periodos, incluso ante condiciones ambientales severas. La estructura elástica de este material permite una adaptación precisa a formas irregulares o superficies complejas, algo especialmente importante para dispositivos de protección con geometrías variables.

A diferencia de los bordes duros y potencialmente peligrosos que puede desarrollar un plástico envejecido, la superficie blanda no abrasiva de la silicona reduce notablemente el riesgo de lesiones a las aves. Tampoco acumula carga electrostática ni atrae partículas contaminantes, permitiéndole contribuir un mejor rendimiento dieléctrico.

En resumen, la silicona sólida HTV es un material técnico avanzado que aporta protección dieléctrica, además de también un comportamiento seguro y duradero frente a la interacción con aves. Aunque su precio y procesos de fabricación lo sitúan en un rango superior, su fiabilidad lo convierte en una elección preferente para entornos expuestos y de alta contaminación.

# 6. MECANIZADO

---

La fabricación de componentes en silicona HTV se compone de una secuencia precisa de operaciones con las que se determinarán el rendimiento mecánico, térmico y dieléctrico del producto final (Glory Sun Group, 2024). En el marco de este proyecto para la protección de la avifauna dentro de subestaciones eléctricas, estas exigencias son especialmente importantes porque cualquier defecto en la conformación o en el curado puede llegar a comprometer la integridad del dispositivo.

En este apartado se explicará las principales fases del proceso de mecanizado, desde la formulación inicial del compuesto base hasta los tratamientos de acabado. Se hace hincapié en los aspectos técnicos claves de la vulcanización a alta temperatura (HTV), que permite obtener estructuras reticuladas con alta estabilidad dimensional y una elevada resistencia a la intemperie (Anysil, 2023). Por lo tanto, el mecanizado no es solo una etapa de producción, sino una extensión del diseño funcional que ha de responder con precisión a los requerimientos del entorno eléctrico y ambiental.

## 6.1. FASES DE PRODUCCIÓN

### 6.1.1. Preparación de materia prima

En esta etapa se seleccionan los polímeros de silicona con un alto peso molecular para poder combinarlas con los siguientes aditivos:

- **Cargas minerales:**

Son materiales inorgánicos molidos que se mezclan con la silicona para modificar sus propiedades mecánicas, térmicas y eléctricas. Sus principales funciones son la de aumentar la resistencia al desgarro, dureza y estabilidad térmica. Además, ayudan a reducir costes porque pueden actuar de relleno.

El ejemplo más común es la sílice precipitada o blanca. Este aditivo, compuesto casi exclusivamente de dióxido de silicio  $\text{SiO}_2$ , es básicamente un refuerzo indispensable para la silicona HTV por varias razones técnicas claves gracias a su excelente afinidad química con las cadenas de silicona (JK SILICA, 2021).



Figura 45. Lotes de silicona sin homogeneizar (Zhejiang Gaoneng Electric Installation Co., Ltd, 2018)



Figura 46. Silicona gris compacta y homogénea enrollada en bandas (Zhejiang Gaoneng Electric Installation Co., Ltd, 2018)

- **Aditivos reológicos**

Sustancias que controlan el nivel de viscosidad, modifican la fluidez y el comportamiento del material durante el procesamiento, especialmente durante el moldeo o la extrusión. También ayudan a mejorar la dispersión de otros componentes como los pigmentos. Algunos de los aditivos más empleados son los aceites de silicona modificados, los agentes tixotrópicos o las resinas modificadoras de estructura (mexpolimeros, 2020).

- **Colorantes**

Pigmentos sólidos o líquidos que tiñen el compuesto de silicona. Ayudan a dar color para una diferenciación visual estética o por motivos técnicos varios. En el caso de alta tensión se suele usar rojo por motivos de seguridad visual e identificación rápida. En muchos sistemas eléctricos se siguen una codificación de colores técnica que asocia el

rojo con fases activas o de alto voltaje para reducir la posibilidad de error humano durante la instalación o mantenimiento.

- **Agente vulcanizante**

Componente que desencadena la reticulación al aplicar calor activando la vulcanización. La reticulación es un proceso químico en el que se forman los enlaces entre las cadenas de polímero transformando la silicona de un estado plástico a uno elástico, creando una estructura más estable (SANJI Chemical, 2020).

### 6.1.2. Mezclado y composición del compuesto base

Una vez incorporados los componentes mencionados anteriormente, la mezcla final resultante se ajusta cuidadosamente en función de las propiedades que se desean alcanzar mediante un mezclado intensivo para lograr una dispersión uniforme de todos los aditivos y poder conseguir una mezcla homogénea funcional sin defectos.

Este proceso se realiza en una máquina de rodillos abiertos (Two-Roll Mill). Este es uno de los equipos más comunes en la industria del caucho (Fig. 47). Está formado por dos cilindros metálicos contrarrotantes con espacio ajustable entre sí.

En esta etapa, la mezcla negra de silicona se amasa de forma continua (Fig. 48), mientras que la acción de corte y compresión favorecen a una dispersión más homogénea (Zhejiang Gaoneng Electric Installation Co., Ltd, 2018). A medida que la mezcla es procesada, irá adquiriendo una textura más compacta y flexible enrollándose en unas bandas de silicona roja (Fig. 49).



*Figura 47. Mezcladora interna tipo Banbury (Zhejiang Gaoneng Electric Installation Co., Ltd, 2018)*



Figura 48. Mezcla negra de la silicona y aditivos (Zhejiang Gaoneng Electric Installation Co., Ltd, 2018)

Durante el proceso de amasado, se manejan parámetros como la temperatura, la presión y el tiempo, el cual es importante ya que una distribución fallida de los aditivos puede generar defectos estructurales en el dispositivo final, como zonas con baja resistencia o mal comportamiento térmico (Zhejiang Gaoneng Electric Installation Co., Ltd, 2018).

La mezcla resultante se conoce como el compuesto base. El compuesto no está curado, pero presenta la suficiente maleabilidad para pasar a las siguientes fases de moldeo. La silicona refinada en este estado, como se enseña en la Fig. 49, es plástica y de color rojo uniforme, capaz de ser manipulada según los requisitos de cada aplicación.



Figura 49. Silicona refinada y roja aún en estado plástico (Zhejiang Gaoneng Electric

Este proceso es el que define la calidad final del producto. Un buen amasado de la silicona con los aditivos permite la obtención de las propiedades físicas deseadas (como la dureza, elasticidad o resistencia térmica), y garantiza un material estable durante su vida útil en el campo.

### 6.1.3. Moldeo y conformado

El proceso de moldeo o conformado de la silicona HTV es una etapa crucial en la producción de dispositivos de protección avifauna. La elección del método de moldeo dependerá directamente de las propiedades deseadas del producto, la geometría requerida y los volúmenes de producción.

Hay tres métodos principales empleados para el moldeo de la silicona HTV en función del tipo de dispositivo (ZSR Int. Group co., 2005):

#### a) **Moldeo por compresión** (Compression Molding)

El método más común para piezas de silicona sólida. Consiste en colocar el compuesto base en una cavidad cerrada dentro de un molde metálico calentado, donde se somete a presión y temperatura para activar el agente de curado (Fig. 50).

La vulcanización se produce dentro del molde, consolidando la forma final del producto. Este método es ideal para geometrías simples o con ciertas tolerancias dimensionales. Ofrece una buena relación coste-rendimiento y es especialmente útil en la fabricación de piezas en series medias o altas como aisladores o protectores con formas predecibles (Zhejiang Gaoneng Electric Installation Co., Ltd, 2018).

Posibles desventajas de este proceso son que tiene un tiempo de ciclo más lento (de 1 a 6 minutos para moldes de silicona), que pueda suponer menor productividad porque se producen rebabas (resina que queda entre piezas) que se debe recortar manualmente (ZSR Int. Group co., 2005).



Figura 50. Molino abierto (Zhejiang Gaoneng Electric Installation Co., Ltd, 2018)

#### b) **Moldeo por inyección** (Injection Molding)

En este tipo de moldeo, en lugar de colocar el material manualmente, la mezcla resultante de silicona en forma líquida o pasta homogénea es inyectada directamente en un molde mediante una máquina de moldeo (HTV 高温硫化硅橡胶三种成型工艺, 2022).

Este tipo de proceso permite la fabricación de piezas con geometrías más complejas, paredes delgadas o detalles finos con una repetibilidad excelente.

Además de reducir los tiempos de ciclo de producción y minimiza el desperdicio de material. La única parte negativa sería el elevado coste de la inversión inicial en maquinaria y moldes. Por ello se suele reservar este tipo de moldeo para grandes volúmenes o diseños exigentes.

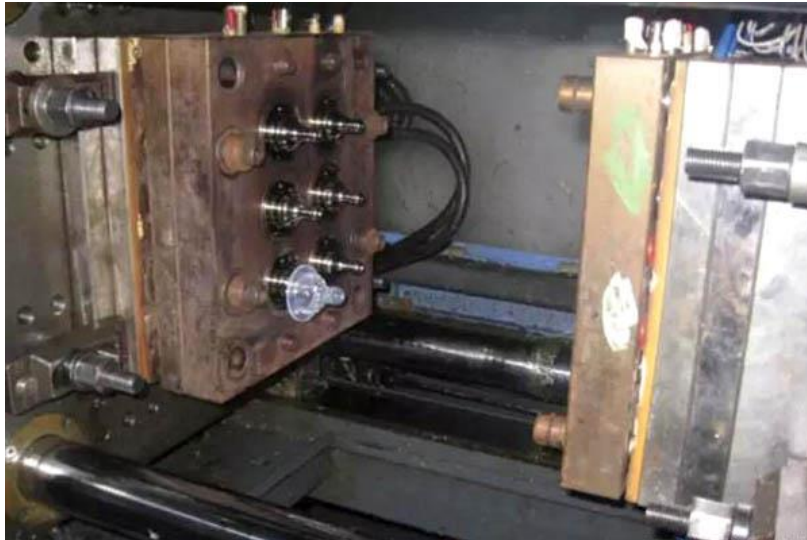


Figura 51. Proceso de moldeo por inyección de silicona (HTV 高温硫化硅橡胶三种成型工艺, 2022)

c) **Calandrado o extrusión (Extrusion Molding)**

A pesar de considerarse una técnica complementaria más que un proceso de moldeo, la extrusión también tiene su lugar en la transformación de la silicona HTV.

Aquí el material pasa por una boquilla con la forma deseada, similarmente a una masa que se exprime por una manga, que luego es vulcanizada (puede ser en continuo o en tramos).

El calandrado es ideal para la obtención de láminas finas (HTV 高温硫化硅橡胶三种成型工艺, 2022). Esto es útil para revestimientos o componentes planos como cubre-conductores.



Figura 52. Proceso de moldeo por extrusión de silicona líquida (HTV 高温硫化硅橡胶三种成型工艺, 2022)

Los moldes empleados en estos procesos suelen ser normalmente de acero templado o aluminio anodizado. Deben ser fabricados a gran precisión para que las piezas se mantengan bajo tolerancia. Además, se requiere de una buena liberación del material y de un acabado limpio.

Tras analizar las distintas opciones de moldeo, el método de inyección se presenta como la alternativa más adecuada para el diseño del forro de este proyecto. Debido a que permite fabricar piezas más complejas con una buena precisión dimensional y acabados limpios sin rebabas, lo cual es esencial en entornos de uso donde el aislamiento y la integridad mecánica no pueden fallar.

Además de que la capacidad de producción en serie con rapidez y baja variabilidad lo convierte en una solución eficiente tanto técnica como económicamente.

#### 6.1.4. Vulcanización (curado térmico)

Aquí, la silicona moldeada se introduce en una prensa térmica donde, a temperaturas entre 170°C y 220°C, el agente de curado inicia el proceso de la reticulación de las cadenas de polímero. En otras palabras, el material se cierra sobre sí mismo pasando de ser un plástico blando a un elastómero con memoria, elasticidad y resistencia térmica permanentes.

Esta etapa es conocida como HTV (High Temperature Vulcanization). Tiene una duración de entre 5 y 15 minutos, dependiendo del espesor, la densidad y el propio diseño del producto.

El resultado es un material resistente, flexible y con una estabilidad química notable que logra mantenerse ante años de exposición a rayos UV, ozono o cambios bruscos de temperatura.

#### 6.1.5. Enfriamiento, desmoldeo y postprocesado

Tras ser vulcanizada, la pieza debe enfriarse de forma progresiva dentro del molde para evitar tensiones internas. Luego se desmoldea y pasa a la fase de acabado, que puede incluir:

- Recorte de rebabas o bordes sobrantes
- Tratamientos superficiales (encerado, arenado suave o recubrimientos) para mejorar su resistencia o tacto.
- Verificación dieléctrica y dimensional

En el caso de que la pieza resultante sea para aplicaciones exigentes, también puede aplicarse un post-curado en horno ventilado para estabilizar químicamente el material, eliminar los compuestos volátiles y mejorar la resistencia térmica del producto final.



Figura 53. Silicona HTV laminada resultante tras el proceso (Zhejiang Gaoneng Electric Installation Co., Ltd, 2018)

## 7. PROCESOS DE DISEÑO

---

En este apartado se detallan los distintos procesos que se han seguido para la elaboración de un forro avifauna para la grapa presentada de la subestación. Queda expuesto los distintos modelos predecesores y detallada las faltas encontradas en cada una, seguido del modelo final teniendo en cuenta la operatividad, la seguridad y, por último, que se pueda materializar.

Dado que finalmente se escogió la silicona HTV como material de fabricación del forro, se propone que para llevar a cabo la adecuación y hacer esta pieza completamente segura y eficaz contra electrocuciones, el forro diseñado debería de ir acompañado del cobre-conductor correspondiente al diámetro exterior del conductor.

En este caso, se utilizarían los forros cobre-conductores comercializados por EnverTec al ser del mismo material que el propuesto, específicamente el modelo SWP-38 de diámetro interior de 38 mm.

### 7.1. PROTOTIPOS INICIALES

Después de un proceso iterativo se han tenido que pasar por cuatro diferentes prototipos no aptos por diversas razones antes de llegar a un diseño definitivo, el cual cumpliera con, por un lado, las directrices establecidas en la normativa EA 0058, y por otro, que fuese posible de moldear para una producción en serie.

A través de estos prototipos se empezaron a encontrar zonas críticas que requerían de una diferente perspectiva.

**Prototipo 1.** Este primer diseño presentaba curvas muy pronunciadas en su geometría, lo cual puede llevar a ciertas complicaciones en la fase de moldeo y más utilización de materia prima por forro, aumentando su coste (Fig. 54).

Asimismo, esta versión está formada por dos partes iguales que se fijarían a través de la utilización de unos elementos de sujeción (PINs). Sin embargo, las solapas destinadas a fijar este recubrimiento presentaban una distancia muy corta entre sí, lo cual comprometería la firmeza de sujeción en cuestión. Esto supondría un gasto excesivo a la hora de fabricarse, además de que supone un esfuerzo añadido en la instalación.

En definitiva, este primer intento resultó ser una aproximación útil para identificar zonas claves de los PINs y la forma general del forro, pero no era viable por su complicada y cara implementación final.

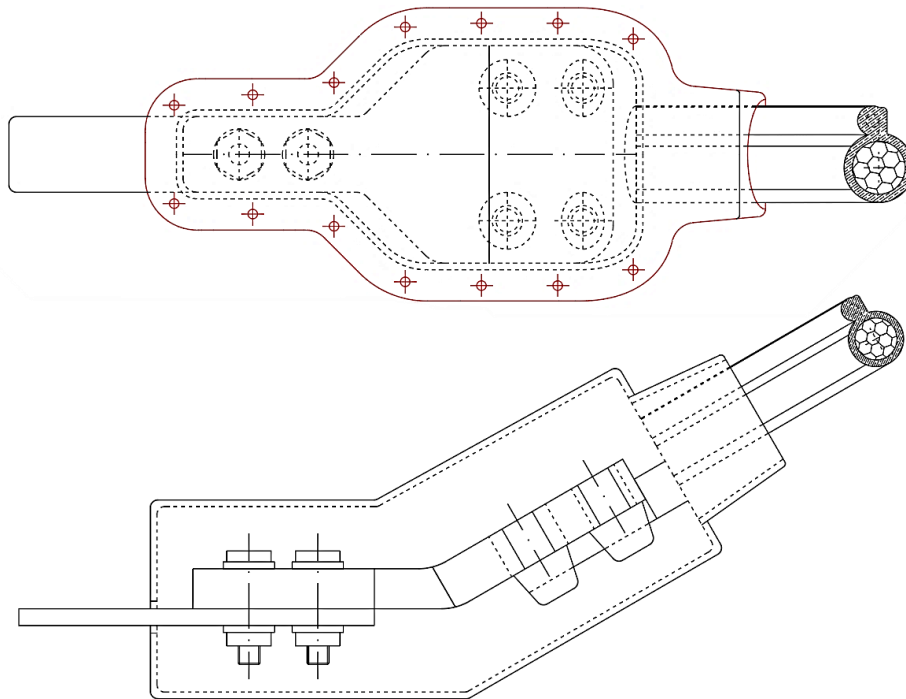


Figura 54. Prototipo 1 del forro

**Prototipo 2.** Para esta propuesta se optó por un diseño de apertura casi completa, para envolver la grapa por partes, permitiendo una instalación sencilla sin tener que desmontar ningún componente.

Primera sugerencia para la implementación de barbas en la planta inferior del forro. Las barbas son unos elementos sobresalientes que cumplen una doble función: favorecer la evacuación del agua de lluvia y, a su vez, tienen utilidad en evitar que entren pájaros de pequeño tamaño como pueden ser unos gorriones, que podrían intentar nidificar en el interior del forro. Este rasgo respondería tanto a criterios eléctricos como ecológicos al anticipar este tipo de interacciones no deseadas con la avifauna.

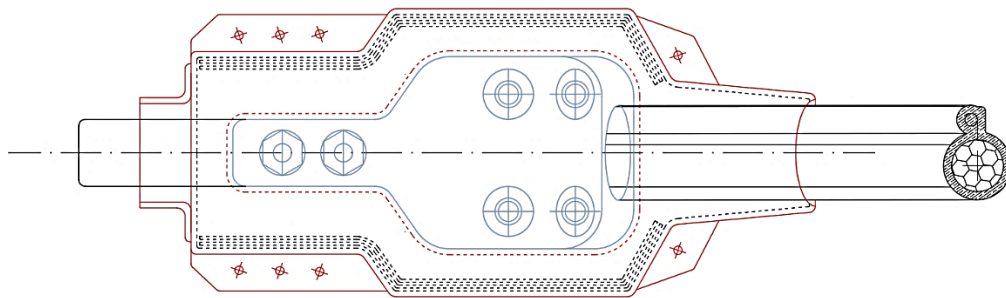


Figura 55. Prototipo 2 del forro

Además, un nuevo detalle es la inclusión de unas aletas internas con una función dieléctrica, que aumentaría la línea de fuga y reduciría el riesgo de perforación de la electricidad por efecto del alto voltaje, sobre todo en entornos o condiciones húmedas o contaminadas.

Sin embargo, el prototipo fue finalmente descartado por dos motivos principales.

1. A pesar de sus mejoras, seguía siendo un forro con una apertura casi total, lo que implica menor rigidez estructural en determinadas partes aumentando el riesgo de sufrir deformaciones o estar mala ajustado con el paso del tiempo.
2. De tipo operativo, el diseño suponía un forro que se instalaba colocándolo desde arriba, pero esta acción no es viable en la práctica para los instaladores debido a la geometría del seccionador, las limitaciones del espacio y la realización de maniobra en campo.

**Prototipo 3.** En esta propuesta, las solapas tienen un recorrido completo a diferencia de los otros prototipos. Envolvería la grapa de forma continua y, en principio, se buscaba reforzar la sujeción para evitar desajustes durante el funcionamiento o el paso del tiempo.

Pero el diseño seguía teniendo apertura total (Fig. 56), por lo que heredaría así uno de los principales inconvenientes del Prototipo 2: una estructura poco estable, sobre todo en zonas donde no había unión directa entre partes del recubrimiento.

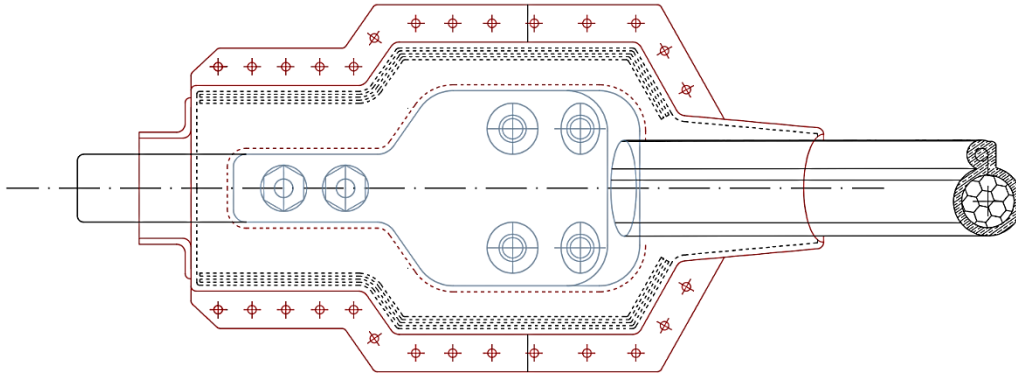


Figura 56. Prototipo 3 del forro

Este tipo de apertura básicamente implica una mayor flexibilidad del conjunto que se traduce en deformaciones, holgura o desplazamientos indeseados, comprometiendo la protección eléctrica y la durabilidad del forro.

Este prototipo no resolvía estos problemas estructurales derivados de la apertura total, por lo que no se consideró para avanzar hacia una versión final.

**Prototipo 4.** Esta última propuesta retoma una geometría de apertura casi completa similar a la del Prototipo 2 con el objetivo de verificar si ciertos elementos añadidos en los diseños previos eran necesarios. En particular se analizaron las aletas internas con función dieléctrica, que fue incorporada en etapas anteriores con el fin de aumentar la línea de fuga y prevenir descargas.

Por lo que al final, se prescinden de ellas ya que se concluye que el nivel de tensión al que estará sometido el forro no llega a ser de un valor tan alto como para justificar la presencia de aletas internas. De hecho, las propias dimensiones del diseño sumado a las propiedades dieléctricas de la silicona HTV bastan para cumplir con la línea de fuga mínima exigida para la clasificación como Clase 0 según la especificación EA 0058. Por lo que el diseño final no necesita uso de estos elementos.

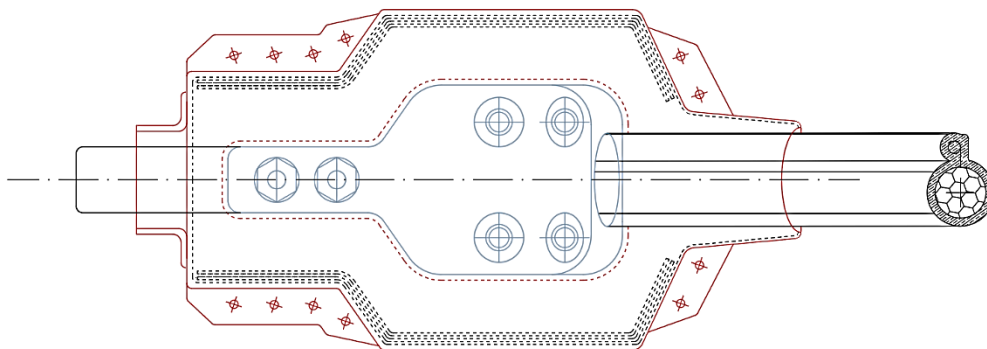


Figura 57. Prototipo 4 del forro

Además, este prototipo sirvió para corroborar de forma definitiva que las aperturas completas o casi completas suponen un problema estructural, ya que suelen reducir la rigidez del conjunto, debilitar el cierre del forro y ocasionar problemas varios en el momento de su instalación. También se estima un impacto negativo en términos de coste de fabricación debido a una mayor complejidad de molde requerido para este tipo de geometría.

En conclusión, este diseño fue clave para depurar el enfoque y establecer con claridad las necesidades que el diseño final debe cumplir, por lo que se concretan las siguientes decisiones:

1. No hay necesidad de incorporar aletas dieléctricas. La combinación entre las dimensiones del forro y las propiedades del material (Silicona HTV) permiten alcanzar la línea de fuga exigida para la Clase 0 según EA 0058.
2. Debe descartarse la apertura completa ya que compromete la estabilidad estructural, encarece la fabricación del molde y dificulta la instalación.
3. Hace falta una apertura de tipo concha, con unos puntos de cierre por bulones, ofreciendo un equilibrio entre facilidad de montaje, rigidez del forro y eficiencia al cerrarlo.
4. Se mantienen las barbas.

## 7.2. MODELO FINAL

El modelo final **SPG1** (Silicone Protector Grapa 1) se ejemplifica en el **Anexo I** y **Anexo III**.

Esta versión, tras un proceso iterativo, responde a los requisitos eléctricos y a los mecánicos planteados en este proyecto.

Al final se optará por un diseño con apertura tipo concha, con 8 puntos de cierre por bulones desmontables (tipo PINs), con dimensiones según Anexo III, distribuidos longitudinalmente, que vendrían preinstalados con cada dispositivo. Esta configuración permite una instalación más rápida y manual, sin necesidad de herramientas, lo que resulta clave para su colocación en subestaciones que bien podrían estar en servicio.

El material seleccionado (silicona HTV) debe presentar un espesor uniforme de **3,5 mm**, ya que es una medida apta para garantizar una buena rigidez dieléctrica y una resistencia mecánica adecuada al entorno donde se instalaría. Este espesor también contribuye a un buen envejecimiento frente a agentes como los rayos UV, el ozono o temperaturas extremas, permitiéndole tener una funcionalidad a largo plazo. Teniendo en cuenta la geometría de la pieza diseñada, se utilizará esta tecnología para su moldeo.

Por otro lado, la parte inferior del forro contará con unas “barbas” con función barrera contra posibles intrusiones de aves y para evacuar el agua (Fig. 59). Además de servir como un elemento más de sujeción para imposibilitar el movimiento o desplazamiento del forro sobre la pieza a forrar. En las Fig. 58 y 59 se puede ver otro forro de la marca CAON KORWI® de EnverTec que también cuenta con barbas en la planta inferior para las mismas razones que el forro propuesto en este proyecto.



Figura 58. Detalle de las barbas del modelo Kit SCUV abierto  
(EnverTec, 2025)



Figura 59. Detalle de las barbas del modelo Kit  
SCUV (EnverTec, 2025)

En la parte superior del forro se incorpora una salida cónica con un diámetro de  $75 \pm 1$  mm, diseñada para ajustarse al paso del conductor flexible (con un diámetro estimado entre 28 y 30 mm). Este tramo quedara solapado con otro forro auxiliar para cubrir el conductor, concretamente el modelo SWP-38 de la marca CAON-KORWI® de la Empresa EnverTec, puesto que es la única empresa que ofrece soluciones a nivel nacional usando el mismo material (silicona HTV) y que se ajusten las dimensiones a las requeridas.

Tabla 24. Dimensiones de los cubre conductores de la familia SWP (EnverTec, 2016)

Modelo	D (mm)	G (mm)	Rollos	Um (kV) / Ø Conductor
SWP-12	12 +1/-0	3 +0,1/-0	20mts.	36 / ≤ 12
SWP-16	16 +1/-0	3 +0,1/-0	20mts.	36 / ≤ 16
SWP-22	22 +1/-0	3,5 +0,1/-0	20mts.	36 / ≤ 18
<b>SWP-38</b>	38 +2/-0	4,0 +0,1/-0	20mts.	36kV ≤ 32,8/ <b>45kV</b> ≤ 31

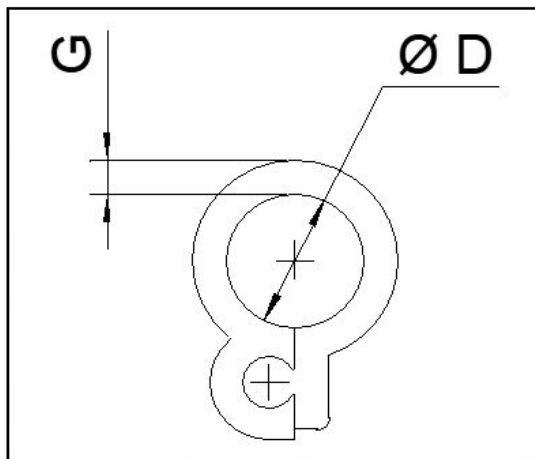


Figura 60. Vista en detalle de los forros SWP (EnverTec, 2016)



Figura 61. Comparativa de las diferentes dimensiones de forros SWP (EnverTec, 2016)

La combinación SPG1 junto al forro SWP-38 proporcionarán una cobertura continua sin puntos vulnerables a lo largo de la grapa y del conductor, lo que es clave para mantener la protección eléctrica a lo largo de la longitud crítica.



## 8. ANEXOS

---

- 8.1. ANEXO I: Plano conjunto de la pieza forrada
- 8.2. ANEXO II: Plano del elemento de la subestación a forrar
- 8.3. ANEXO III: Plano del forro modelo SPG1
- 8.4. ANEXO IV: Presupuesto

# REFERENCIAS

---

- Adrian Orihuela-Torres, J. M.-G.-R.-A.-Z.-G. (2019). *Avian-power line interactions in the Gobi Desert of Mongolia: are mitigation actions effective?* doi:10.1186/s40657-021-00277-2
- Agencias. (13 de Abril de 2014). Al menos 12 muertos en «el peor incendio de la historia de Valparaíso». ABC. Obtenido de <https://www.abc.es/internacional/20140413/abci-chile-estado-excepcion-catastrofe-201404130551.html>
- ANTECEDENTES Y DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN DE LA ELECTROCUCIÓN Y COLISIÓN DE AVIFAUNA EN ESPAÑA. (2024).
- Anysil. (18 de Julio de 2023). *¿Qué es el caucho de silicona de alta temperatura HTV?* Obtenido de Anysil: <https://es.anysilconerubber.com/info/what-is-htv-high-temperature-silicone-rubber-85204606.html>
- AQUILA a-LIFE. (2021). *Con el objetivo de contribuir a la recuperación del águila de Bonelli en el Mediterráneo occidental*. Obtenido de AQUILA a-LIFE: <https://aquila-a-life.org/index.php/es/aquila-a-life/objetivos/descripcion-y-objetivos>
- Cerrillo, A. (13 de Febrero de 2023). *La colisión con líneas eléctricas causa el 40% de las muertes de aves debidas a la actividad humana*. Obtenido de La Vanguardia: <https://www.lavanguardia.com/natural/20230213/8751266/colision-tendidos-electricos-causa-40-muertes-aves-cuales.html>
- CONECTORES Y SISTEMAS. (2025). *CATÁLOGO 2025 / 1ª Edición*. Granada: CONECTORES Y SISTEMAS. Obtenido de <https://conectoresysistemas.com/productos/>
- EA 0058. (2016). *EA 0058:2016*. AENOR.
- EA 0058. (2016). *Especificaciones sobre requisitos y métodos de ensayo aplicables a forros en líneas eléctricas aéreas para la protección de aves contra la electrocución*. (AENOR, Ed.) España: Asociación Española de Normalización.
- Energy Grid Alliance. (2020). *Best Practice Approach for Electricity Transmission Infrastructure Development*.
- EnverTec. (2014). *SPSF6*. Obtenido de EnverTec: [https://www.envertec.es/forro\\_spsf6/](https://www.envertec.es/forro_spsf6/)
- EnverTec. (2016). *EnverTec*. Obtenido de EnverTec: <https://www.envertec.es/>
- EnverTec. (Abril de 2021). *Forros Ignífugos Clase V0. Ensayo de Combustión Vertical*. Obtenido de EnverTec: <https://www.envertec.es/forros-antielectrocucion-ignifugos-clase-v0/>
- EnverTec. (Diciembre de 2021). *Sistema de Gestión Integrado*. Obtenido de EnverTec: <https://www.envertec.es/nuevas-certificaciones-iso-14001-45001/>
- EnverTec. (Febrero de 2025). *Certificación AENOR obtenida para el forro SCA6RT*. Obtenido de EnverTec: <https://www.envertec.es/nueva-certificacion-aenor-para-forro-modelo-sca6rt/>
- ER. (14 de Julio de 2021). *Eliminado el punto negro de electrocución de aves más letal de la provincia de Jaén*. Obtenido de Energías Renovables. El periodismo de las energías

limpias: <https://www.energias-renovables.com/panorama/eliminado-el-punto-negro-de-electrocucion-de-20210714>

Ferrer, M. (1991). *Aves y tendidos eléctricos. Del conflicto a la solución. Aves y tendidos eléctricos. Del conflicto a la solución*. Obtenido de <https://diario.madrid.es/cieacasadecampo/wp-content/uploads/sites/61/2020/07/libro-aves-y-tendidos-elctricos-espaa-2012-miguel-ferrer.pdf>

Fuente: ANSAR. (21 de Octubre de 2023). *AHORA UNA CIGÜEÑA NEGRA ELECTROCUTADA*. Obtenido de Barracuda. Defendiendo el Medio Ambiente: <https://www.lygeum.es/2023/10/21/ahora-una-ciguena-negra-electrocutada/>

Fuente: Torrecusa, J. L. (28 de Noviembre de 2024). *Electrocución y colisión de aves en líneas eléctricas aéreas*. Obtenido de Energía de Castilla y León: <https://energiacastillayleon.com/2024/11/28/electrocucion-y-colision-de-aves-en-lineas-electricas-aereas/>

Fundación Amigos del Águila Imperial. (2019). *Actuaciones de conservación de especies*. Obtenido de Fundación Amigos del Águila Imperial: <https://www.amigosaguilaimperial.org/lineas-de-actuacion/actuaciones-de-conservacion-de-especies/>

Gala Thermo Shrink PVT. LTD. (1979). *Welcome To Gala Thermo Shrink PVT. LTD*. Obtenido de Gala Thermo Shrink PVT. LTD: <https://www.galathermo.com/>

Gallego, J. L. (29 de Febrero de 2024). *Acusan al Gobierno de consentir que las líneas de alta tensión sigan friendo águilas*. Obtenido de El Confidencial: [https://www.elconfidencial.com/medioambiente/naturaleza/2024-02-29/electrocucion-aves-tendidos-electricos\\_3838337/](https://www.elconfidencial.com/medioambiente/naturaleza/2024-02-29/electrocucion-aves-tendidos-electricos_3838337/)

Giralda, A. G. (2010). *La historia de la legislación medioambiental en España y su recorrido hasta hoy*. Asociación y Colegio Oficial de Ingenieros Técnicos Forestales. Obtenido de [http://www.eimfor.com/wp-content/uploads/2011/02/foresta\\_50.pdf](http://www.eimfor.com/wp-content/uploads/2011/02/foresta_50.pdf)

Glory Sun Group. (9 de Enero de 2024). *¿Qué es la silicona sólida HTV?* Obtenido de GRUPO GLORIA SOL: [https://www.glorysungroup.com/es/blog/Solid\\_Silicone\\_HTV](https://www.glorysungroup.com/es/blog/Solid_Silicone_HTV)

GREFA. (2021). *Aquila a-LIFE*. Obtenido de GREFA. Grupo de rehabilitación de Fauna Autóctona y su Hábitat: <https://educacion.grefa.org/aquila-a-life/>

GREFA. (8 de Mayo de 2025). *Presencia de águilas, buitres, milanos y más en el proyecto de control biológico de GREFA*. Obtenido de GREFA: <https://grefa.org/noticias/otros-articulos/proyectos/servicios-ambientales/control-biologico-del-topillo-campesino/noticias-control-biologico-del-topillo-campesino/presencia-de-aguilas-buitres-milanos-y-mas-en-el-proyecto-de-control-biologico-de-grefa.htm>

Guil, F. (Junio de 2017). *Primera aproximación general al impacto provocado por la electrocución de aves rapaces: incidencia sobre las aves e impacto económico asociado*. Obtenido de ResearchGate: [https://www.researchgate.net/publication/318085758\\_Primer\\_a\\_aproximacion\\_gener](https://www.researchgate.net/publication/318085758_Primer_a_aproximacion_gener)

al\_al\_impacto\_provocado\_por\_la\_electrocucion\_de\_aves\_rapaces\_incidencia\_sobre\_l  
as\_aves\_e\_impacto\_economico\_asociado

Harness, R. E., & Juvvadi, P. R. (1 de Mayo de 2013). *Bird electrocutions in Western Rajasthan, India*. (IEEE, Editor) doi:10.1109/REPCon.2013.6681849

HTV 高温硫化硅橡胶三种成型工艺. (22 de Mayo de 2022). *HTV 高温硫化硅橡胶三种成型工艺*. Obtenido de 知乎: <https://zhuanlan.zhihu.com/p/518211917>

Jefatura del Estado. (2008). *REAL DECRETO 1432/2008, de 29 de Agosto*. BOE 2008.

JK SILICA. (4 de Febrero de 2021). *Aplicación de sílice en caucho de silicona*. Obtenido de JK SILICA: <https://www.silica-factory.com/info/application-of-silica-in-silicone-rubber-57736925.html>

LeadRp. (11 de Julio de 2023). *Diferentes tipos de caucho de silicona y sus aplicaciones*. Obtenido de LEAD: <https://leadrp.net/es/blog/silicone-rubber-basics/>

LIBRO BLANCO. (2020). *LIBRO BLANCO DE LA ELECTROCUCIÓN EN ESPAÑA. Análisis y propuestas*. AQUILA A-LIFE, AQUILA A-LIFE. Obtenido de [https://mediambient.gencat.cat/web/.content/home/ambits\\_dactuacio/patrimoni\\_natural/fauna\\_salvatge\\_autoctona/factors-risc-fauna-autoctona/LIBRO-BLANCO-DELA-ELECTROCUCIN-EN-ESPAA\\_Anllis-y-propuestas-1.pdf](https://mediambient.gencat.cat/web/.content/home/ambits_dactuacio/patrimoni_natural/fauna_salvatge_autoctona/factors-risc-fauna-autoctona/LIBRO-BLANCO-DELA-ELECTROCUCIN-EN-ESPAA_Anllis-y-propuestas-1.pdf)

Loss, S., Will, T., & Marra, P. (2014). *Refining Estimates of Bird Collision and Electrocution Mortality at Power Lines in the United States*. Obtenido de ResearchGate: [https://www.researchgate.net/publication/365296664\\_US\\_Infrastructure\\_1929-2019](https://www.researchgate.net/publication/365296664_US_Infrastructure_1929-2019)

Martín, J. M. (2020). *AVES Y TENDIDOS ELÉCTRICOS. Problemas y soluciones*. Málaga: Diputación de Málaga.

Matarranz, V. G. (2019). *Guía de identificación de rapaces ibéricas por restos óseos 3.ª edición*. Madrid: MITECO. Obtenido de [https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/biodiversidad/temas/conservacion-de-especies/guiarapacesrestososeos1parte\\_tcm30-198046.pdf](https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/biodiversidad/temas/conservacion-de-especies/guiarapacesrestososeos1parte_tcm30-198046.pdf)

Mecyplastec. (8 de Febrero de 2023). *Los secretos detrás de los diferentes tipos de termoplásticos*. Obtenido de Mecyplastec: <https://mecyplastec.es/tipos-de-termoplasticos/>

mexpolimeros. (2020). *Modificadores de reología*. Obtenido de mexpolimeros: <https://www.mexpolimeros.com/modificador-de-reologia.html>

MIDSUN GROUP. (1995). Obtenido de <https://midsungroup.com/>

Miguel Ferrer y Juan José Negro. (1992). *Tendidos Eléctricos y conservación de aves en España*. *Ardeola* 39(2). Obtenido de <https://www.ardeola.org/uploads/articles/docs/1374.pdf>

Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (2020). *Proyecto de Real Decreto por el que se establecen medidas para la protección de la avifauna contra la colisión y la electrocución en líneas eléctricas de alta tensión y para la prevención de la mortalidad en aerogeneradores*. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. Obtenido de

<https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/participacion-publica/ip-rd-avifauna-tendidos.html>

Miranda, I. (28 de Junio de 2022). Aves que se convierten en cócteles Molotov: el peligro de los incendios causados por pájaros electrocutados. *ABC*. Obtenido de [https://www.abc.es/sociedad/abci-aves-convierten-cocteles-molotov-peligro-incendios-causados-pajaros-electrocutados-202206280209\\_noticia.html?ref=https%3A%2F%2Fwww.abc.es%2Fsociedad%2Fabci-aves-convierten-cocteles-molotov-peligro-incendios-causados-pajaro](https://www.abc.es/sociedad/abci-aves-convierten-cocteles-molotov-peligro-incendios-causados-pajaros-electrocutados-202206280209_noticia.html?ref=https%3A%2F%2Fwww.abc.es%2Fsociedad%2Fabci-aves-convierten-cocteles-molotov-peligro-incendios-causados-pajaro)

MITECO. (2019). *Modelos 3D de restos óseos de rapaces ibéricas*. Obtenido de MITECO: <https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/temas/conservacion-de-especies/especies-silvestres/ce-silvestres-conocimiento.html>

MITECO. (2024). *ANTECEDENTES Y DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN DE LA ELECTROCUCIÓN Y COLISIÓN DE AVIFAUNA EN ESPAÑA*. Ministerio de la Transición Ecológica.

Moran, J. (20 de Marzo de 2022). Plea to stop wedge-tailed eagles being electrocuted on power lines after spate of deaths in Tasmania. *ABC News*. Obtenido de <https://www.abc.net.au/news/2022-03-20/wedge-tailed-eagles-electrocuted-on-tasnetwork-powerlines/100923996>

Pallarés, E. (14 de Febrero de 2023). Millones de aves mueren en España al año por la acción humana. *Climática*, págs. <https://climatica.coop/lineas-electricas-causas-muerte-aves/?tztc=1>. Obtenido de <https://climatica.coop/lineas-electricas-causas-muerte-aves/?tztc=1>

R.H. (30 de Octubre de 2023). El choque de un cernícalo en un tendido eléctrico provocó un incendio en Salvatierra de los Barros. *HOY*. Obtenido de <https://www.hoy.es/prov-badajoz/choque-cernicalo-tendido-electrico-provoco-incendio-salvatierra-20231030120915-nt.html?ref=https%3A%2F%2Fwww.hoy.es%2Fprov-badajoz%2Fchoque-cernicalo-tendido-electrico-provoco-incendio-salvatierra-20231030120915-nt.html%3Fr>

Red Eléctrica. (Enero de 2025). *Redeia*. Obtenido de Red Eléctrica: <https://www.sistemaelectrico-ree.es/informe-del-sistema-electrico/transporte/instalaciones-de-la-red-de-transporte>

Red Eléctrica de España. (2016). *METODOLOGÍA Y PROTOCOLOS PARA LA RECOGIDA Y ANÁLISIS DE DATOS DE SINIESTRALIDAD DE AVES POR COLISIÓN EN LÍNEAS DE TRANSPORTE DE ELECTRICIDAD. Versión 2*. RED ELÉCTRICA DE ESPAÑA.

RH Corporative International. (2005). *RH Corporative International*. Obtenido de RH Corporative International: <https://cirhe.com/>

RH Corporative International. (s.f.). *RH-PTTA*. Obtenido de RH Corporative International: <https://cirhe.com/producto/rh-ptta/>

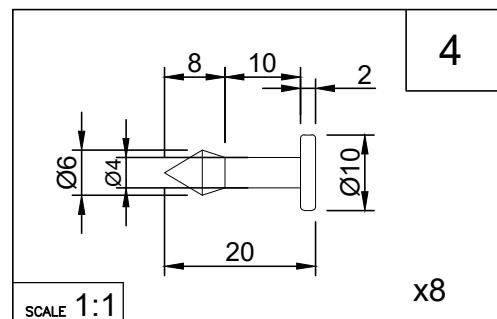
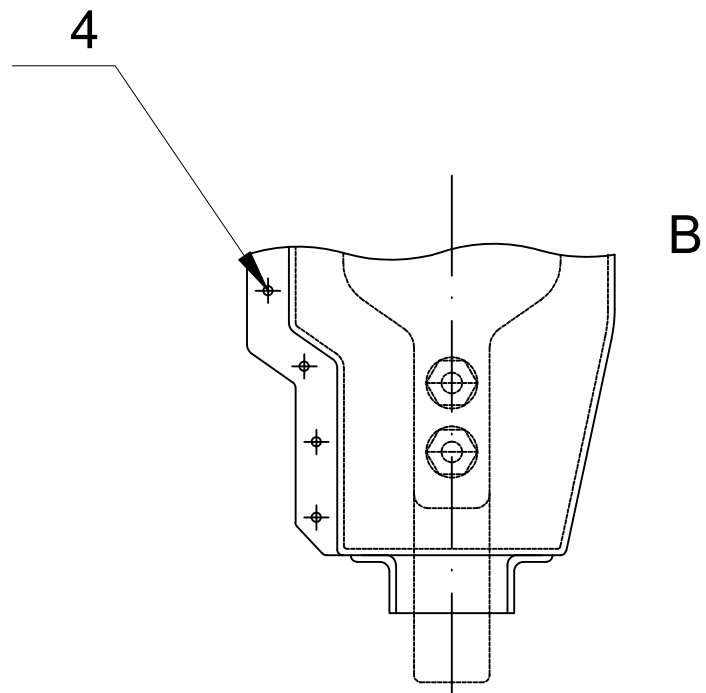
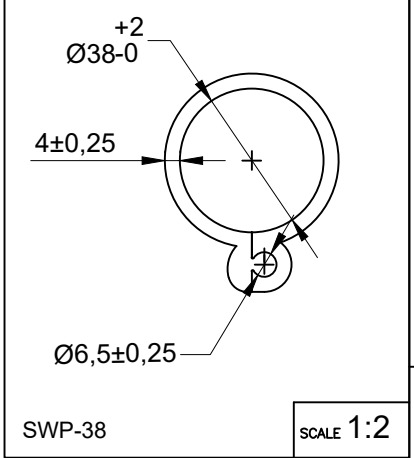
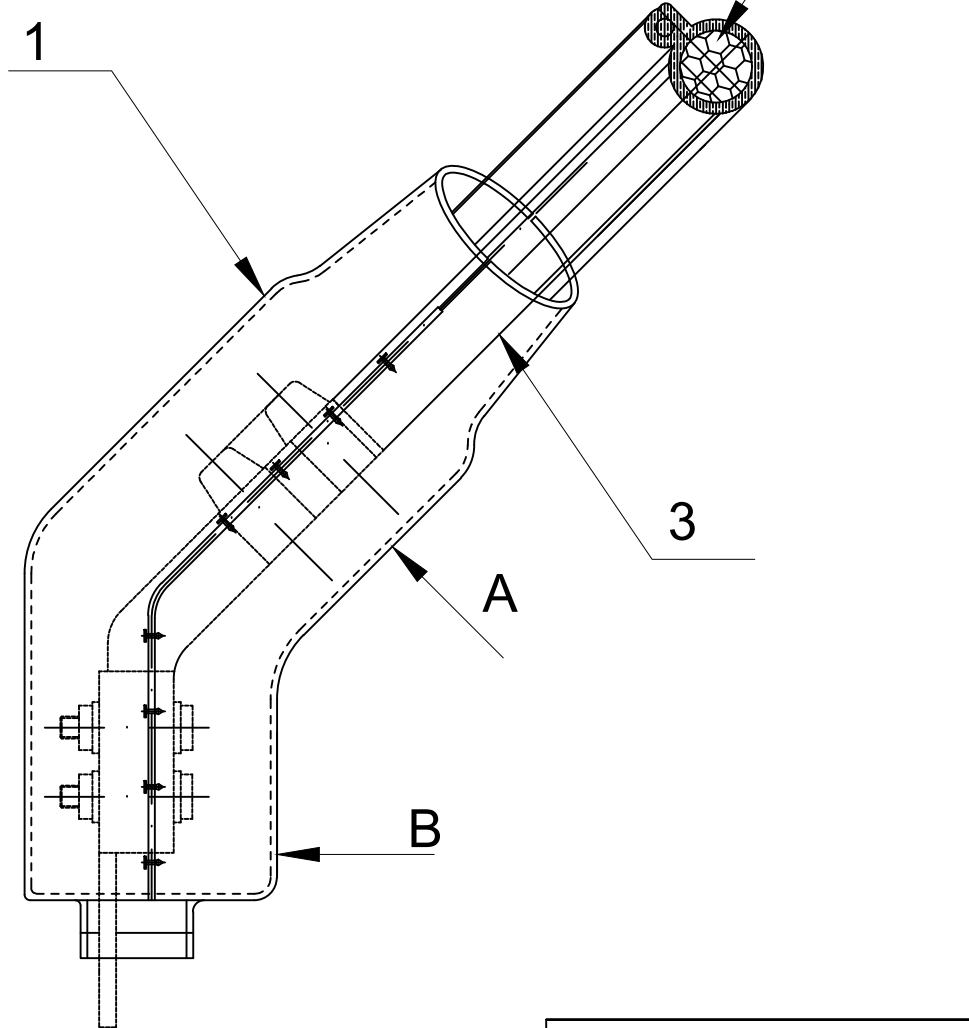
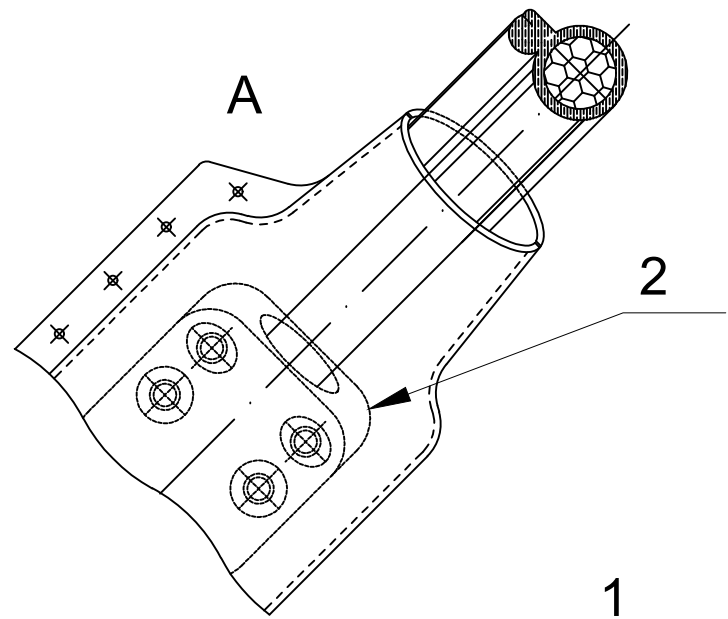
SANJI Chemical. (9 de Abril de 2020). *¿Qué es un agente vulcanizante?* Obtenido de SANJI Chemical: <https://es.sanji-taic.com/info/what-is-a-vulcanizing-agent-53693508.html>

- SEITSA. (2018). *Partner MIDSUN GROUP*. Obtenido de <https://www.seitsa.com/partner/midsun/>
- SEO/BirdLife. (2017). <https://www.lifebonelli.org/index.php/life-bonelli/descripcion-y-objetivos>. Obtenido de SEO/BirdLife: <https://www.lifebonelli.org/index.php/life-bonelli/descripcion-y-objetivos>
- SEO/Birdlife. (13 de Febrero de 2023). *Analizamos las causas por las que mueren las aves en España*. Obtenido de SEO/Birdlife: <https://seo.org/nuevo-informe-analiza-las-causas-por-las-que-mueren-o-resultan-heridas-al-menos-25-millones-de-aves/>
- SiliconeTop.com. (7 de Febrero de 2025). *Silicona para moldes*. Obtenido de SiliconeTop.com: <https://siliconetop.com/es/dictionary/mold-making-silicone/>
- TE Connectivity. (2025). *TE Connectivity*. Obtenido de TE Connectivity: <https://www.te.com/es/home.html>
- Tragsatec. (2014). *Estudio de integración de necesidades de financiación impuestas por el R.D. 1432/2008, con el mecanismo previsto a través de un Plan de Impulso al Medio Ambiente*.
- Wallace P. Erickson, G. D. (2025). *A Summary and Comparison of Bird Mortality from Anthropogenic Causes with an Emphasis on Collisions*.
- Zhejiang Gaoneng Electric Installation Co., Ltd. (27 de Abril de 2018). *GAON Factory*. Obtenido de GAON Factory: <https://www.gao-neng.com/gaon-factory>
- ZSR Int. Group co. (2005). *¿Cómo elegir el proceso correcto de moldeo de silicona?* Obtenido de consumersiliconeproducts: <https://consumersiliconeproducts.com/es/blog/how-to-choose-the-right-process-of-silicone-molding.html>



# ANEXO I: PLANO CONJUNTO DE LA PIEZA FORRADA

---



DESCRIPCIÓN			
ITEM	UD.	DESCRIPCIÓN	MATERIAL
1	1	FORRO ROJO-RAL3031	SILICONA HTV
2	1	PIEZA SUBESTACIÓN	METAL?
3	1	CONDUCTOR	METAL
4	8	PIN - RAL3031	PLASTICO ABS
5	1	FORRO SWP-38-RAL3031	SILICONA HTV



PROYECTO  
**ADECUACIÓN DE UN DISPOSITIVO DE SILICONA  
 PARA PROTECCIÓN DE AVIFAUNA EN  
 SUBESTACIONES ELÉCTRICAS**

DESIGNACIÓN PLANO

Plano conjunto de la pieza forrada

FIRMA:

FDO: Wael El Fahli Chennaoui  
 GRADO: Ingeniería de Diseño  
 Industrial y Desarrollo del Producto

FECHA  
 13/05/2025

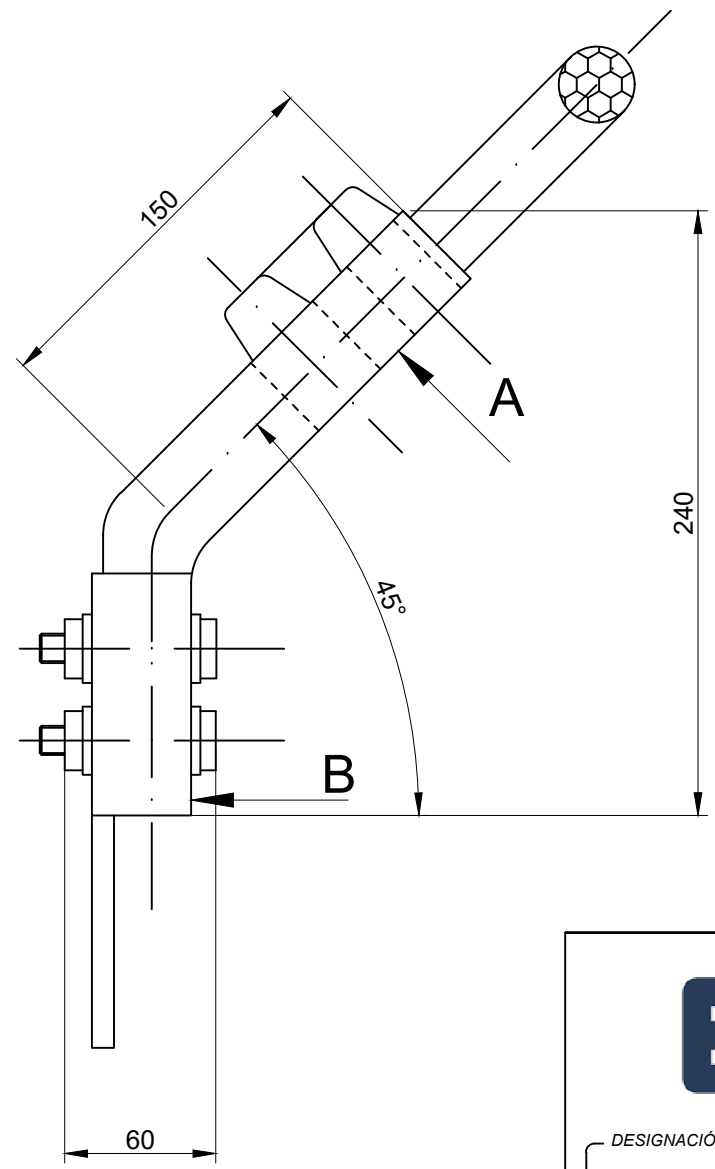
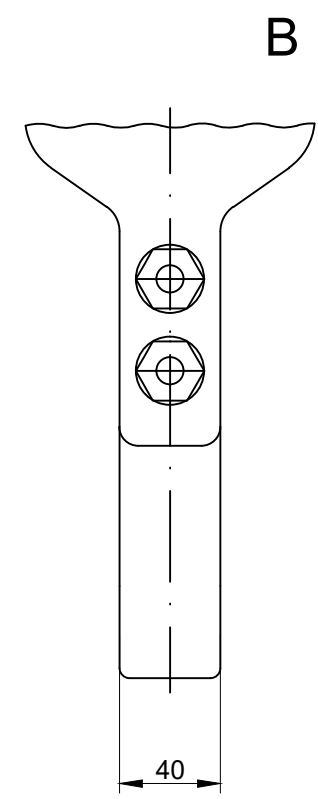
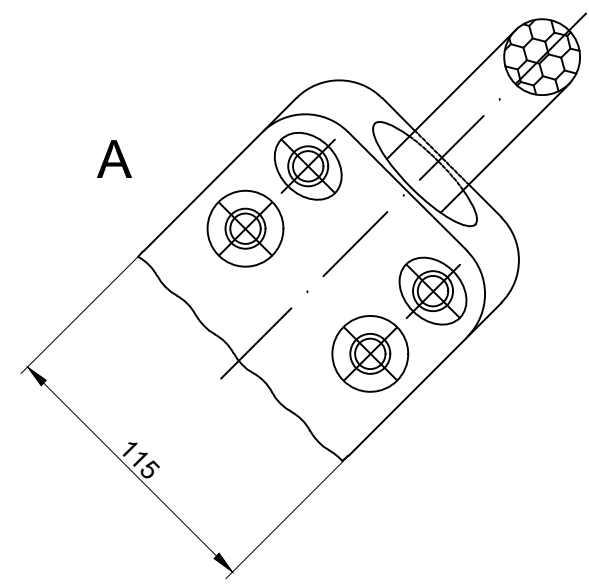
ESCALA  
 1/4

Nº PLANO  
 001



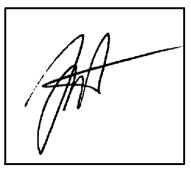
# ANEXO II: PLANO DEL ELEMENTO DE LA SUBESTACIÓN A FORRAR

---



PROYECTO  
**ADECUACIÓN DE UN DISPOSITIVO DE SILICONA  
 PARA PROTECCIÓN DE AVIFAUNA EN  
 SUBESTACIONES ELÉCTRICAS**

DESIGNACIÓN PLANO  
 \_\_\_\_\_  
**Plano del elemento de la**  
 \_\_\_\_\_  
**subestación a forrar**  
 \_\_\_\_\_

FIRMA:  
  
 FDO: Wael El Fahli Chennaoui  
 GRADO: Ingeniería de Diseño Industrial y Desarrollo del Producto

FECHA  
**13/05/2025**

ESCALA  
**1/3**

Nº PLANO  
**002**



# ANEXO III: PLANO DEL FORRO MODELO SPG1

---

8 7 6 5 4 3 2 1

F

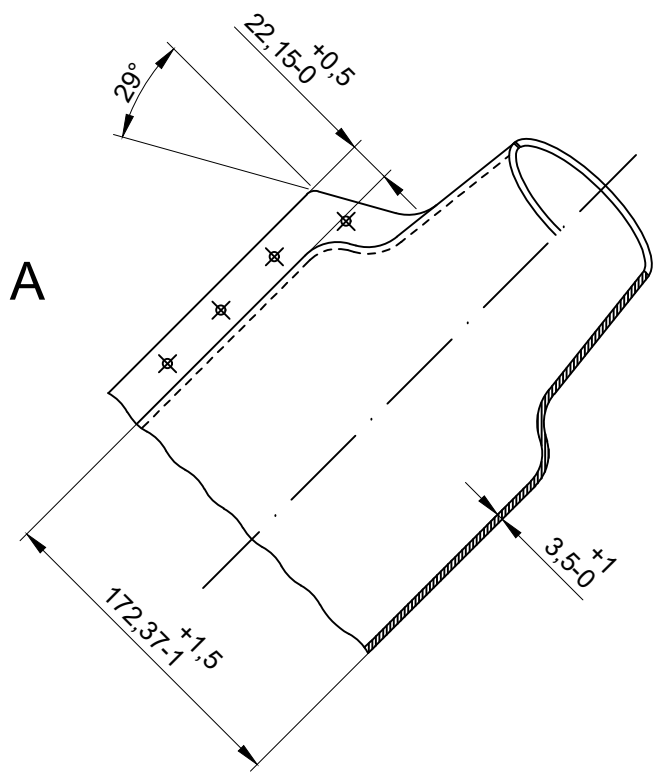
E

D

C

B

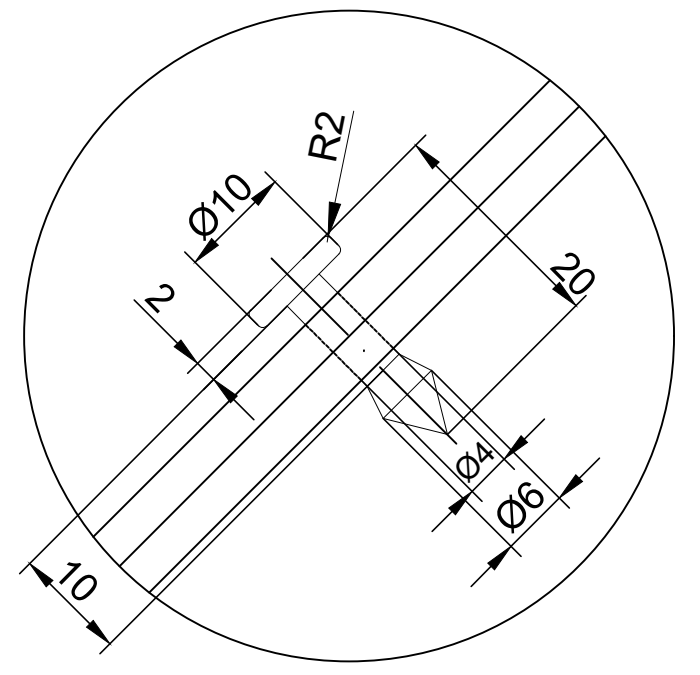
A



Sección C-C

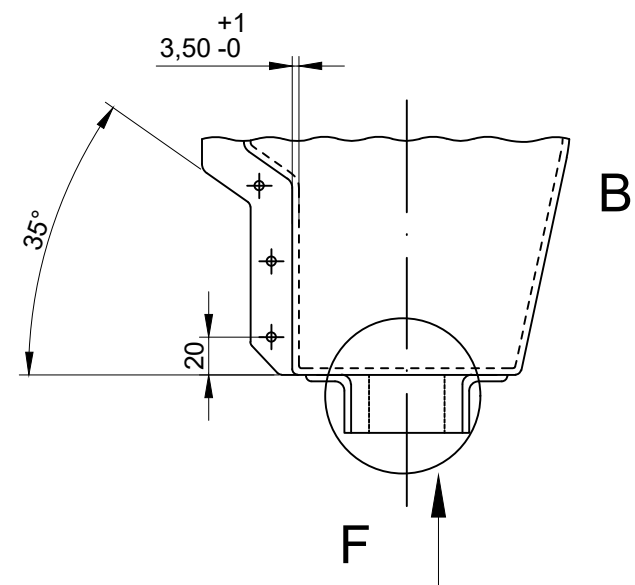
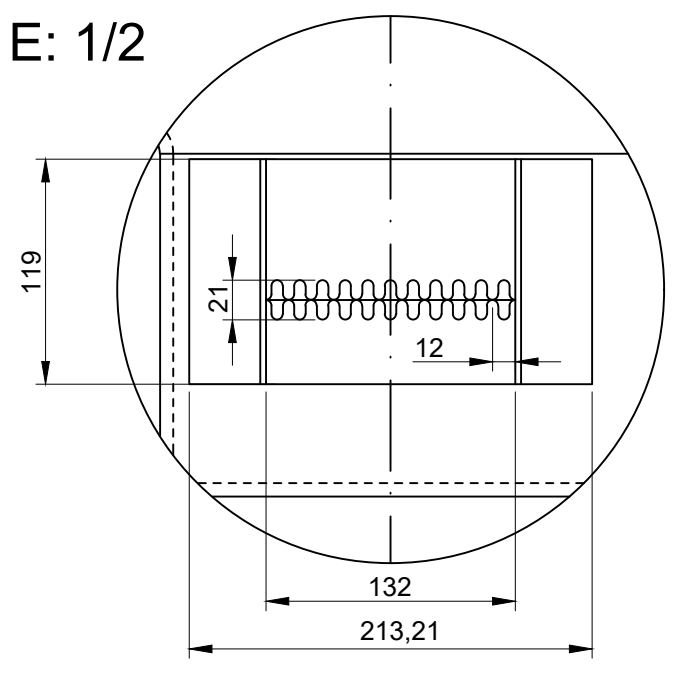
DETALLE G

E: 3/1

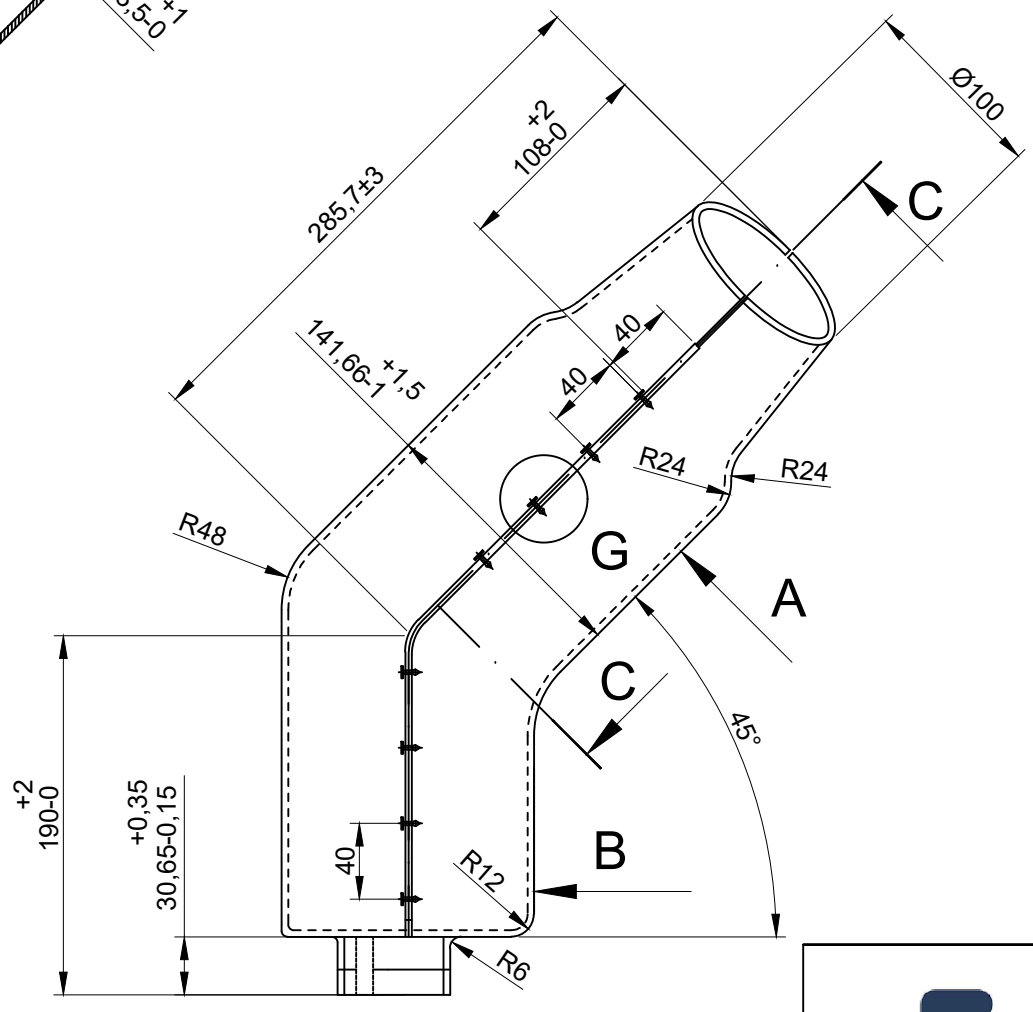


DETALLE F

E: 1/2



B




Espesor constante de todo el forro de 3,5 mm



PROYECTO  
**ADECUACIÓN DE UN DISPOSITIVO DE SILICONA PARA PROTECCIÓN DE AVIFAUNA EN SUBESTACIONES ELÉCTRICAS**

DESIGNACIÓN PLANO  
 \_\_\_\_\_  
**Plano del forro modelo SPG1**  
 \_\_\_\_\_

FIRMA:  
  
 FDO: Wael El Fahli Chennaoui  
 GRADO: Ingeniería de Diseño Industrial y Desarrollo del Producto

FECHA  
**13/05/2025**

ESCALA  
**1/4**

Nº PLANO  
**003**

8 7 6 5 4 3 2 1



# ANEXO IV: PRESUPUESTO

---

**PRESUPUESTO**

Adecuación forro avifauna modelo SPG1

CÓDIGO	UNIDADES	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO
<b>ESTUDIO INGENIERÍA</b>				
<b>VISITA</b>	<b>UD.</b>	<b>VISITA TÉCNICA DE MEDICIÓN</b> Visita técnica para la inspección del elemento a forrar para su diagnóstico y medición. Incluye jornada completa de trabajo de campo por ingeniero especializado, desplazamiento ida y vuelta desde Málaga - Granada, toma de datos técnicos y fotografías.	<b>1</b>	<b>540.00 €</b>
<b>ESTUDIO</b>	<b>UD.</b>	<b>ESTUDIO DE REQUISITOS DE COMPATIBILIDAD</b> Incluye análisis técnico de las condiciones físicas del elemento a proteger (estructura metálica, soporte, etc.). Se evalúan dimensiones, geometría, materiales, estado de conservación y posibles interferencias mecánicas.	<b>1</b>	<b>450.00 €</b>
<b>DISEÑO</b>	<b>UD.</b>	<b>DISEÑO DEL FORRO CAD 2D</b> El desarrollo del producto comprende la elaboración de modelos digitales en 2D, para poder visualizar la geometría del sistema, validar su montaje y facilitar su fabricación	<b>1</b>	<b>325.00 €</b>
<b>PLANOS</b>	<b>UD.</b>	<b>PLANOS TÉCNICOS</b> Se generan planos de fabricación en detalle, que incluyen todas las cotas funcionales, secciones transversales, espesores, tolerancias y las vistas auxiliares necesarias para el mecanizado o producción del forro. Estos documentos permiten enviar el diseño directamente a fabricantes	<b>1</b>	<b>700.00 €</b>
<b>Selecc. MATERIAL</b>	<b>UD.</b>	<b>SELECCIÓN PRELIMINAR DE MATERIALES</b> Se realiza una evaluación de alternativas de materiales (PVC, polímeros, silicona HTV, silicona RTV...) en función del entorno de uso (exposición solar, temperatura, humedad, compatibilidad eléctrica, etc.). La propuesta incluye una o varias recomendaciones con propiedades técnicas y ventajas comparativas.	<b>1</b>	<b>250.00 €</b>
<b>FABRICACIÓN</b>				
<b>MOLDE</b>	<b>UD.</b>	<b>MOLDE PARA MOLDEO POR COMPRESIÓN</b> Diseño, fabricación y puesta a punto de un molde técnico para la producción de forros avifauna mediante proceso de moldeo por compresión. El molde se diseña en función del producto final validado y se fabrica en acero o aleación tratada para aguantar presiones y temperaturas elevadas típicas del proceso.	<b>1</b>	<b>4,000.00 €</b>
<b>MATERIA</b>	<b>KG.</b>	<b>MATERIA PRIMA DE SILICONA HTV ADITIVADA</b> Suministro de materia prima de silicona HTV (High Temperature Vulcanizing) aditivada, especialmente formulada para procesos de moldeo por compresión.	<b>1</b>	<b>18.00 €</b>
<b>SPG1</b>	<b>UD.</b>	<b>MOLDEO POR COMPRESION DE LA PIEZA SPG1</b> Fabricación de piezas mediante proceso de moldeo por compresión utilizando silicona HTV aditivada. Este proceso incluye la preparación del material, carga en el molde, prensado a temperaturas y presiones controladas, curado para asegurar propiedades mecánicas óptimas, desmoldeo y control de calidad visual.	<b>1</b>	<b>26.00 €</b>
<b>MARCADO</b>	<b>UD.</b>	<b>MARCADO LASER</b> Servicio de marcado láser en las piezas fabricadas, incluye grabado de texto y números según diseño proporcionado. Se incluye preparación del archivo para marcado y control de calidad final.	<b>1</b>	<b>1.50 €</b>
				<b>COSTE EJECUCIÓN MATERIAL: 6,310.50 €</b>
				<b>GASTOS GENERALES (5%): 315.53 €</b>
				<b>BENEFICIO INDUSTRIAL (15%): 946.58 €</b>
				<b>TOTAL PRESUPUESTO: 7,572.60 €</b>
				<b>IVA (21%): 1,590.25 €</b>
				<b>PRECIO FINAL: 9,162.85 €</b>