

AVES Y TENDIDOS ELÉCTRICOS EN LAS PROVINCIAS DE SALAMANCA Y ÁVILA

VICENTE LÓPEZ ALCÁZAR
MYRIAM CUADRADO LÓPEZ
FERNANDO DÍEZ VÁZQUEZ
SALVADOR PERIS ÁLVAREZ*

RESUMEN: *Aves y tendidos eléctricos en las provincias de Salamanca y Ávila.* Se ha tratado de calcular el impacto por electrocución y colisión de las líneas eléctricas sobre las aves en las provincias de Salamanca y Ávila, intentando determinar las especies más afectadas, los hábitat en los que se producía una mayor mortalidad, y la importancia del diseño del poste para el caso de la muerte por electrocución. Para ello se han muestreado un total de 2.757 postes lo que supone unos 243 kilómetros de líneas eléctricas, recogiendo un total de 251 aves accidentadas pertenecientes a 29 especies. Para el caso de la electrocución los grupos más afectados han sido las aves rapaces y los córvidos, con un 81,01% del total. Para el caso de la colisión, las aves acuáticas y las esteparias, con el 71,42%. Se han encontrado diferencias en la peligrosidad de los diferentes diseños de los apoyos, resultando más peligrosos los que presentan los cables sobre la cruceta. En cuanto a los hábitat por los que discurre el tendido, se ha visto que están relacionados con la mortalidad tanto en el caso de la electrocución como en el de la colisión, siendo los más peligrosos ecotono y cultivo. También influyen en los accidentes otros factores como la especie del ave, la edad o las pautas de conducta.

ABSTRACT: *Birds and power lines in Salamanca and Ávila areas.* We tried to calculate the electrocution and collision impact on the birds of Salamanca and Ávila provinces, trying to show the more affected species, the habitat with a bigger mortality and the importance of pylon design in the electrocution death. We have sampled 2.757 pylons (about 243 kilometres) of electric power lines, collecting 251 dead birds of 29 different species. The more affected group for electrocution, have been the birds of prey and the ravens, with a 81.01% of total. For the collision, the more affected were marsh birds and steppe birds, with a 71.42%. The most dangerous models of pylons have been the models with cables upper the crossbar. There are too differences between landscape, in relation with electrocution and collision, and the most dangerous have been ecotono and farming. There are other factors with influence in the accidents, like the different specie of bird, the age of bird or its behavior.

PALABRAS CLAVE: aves / colisión / electrocución / tendidos eléctricos / mortalidad.

Departamento de Biología Animal-Zoología.
Universidad de Salamanca, 37071 Salamanca-E; e-mail: peris@gugu.usal.es

1. INTRODUCCIÓN

Las distintas actividades humanas ligadas al desarrollo industrial y económico, implican la construcción de infraestructuras que modifican de forma notable el entorno. Entre estas alteraciones se encuentran las líneas eléctricas, que han pasado a formar parte del paisaje estableciendo numerosas relaciones con las comunidades tanto vegetales como animales. En esta relación, se ha visto afectado especialmente el grupo de las aves, ya que los tendidos eléctricos son los responsables de la mortalidad de un número considerable de ellas, llegando incluso a amenazar la supervivencia de algunas especies.

A lo largo de los últimos 25 años, el impacto de los tendidos eléctricos sobre las poblaciones de aves ha sido ampliamente estudiado en distintos países de todo el mundo, donde las instalaciones eléctricas han constituido un foco de mortalidad de primer orden. Esta mortalidad se producía básicamente de dos formas diferentes, por electrocución en el poste o por colisión contra los cables.

Las primeras noticias sobre la mortalidad de aves producida por tendidos eléctricos, datan de la primera mitad del siglo xx (Hallinan, 1922; Marshal, 1940). Pero no fue hasta finales de los años setenta cuando se realizaron lo que parecen ser los primeros estudios rigurosos sobre el tema (Scott et al., 1972; Renssen et al., 1975), analizando distintas líneas acusadas de causar bajas entre ciertos grupos de aves.

En España se comenzó a tener conciencia sobre este problema unos cuantos años más tarde, obteniéndose los primeros datos alarmantes en el Parque Nacional de Doñana en 1982, cuando la Estación Biológica de Doñana (CSIC) comenzó un estudio sobre la mortandad que originaban las líneas eléctricas en el Parque, con la intención de evaluar su efecto sobre la avifauna en general, y en particular sobre el águila imperial (*Aquila adalberti*). De una muestra de 100 km de los más de 300 km de tendidos eléctricos que se encuentran en el Parque, se calculó una mortalidad superior a 2.000 aves/año, afectando de forma particularmente importante al águila imperial (Ferrer y De la Riva, 1984; Ferrer et al., 1986, 1988).

Desde entonces se ha avanzado mucho en el conocimiento del impacto que pueden tener las instalaciones de transporte eléctrico sobre las aves, si bien aún no se ha avanzado lo suficiente como para conocer las consecuencias reales sobre las poblaciones.

La totalidad de los estudios realizados confirman de forma clara que la mayor parte de las bajas atribuibles a tendidos eléctricos lo son por electrocución, y que ésta se produce preferentemente en determinados apoyos y para ciertos diseños. La electrocución se puede producir de dos formas diferentes: por contacto del ave con dos conductores simultáneamente, o lo que es más frecuente, por contacto con un conductor y derivación a tierra a través del poste (Hass 1980; Olendorff 1981). La muerte se produce normalmente en la torreta y rara vez, sólo en aves de gran envergadura, por el contacto simultáneo con dos cables estando en vuelo, y se produce por el paso de la corriente, lo que deja en ocasiones características marcas en al ave, (Hass 1980; Olendorff 1981; Ferrer et al., 1991).

1.1. ELECTROCUCIÓN

Sobre la probabilidad de que exista una electrocución, actúan principalmente tres tipos de factores: factores técnicos, factores biológico y factores climatológicos, siendo los principales el diseño del poste y el hábitat en el que se encuentre (Olen-dorff, 1981; Ferrer et al., 1991).

1.1.1. Factores técnicos

El riesgo de accidentes por electrocución es mucho mayor en las líneas de menos de 45 kv, debido principalmente a la dimensión de los apoyos, la separación de los conductores o la longitud de los aisladores. En líneas de voltaje superior, las características de los apoyos hacen que éstos no sean peligrosos para la electrocución. Por tanto, la separación entre los cables es un factor muy importante que determina la posibilidad de que un ave pueda o no contactar con dos conductores simultáneamente o con un conductor y derivación a tierra a través de la cruceta.

En todos los estudios realizados hasta el momento se ha puesto de manifiesto la diferente peligrosidad de los apoyos dependiendo de su diseño, siendo la disposición de los aisladores la característica más importante (Haas 1980; Fiedler y Wissner 1980; Ferrer y De la Riva 1984; Negro 1987; Ferrer et al., 1986). Esta peligrosidad puede verse en la Figura 1. Si un ave intenta posarse sobre el modelo A, no tocará ningún cable. Sin embargo si lo hace sobre el B o el C, la probabilidad de que toque los cables es mucho mayor.

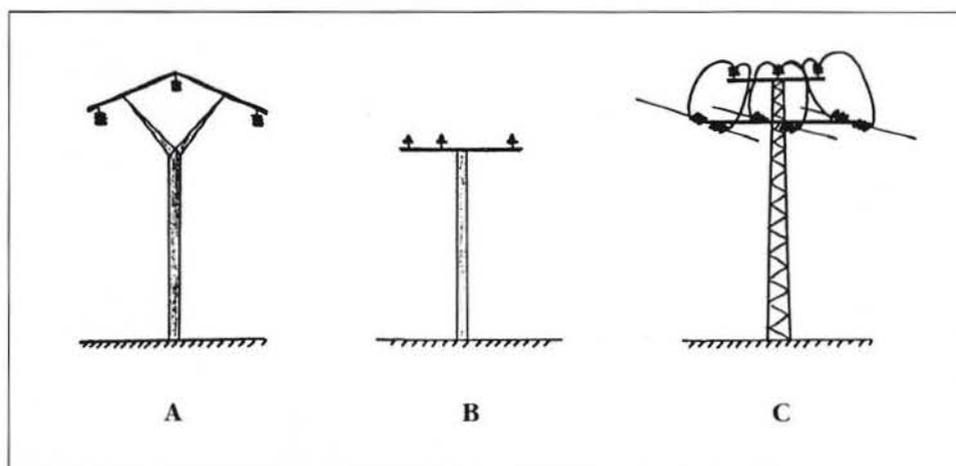


FIGURA 1.—Diferentes modelos de apoyos, ordenados de menor a mayor peligrosidad.

A: Modelo de alineación con aisladores suspendidos. B: apoyo de alineación con aislador rígido. C: Modelo de función especial con puentes flojos sobre la cruceta.

Las importantes diferencias existentes entre los distintos modelos de apoyo según su diseño y la presencia o no de protecciones, como puede ser el aislamiento de los cables o de la propia cruceta, hace que varíe enormemente la peligrosidad de unos modelos de apoyos a otros. Esto implica que los accidentes producidos por electrocución no se encuentren repartidos homogéneamente a lo largo de toda la línea, sino que se suelen concentrar en unos determinados apoyos con características determinadas. La existencia de esta distribución de los accidentes es lo que se ha dado en llamar “fenómeno de contagio” (Ferrer y Calderón, 1990).

El material de construcción del pilar de apoyo es otro factor importante que determina la peligrosidad de un poste. Los pilares de madera son malos conductores de la electricidad, por lo que, si un ave contacta simultáneamente con un conductor y el poste, es menos probable una derivación a tierra que en los pilares de metal. Los postes de hormigón suelen ser peores conductores que los de metal, aunque el hormigón armado tiene una conductibilidad de la electricidad parecida a la de estos últimos.

1.1.2. *Factores biológicos*

Son varios los factores de tipo biológico que van a aumentar o disminuir la probabilidad de electrocución de un ave.

1.1.2.1. Tipo de hábitat

El tipo de hábitat donde se encuentre localizada una línea, condiciona la abundancia de aves y la presencia o no de determinadas especies. Una gran diversidad de aves en la zona por la que transcurre una línea eléctrica es siempre un factor de riesgo, lo que hace que el trazado de una línea por espacios naturales de importancia para la avifauna sea un problema a considerar (Ferrer, 1990). Será igualmente importante, para el caso concreto de las aves rapaces, la abundancia y diversidad de presas bajo determinadas líneas que puedan incluir postes peligrosos en su trazado. Se ha podido comprobar que existe una fuerte relación lineal entre el número de conejos bajo la línea y el número de rapaces electrocutadas (Ferrer et al., 1986).

También va a condicionar la utilización de las torretas por parte de las aves, incrementándose mucho en zonas desarboladas donde los tendidos eléctricos constituyen los únicos puntos elevados sobre el terreno (Olendorff, 1981; Benson, 1982).

Otro factor importante de mortalidad es la nidificación en los tendidos, práctica muy habitual en determinados modelos de torretas de gran tamaño. Sin embargo la construcción de nidos en apoyos de pequeño tamaño suponen un alto riesgo de electrocución para los adultos y, posteriormente, para los pollos en sus primeros vuelos.



FIGURA 2.—Foto de un nido en un tendido eléctrico.

Es interesante destacar que en estudios recientes se ha encontrado que las líneas que transcurren próximas a las carreteras y caminos más o menos transitados, producen una mortalidad hasta seis veces menor (Ferrer et al., 1986). Otro punto con problemas de accidentes son los vertederos de residuos sólidos urbanos, donde se producen grandes concentraciones de aves. La existencia de modelos peligrosos de apoyos, supondrá un claro factor de riesgo. En estas condiciones, los accidentes por colisión también son comunes.



FIGURA 3.—Foto. Aves en el vertedero de Salamanca.

1.1.2.2. Especie, tamaño y edad del ave

Son factores que también hay que considerar. La electrocución va a afectar en mayor medida a aquellas especies que tengan por costumbre posarse en los apoyos dependiendo de sus pautas de conducta. Los postes son utilizados como atalayas, dormideros, descansaderos, comederos e incluso como puntos de nidificación por diferentes especies de aves, desde las más pequeñas hasta las grandes rapaces. Hay especies como las aves esteparias o las anátidas, a las que nunca veremos posadas en los apoyos.

En relación al tamaño no todas van a verse afectadas por igual, siendo las de mediana o gran envergadura las que presentan mayor riesgo de electrocución. Esta descripción coincide plenamente con el grupo de las aves de presa que en general son especies escasas, alguna de ellas amenazadas de extinción.

En cuanto a la edad del ave, se ha demostrado que está estrechamente relacionada con la electrocución. Esto queda patente en el caso del águila imperial ibérica, la rapaz europea en mayor peligro de extinción, donde el 72,7% de las muertes registradas corresponden a individuos de menos de 5 años de edad, y que por tanto todavía no han alcanzado la madurez sexual (Ferrer y Calderón, 1990; Guzmán y Castaño, 1998; Ferrer et al., 1991; 1^{as} jornadas CODA sobre impactos de los tendidos eléctricos, 1994).

1.1.3. Factores climatológicos

El clima es también un factor importante que va a influir en el riesgo de accidentes, y puede hacerlo de dos formas diferentes:

- *Humedad.* En estudios realizados con conductividad, se obtuvo que el contacto entre las plumas mojadas y los conductores era unas 100 veces más peligroso que entre las plumas secas y los conductores (Nelson, 1979, 1980). Lo mismo ocurre con los aisladores y la cruceta, fundamentalmente cuando esta es de madera, ya que la madera es un buen aislante cuando está seca. De esta forma en los días de lluvia o niebla se incrementa el riesgo de electrocución (Olendorff, 1981; Ferrer y Calderón, 1990).
- *El viento.* Es otro factor climático que puede aumentar la probabilidad de la electrocución, dependiendo de la dirección y la intensidad que presente (Boeker 1972, Nelson y Nelson 1976, 1977). En días de fuerte viento y con viento paralelo a las crucetas, se producen mayor número de electrocuciones.

1.2. COLISIÓN

La enorme longitud de las líneas eléctricas, la retirada de las aves accidentadas por los carroñeros, la distancia más o menos larga a la que puede caer el ave tras el accidente o la probabilidad de que el ave accidentada caiga con vida tras la colisión

y pueda alejarse caminando o incluso volando, hacen que los datos de colisiones sean de difícil obtención, y por lo tanto parece lógico pensar que los accidentes por colisión no se detecten en la gran mayoría de las ocasiones en que se producen (Heijnis, 1980; Olendorff, 1981; Faanes, 1983).

Toda una serie de estudios sobre este tema, confirman la importancia de la colisión de las aves con los cables. Si bien su importancia cuantitativa no puede compararse con las bajas producidas por electrocución, Negro (1987), indica que el número de especies afectadas es siempre mayor en accidentes de colisión que en electrocución. Esto es debido únicamente a que no todas las especies incluyen entre sus hábitos el de posarse en torretas eléctricas, pero sin embargo cualquiera puede colisionar con un cable suspendido en el aire.

Al igual que sucede con la electrocución, en la colisión también existen una serie de factores, tanto técnicos como biológicos y climatológicos, que influyen en la frecuencia de los accidentes.

1.2.1. Factores técnicos

El mayor o menor diámetro de los cables es un factor importante que influye en la probabilidad de la colisión, ya que a menor diámetro de un cable más difícilmente será visto por las aves. Por ello, generalmente los accidentes se van a producir contra los cables de tierra, (sólo presentes en líneas de transporte de tensión superior a 45 kv) y que tiene por función la de proteger el tendido de posibles descargas atmosféricas y sobretensiones y cuyo diámetro (11 mm) es sensiblemente menor que el de los conductores y además se encuentra situado en un plano superior (Heijnis, 1980; Faanes, 1981; Beaulaurier, 1981).

En cuanto a la disposición de los cables, se ha demostrado una menor frecuencia de accidentes en las disposiciones en capa, es decir, cuando todos los cables se encuentran dispuestos en el mismo plano, paralelo respecto al suelo.

1.2.2. Factores biológicos

1.2.2.1. Especies y hábitat

No todas las aves presentan el mismo riesgo de colisión. Hay una serie de especies que resultan más afectadas bien por poseer hábitos nocturnos o crepusculares en los que la visibilidad es baja, o tratarse de especies gregarias que se desplazan y mueven en grandes bandos en los que puede existir gran confusión, dando lugar a que ciertos individuos no puedan esquivar los cables. También influirá la capacidad de maniobrabilidad que tenga la especie, viéndose perjudicadas las de mayor tamaño.

El hábitat condiciona la presencia o ausencia de estas especies, siendo los de mayor riesgo las áreas esteparias, zonas húmedas, vertederos, pasillos migratorios, etcétera.

Se conocen mortandades masivas en zonas húmedas de alta densidad de aves (Heijnis, 1980; Mc Neill et al., 1985) y pasos migratorios (Scott et al., 1972).

La aparición esporádica del hombre (caza, actividades agrícolas y deportivas, etc..) puede provocar la huida incontrolada de bandos de aves, facilitando la colisión de alguna de ellas contra los cables de alguna línea próxima.

1.2.3. Factores climatológicos

El riesgo de colisión aumenta en situaciones de escasa visibilidad, tales como brumas, precipitaciones intensas, amaneceres o atardeceres, siendo así más probable su incidencia en determinadas estaciones del año o en áreas más propensas a condiciones meteorológicas adversas (Scott et al., 1972).

Por otra parte el viento dificulta el control del vuelo, y si el ave vuela cerca de una línea eléctrica, disminuye la posibilidad de esquivar los cables, aumentando el riesgo de colisión.

2. METODOLOGÍA

2.1. ZONAS MUESTREADAS

Se han muestreado a lo largo de 243 kilómetros un total de 74 tendidos, 50 en la provincia de Ávila y 24 en la de Salamanca, tratando de abarcar aquellas áreas de mayor valor paisajístico y de mayor riqueza ornitológica. Se seleccionaron tendidos en las siguientes zonas:

- *En la provincia de Ávila:*
La Moraña, Sierra de Gredos, Valles del Tietar e Iruelas y Sierra de la Paramera.
- *En la provincia de Salamanca:*
Sierra de Béjar-Candelario, área de Peñaranda-Cantalapiedra, dehesas salmantinas, Arribes del Duero y área de Ledesma.

2.2. ELECCIÓN DE LOS TENDIDOS

La elección de los tendidos se hizo básicamente en función de dos variables: el modelo de los apoyos y el hábitat por el que discurría la línea.

2.2.1. Modelo de apoyos

Se sabe que los apoyos de alineación aún siendo peligrosos, lo son menos que el resto (apoyos con diferentes funciones tales como refuerzo sobre carreteras,

refuerzo en ángulo o derivaciones), y dentro de ellos, los que portan aislamiento rígido lo son más que los que portan aisladores en cadena o suspendidos (Hass, 1980; Fiedler y Wissner, 1980; Negro, 1987). Basándose en esto, se seleccionaron líneas con distintos modelos de apoyos de alineación, para así contrastar la diferente peligrosidad. Para estudiar los distintos modelos de apoyos, han sido agrupados en diez tipos que enumeramos a continuación:

- Apoyos de alineación: *bóveda, aislador rígido, cruz, y tresbolillo.*
- Resto de modelos: *central superior, tres inferiores, transformador de intemperie, derivación, doble cruceta, tres superiores, casetas de transformación y otros.*

El resto de los modelos aparecen fotografiados en el apéndice fotográfico.

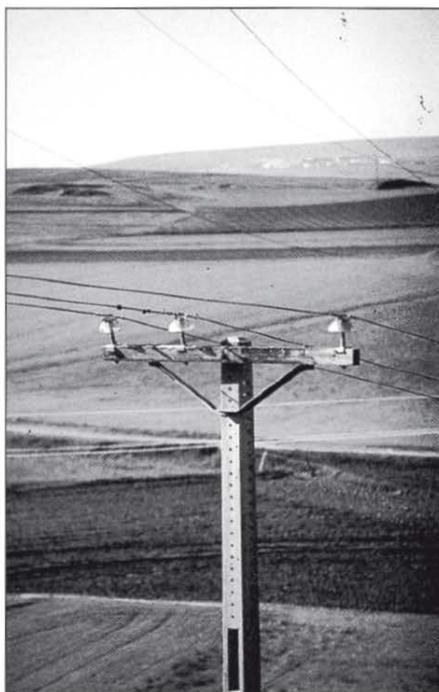


FIGURA 4.—Foto de un poste del modelo de alineación denominado aislador rígido, en hábitat cultivo.

2.2.2 Tipo de hábitat por los que discurre el tendido

Se seleccionaron líneas tratando de incluir todos los tipos posibles de hábitat, ya que tanto la bibliografía (Olendorff, 1981; Benson, 1982; Ferrer et al., 1986; Negro, 1987; Ferrer y Calderón, 1990; Ferrer y De la Riva, 1991) como los datos que se iban obteniendo, indicaban que existen diferencias en el número de accidentes y especies afectadas según el tipo de formación paisajística en que se produce. Los hábitat seleccionados han sido dividido en cinco tipos básicos en función de sus características, enumerados a continuación: *arbolado, desarbolado, ecotono, cultivo y humanizado.*

2.3. TRANSECTOS REALIZADOS

Una vez seleccionadas las líneas objeto de estudio, un total de 74, en todas ellas se realizó un transecto con un mínimo de dos personas por línea, revisando desde la base de la torreta hasta un radio de diez metros alrededor de ésta, así

como el vano existente entre dos apoyos en una anchura total de unos 20 metros, con el fin de evitar que pasaran desapercibidos los restos de aves accidentadas por



FIGURA 5.—Figura 5. Foto de muestreo en hábitat desarbolado.



FIGURA 6.—Foto de desplumadero producido por colisión.

colisión o electrocución, siguiendo para tal efecto las recomendaciones de Negro (1987): para discernir entre electrocución y colisión, se ha establecido el siguiente criterio: si el ave o sus restos aparecen al pie de la torreta o en sus proximidades, lo consideramos electrocución; si aparecen bajo los cables, en el vano comprendido entre dos postes, lo atribuimos a colisión. La presencia de un “desplumadero” bajo los cables, se ha tomado como colisión, y es la forma más común de localizar este tipo de accidentes.

En los accidentes por *electrocución*, los restos tienden a concentrarse a los pies de los apoyos, pudiéndose encontrar en muy diferente estado de conservación; desde víctimas que pueden llevar menos de un día muertos, hasta únicamente huesos y plumas que pueden llevar más de un año.

Para el caso de *colisión*, en la que en la mayoría de los restos encontrados únicamente son plumas, en unas horas puede haber desaparecido todo rastro del accidente. Éste es otro factor que hace que la importancia de la colisión pueda ser subestimada. Para su localización tiene que actuar el azar de que, cuando se recorra la línea, la colisión se haya producido poco antes.

Cada una de las aves accidentadas, fue recogida para evitar posibles confusiones en posteriores transectos, etiquetada y trasladada al Departamento de Biología Animal de la Facultad de Biología de la Universidad de Salamanca para su posterior análisis.

3. RESULTADOS

3.1. ESPECIES ACCIDENTADAS

Se han recogido un total de 251 individuos accidentados, 216 electrocutados y 35 colisionados, en aproximadamente 243 km de líneas muestreadas. Se ha podido determinar la especie en el 87,64% de los individuos, obteniéndose un total de 29 especies.

Las especies accidentadas son, en general, aquellas cuya presencia en el área de estudio es más común, por lo que estarían representadas la mayoría de ellas que por su tamaño o hábitos de comportamiento son más susceptibles de sufrir algún tipo de accidentes con los tendidos eléctricos. El total de especies accidentadas se puede ver en el Cuadro 1.



FIGURA 7.—Foto. Determinación de la especie en el laboratorio. En numerosas ocasiones era necesario el análisis de los restos óseos para llegar a la especie.

ESPECIE	N. CIENTÍFICO	ELEC.	COL.
Milano real	Milvus milvus	14	0
Milano negro	Milvus migrans	8	1
Águila calzada	Hieraetus pennatus	7	0
Cernícalo común	Falco tinnunculus	22	0
Ratonero común	Buteo buteo	41	0
Buitre leonado	Gyps fulvus	3	2
Águila culebrera	Circaetus gallicus	1	0
Búho real	Bubo bubo	1	0
Cárábo común	Strix aluco	1	0
Lechuza común	Tyto alba	7	0
Corneja	Corvus corone	33	0
Cuervo	C. corax	31	2
Grajilla	C. monedula	5	0
Urraca	Pica pica	1	0
Ortega	Pterocles orientalis	0	1
Sisón	Tetrax tetrax	0	2
Alcaraván	Burhinus oediconemus	0	2
Avutarda	Otis tarda	0	6
Perdiz	Alectoris rufa	0	1
Cigüeña blanca	Ciconia ciconia	3	3
Garza real	Ardea cinerea	0	2
Ánade real	Anas platyrhynchos	0	8
Estornino negro	Sturnus unicolor	6	0
Abubilla	Upupa epops	1	0
Paloma bravía	Columba livia	1	0
Paloma torcaz	Columba palumbus	0	1
Chotacabras gris	Caprimulgus europaeus	0	1
Papamoscas cerrojillo	Ficedula hypoleuca	0	1
Gorrión común	Passer domesticus	1	0
Indeterminados	—	29	2
TOTAL	—	216	35

CUADRO 1.—Total de aves accidentadas por electrocución y colisión, recogidas en el estudio.

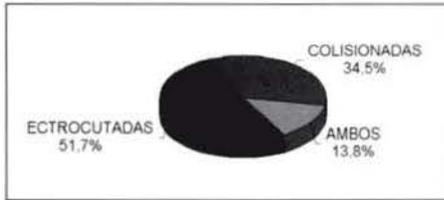


FIGURA 8.—Porcentaje de especies accidentadas por electrocución y/o colisión.

Se observa que el porcentaje de especies colisionadas ha sido inferior al de electrocutadas, aunque Negro (1987) cite que el número de especies susceptibles de colisión es mayor a las de electrocución. En nuestro caso, el porcentaje de especies colisionadas ha sido bajo, pese a haberse incrementado de forma considerable el número de líneas situadas en zonas de estepa cerealista, ya que las aves esteparias y las acuáticas son unas de las más afectadas por la colisión (Beaulaurier, 1981; Meyer, 1980). Esto puede deberse a la dificultad para localizar accidentes por colisión, con lo que este problema aparecerá con seguridad subestimado en la mayoría de los trabajos que se realicen. El bajo número de individuos y de especies colisionadas, también podría deberse a la ausencia de seguimiento de líneas de alta tensión, muy peligrosas, y donde se producen la mayoría de las colisiones contra el cable de tierra (Heijnis, 1980; Beaulaurier, 1981).

En la Figura 9, también se puede ver el total de especies accidentadas, pero reunidas en grupos afines. Se observa que el grupo más afectado es el de las rapaces (34,5%) seguido por las aves esteparias (17,2%). La especie de ave de presa más afectada ha sido el ratonero, con el 37,96% de los casos, todos ellos por electrocución.

En la Figura 8, se representa el porcentaje de especies accidentadas por electrocución, por colisión y considerando ambos accidentes de manera conjunta.

Podemos ver que el 51.7% de las especies recogidas han sufrido electrocución, el 34.5% colisión y el 13.8% de las especies han sufrido ambos accidentes.

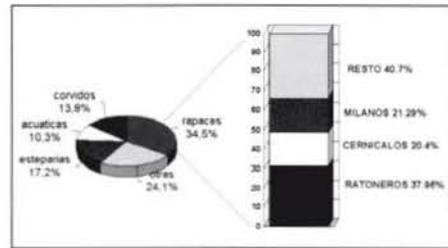


FIGURA 9.—Aves accidentadas por electrocución y colisión, reunidas por grupos afines.

3.1.1. Electrocutación

El grupo más afectado por electrocución ha sido el de las aves rapaces (considerando conjuntamente nocturnas y diurnas) con diez especies, el 52,6% del total. El siguiente grupo más afectado es el de los córvidos, muy abundantes en todo el área de estudio y principalmente en la zona norte de ambas provincias, con cuatro especies afectadas, el 21,1% del total. El resto de las especies, cinco, suponen el 26,31%. Todas las especies accidentadas, pueden verse en el Cuadro 1.

En la Figura 10, se han representado los principales grupos de aves que se han accidentado por electrocución, rapaces, córvidos, cigüeñas y otras, expresado en tantos por ciento.

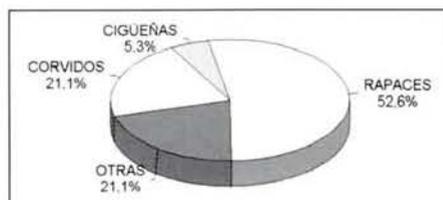


FIGURA 10.—Aves electrocutadas reunidas por grupos afines.

3.1.2. Colisión

Como era de esperar, el grupo más afectado por colisión ha sido el de las aves esteparias con cinco especies, que suponen el 35,71% del total. El siguiente grupo más afectado ha sido el de las aves acuáticas con tres, un 21,42%. En el caso de las aves rapaces, únicamente dos especies han sufrido accidente por colisión: el buitre leonado y el milano negro (14,28%). Puede observarse como este tipo de accidente afecta en mucha menor medida a las rapaces que la electrocución. Todas las especies accidentadas, pueden verse en el Cuadro 1.

Llama la atención el hecho de que este tipo de accidente lo pueden sufrir desde aves de enorme tamaño, como la avutarda, hasta las más pequeñas, como el papamoscas cerrojillo.

3.2 CUANTIFICACIÓN DEL NÚMERO DE ACCIDENTES

El porcentaje de individuos electrocutados ha sido muy superior al de colisionados, tal y como era de esperar en base a los resultados obtenidos en estudios anteriores. En la Figura 11, podemos observar los porcentajes obtenidos en número de individuos electrocutados y colisionados.

3.2.1. Electrocutación

Las rapaces no sólo predominan en número de especies, sino también en número de ejemplares muertos. Del total de aves electrocutadas recogidas, 105 de ellas (el 48,61%) se corresponden con aves de presa. La rapaz más afectada ha sido el ratonero común (*Buteo buteo*) con 41 individuos (el 37,96% de todas las rapaces). Le siguen el cernícalo común (*Falco tinnunculus*) con 22 individuos y el milano real (*Milvus milvus*) con 14. Cualquiera de estas tres especies se pueden considerar como abundantes en todo el área de estudio, aunque el gran número de ratoneros accidentados puede repercutir a la

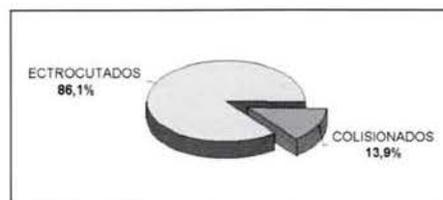


FIGURA 11.—Porcentaje de individuos electrocutados y colisionados.

larga en la salud de sus poblaciones. Para el caso del milano real, sus mayores efectivos se concentran durante el invierno, si bien se muestra cada vez más escaso como reproductor.

Al grupo de las rapaces le sigue el de los córvidos, representando el 32,4% de las electrocuciones totales, con 70 individuos electrocutados. Dentro de este grupo,

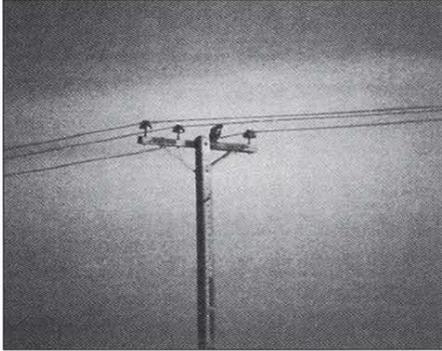


Figura 12.—Foto. Ratonero común (*Buteo buteo*) posado en un modelo de alineación, con un claro riesgo de electrocución.

la especie más afectada ha resultado la corneja (*Corvus corone*) con 33 individuos electrocutados, el 47,14% de todos los córvidos y el 15,27% del total de electrocuciones.

Tanto el ratonero común como la corneja, utilizan frecuentemente los apoyos, bien como posaderos o como oteaderos desde los que localizar su fuente de alimento, o bien como descansadero a lo largo de todo el día. Ésta es la causa de que siempre se encuentren entre las especies más afectadas por este tipo de accidente. En la Figura 12 podemos observar un ratonero en un poste del modelo “aislador rígido”.

3.2.2 Colisión

El grupo en el que más colisiones se han producido, ha sido en el de las aves acuáticas con 13 individuos (el 37,1% del total), y la especie más afectada el ánade azulón (*Anas platyrhynchos*) con 8 individuos, el 22,85% del total de las colisiones. Le sigue la cigüeña con tres colisiones, el 8,57%.

El siguiente grupo que ha sufrido un mayor número de accidentes por colisión, resultó ser el de las aves esteparias, cuantificándose 12 accidentes, que representan el 34,3%, siendo la avutarda la especie más afectada con 6 individuos (17,14% del total), seguida del alcarván (*Burhinus oedicephalus*) y del sisón (*Tetrax tetrax*) con 2. Como se comentó anteriormente, estos grupos de aves presentan un mayor riesgo de colisión, por su costumbre de volar en apretados bandos

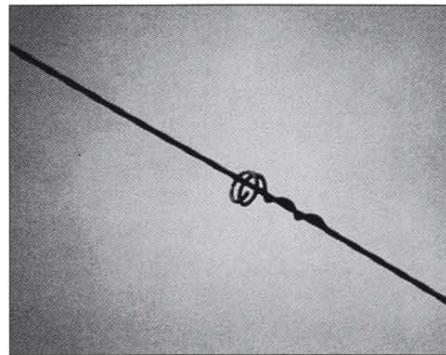


FIGURA 13.—Foto. Salvapájaros del modelo “cola de cerdo” colocado para incrementar la visibilidad del cable y evitar colisiones.

y a baja altura, y por las especiales condiciones climatológicas de estas zonas. Además se debe indicar, que en el caso de la avutarda, una de las colisiones se produjo en un vano señalizado con espiral del tipo “cola de cerdo”, una estructura colocada precisamente para lograr que las aves puedan ver los cables más fácilmente.

Destacar también la colisión de dos buitres leonados, ya que por su gran tamaño y su elevada carga alar que dificulta su maniobrabilidad en determinadas ocasiones, se encuentran también afectados con frecuencia por este tipo de accidentes.

La totalidad de los individuos colisionados agrupados por tipos de especies, se pueden ver en la Figura 14.

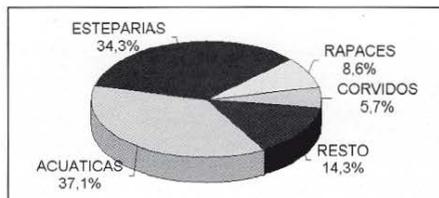


FIGURA 14.—Especies colisionadas, reunidas en grupos afines.

3.3. EDAD DE LAS AVES ACCIDENTADAS

Se ha determinado en el laboratorio la edad del 18,66% de los individuos recogidos, basándonos en el grado de osificación y tamaño de los huesos y en el tamaño, marcas y color de las plumas. De estos, el 30,7% correspondió a individuos adultos y el 69,3% a inmaduros, resultados que corroboran los obtenidos en trabajos anteriores, en los que se obtuvo siempre una mayor mortalidad en los juveniles que en los adultos (ver apartado 1.1.2.2.).

3.4. SEÑALES Y MARCAS ENCONTRADAS

En determinadas ocasiones, el paso de corriente a través de las aves ocasiona que queden en los cuerpos unas marcas características. Estas quemaduras provocadas por la electrocución no son siempre fáciles de encontrar, localizándolas en un porcentaje muy bajo del total de individuos accidentados. No obstante, en ocasiones son muy patentes como puede apreciarse en la Figura 15.

Para el caso de las colisiones, generalmente se observaron claras lesiones tales como tarsos rotos, contusiones en pecho y alas, y en algunos casos conjuntamente con marcas de electrocución.



FIGURA 15.—Foto. Ala de una cigüeña en la que se aprecian claras quemaduras.

3.5. TIPOS DE APOYOS

Los diferentes modelos de apoyos existentes en las líneas de distribución seleccionadas para muestrear, se han agrupado en 12 tipos. Aunque son más los modelos presentes, se decidió agrupar los diseños por afinidades morfológicas en cuanto a estructura, disposición de los aisladores y función. Este agrupamiento nos ha permitido el análisis de los datos y las conclusiones que se derivan para un tipo de poste son extrapolables a todos los subtipos incluidos en él.

Los 12 tipos básicos de modelo de apoyo que hemos considerado se describen a continuación:

1. *Aislador rígido*. Apoyo de *alineación* con cruceta de madera o metal y aisladores rígidos dispuestos en un mismo plano horizontal. El poste suele ser de hormigón. Es un modelo muy abundante, especialmente en la provincia de Salamanca. Peligroso.
2. *Cruz*. Apoyo de *alineación* con aisladores rígidos y dispuestos en cruz. No muy frecuente. Peligroso.
3. *Bóveda*. Apoyo de *alineación* en bóveda con aisladores suspendidos. Diseño cada vez más habitual en las líneas más recientes, y por el que se vienen reemplazando los modelos de *alineación* de mayor antigüedad. Poco peligroso.
4. *Tresbolillo*. Apoyos de *alineación* de madera con aisladores rígidos, dispuestos en distintos planos respecto al poste. Puede ser de distintos tipos. En este caso concreto, no presentan travesaños laterales, permitiendo que se posen allí únicamente aves de pequeño tamaño. Por este motivo, los apoyos muestreados se consideran poco peligrosos.
5. *Doble cruceta*. Apoyo de anclaje similar a los apoyos de *alineación* respectivos, con la diferencia de que presenta dos travesaños y seis aisladores rígidos en lugar de tres. La peligrosidad de este diseño se incrementa al presentar puentes flojos sobre la cruceta, en el punto en que se unen los dos aisladores. Muy peligroso.
6. *Central superior*. Apoyo de anclaje con el conductor central en puente flojo por encima de la cruceta, montado sobre aislador rígido. Los dos conductores laterales con aisladores de cadenas de amarre y puentes inferiores. Habitualmente son metálicos. Abundante y bastante peligroso.
7. *Derivación*. Postes con dos crucetas, generalmente perpendiculares entre sí y a distinto nivel, a partir de las cuales se produce una duplicación de la línea. Debido al abigarramiento de conductores el riesgo de electrocución es elevado, incluso en modelos de *alineación* del tipo *bóveda*. Se trata de un modelo de apoyo bastante frecuente y muy peligroso.
8. *Tres inferiores*. Apoyos de anclaje que se caracterizan por presentar los tres conductores con aisladores de cadenas de amarre y en puentes flojos infe-

riores, por lo que su peligrosidad para las aves es baja. En este grupo incluimos tres tipos de apoyo:

- Seccionador: apoyo con aisladores de cadenas de amarre, con interruptor.
- Transformadores de intemperie con aisladores suspendidos. Sustituyen a las casetas de transformación.
- Pórticos: bien con aisladores de cadenas de amarre y los conductores en puentes flojos inferiores o bien con aisladores suspendidos.

9. *Transformador*. Incluimos aquellos transformadores de intemperie que presenten aisladores rígidos y por tanto los conductores van por encima del travesaño. Se diferencia del modelo tres inferiores en las características de los aisladores y en el puente que hacen los conductores. Muy peligroso.
10. *Casetas de transformación*. Instalaciones eléctricas utilizadas para transformar la corriente a 220 v. Los conductores pueden penetrar en la caseta de diferentes maneras. La existencia o no de una barra en el lugar de entrada de los conductores, puede modificar su peligrosidad potencial. Pueden resultar muy peligrosos.
11. *Tres superiores*. Apoyo generalmente metálico que presenta los tres conductores unidos sobre la cruceta con puentes flojos, por lo que se constituye en uno de los modelos más peligrosos.
12. *Otros*. En este apartado incluimos varios modelos que clasificamos a parte, básicamente por estar representados por muy bajo número de apoyos y por no poder incluirlos en ninguno de los grupos anteriormente mencionados.

Los diferentes modelos aparecen representados en el anexo fotográfico.

3.5.1. Mortalidad asociada a los distintos modelos de apoyos

3.5.1.1. Abundancia de apoyos

Se han muestreado un total de 2757 apoyos, perteneciendo 715 a la provincia de Salamanca y 2.042 a la de Ávila. Los apoyos más abundantes, son los que comprenden el grupo de apoyos de alineación (*aislador rígido*, *bóveda*, *cruz* y *tresbolillo*) y suponen el 73,19% de los postes. El resto constituyen apoyos especiales de terminación de la línea, seccionadores, derivaciones y otros modelos de diseño más sofisticado y diferente función, en representación mucho más baja (26,18%). El diseño de poste más representado es el modelo de alineación del tipo *bóveda*, con 1.049 postes, el 38,04% del total seguido por el denominado *aislador rígido*, con 587 apoyos (21,28%). Ambos modelos son de alineación. Sin embargo, el tercer modelo más abundante es el denominado central superior, con 299 postes (10,84%). Esto es un dato significativo ya que se trata de uno de los modelos más peligrosos.

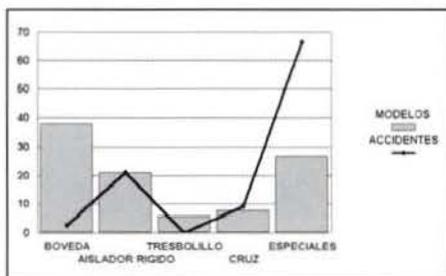


FIGURA 16.—Electrocuciones producidas en los diferentes tipos de modelos, agrupados por su función y expresado en tantos por ciento.

En la Figura 16, se representan agrupados por tipos los modelos de apoyos existentes, en relación con las electrocuciones producidas. Los apoyos que han resultado ser menos peligrosos han sido los de bóveda y tresbolillo a pesar de que bóveda sea el modelo más abundante. En los apoyos de alineación con aislador rígido se produjo el 21,29% de los accidentes. En los denominados como “apoyos especiales”, se acumuló el 66,66% de los accidentes, pese a ser únicamente el 26,85% del total de postes muestreados.

Ante estos resultados, se pueden obtener dos conclusiones:

- Por un lado “afortunadamente” las muertes no se distribuyen al azar a lo largo de las líneas, sino que existen una serie de apoyos que son más peligrosos que otros, por lo que la modificación de un número relativamente bajo de apoyos reduciría considerablemente el número total de electrocuciones.
- Por otro lado, la mortalidad en los apoyos de alineación siempre es menor que la producida en otros modelos con funciones diferentes, y que se han agrupado en los denominados apoyos especiales.

3.5.1.2 Mortalidad asociada a cada modelo

Para evaluar la peligrosidad de los distintos diseños de apoyo muestreados, se ha tomado el valor del cociente “*número de aves accidentadas / número total de apoyos, para cada modelo de apoyo*” (NV/NTP), como una medida de la peligrosidad de ese apoyo para las aves, acompañado por su desviación estándar (DS). Cuanto más elevado sea este valor para un determinado tipo de poste, mayor será la mortalidad que lleva asociada.

Este valor se ha representado en las tablas por IP (Índice de Peligrosidad de un apoyo dado).

En el Cuadro 2 sólo se tienen en cuenta los individuos accidentados por electrocución. Pese a que en la bibliografía se cite la disposición en tresbolillo como más peligrosa para la colisión, al referirse principalmente a las grandes líneas de transporte, no se va a tener en cuenta el diseño del apoyo para este tipo de accidentes.

MODELO	NTP	%P	NPV	NV	%V	IP	DS
<i>Tres inferiores</i>	137	4,96	4	5	2,31	0,036	0,223
<i>Bóveda</i>	1.049	38,03	4	6	2,77	0,015	0,097
<i>Central superior</i>	299	10,84	33	56	25,95	0,187	0,885
<i>Derivación</i>	159	5,76	16	20	9,25	0,125	0,401
<i>Tresbolillo</i>	167	6,05	0	0	0	0	0
<i>Otros</i>	12	0,43	0	0	0	0	0
<i>Transformador</i>	33	1,19	5	7	3,24	0,212	0,599
<i>Doble cruceta</i>	82	2,97	11	23	10,64	0,280	0,789
<i>Normal</i>	587	21,28	42	46	21,29	0,078	0,299
Cruz	215	7,79	16	20	10,8	0,093	0,349
<i>Tres superiores</i>	7	0,25	2	12	5,55	1,714	3,718
<i>Casetas</i>	10	0,36	4	21	9,72	2,100	5,279
TOTAL	2.757	100	137	216	100	0,078	0,547

CUADRO 2.—NTP: Número total de postes de cada modelo. %P: Porcentaje de apoyos de cada modelo en el total de líneas muestreadas. NPV: Número de postes con víctimas. NV: Número de víctimas. %V: Porcentaje de víctimas accidentadas en cada modelo respecto al total de líneas muestreadas. IP: Índice de peligrosidad. DS: Desviación estándar.

Se han encontrado un total de 216 víctimas electrocutadas, repartidas en 137 de los 2.757 apoyos muestreados, y estimándose una peligrosidad media para el conjunto de todos los tipos de apoyos de $0,078 \pm 0,547$. En un estudio más detallado de cada modelo de apoyo, se puede observar que, tal y como cabría esperar, los modelos en los que se ha producido un IP más elevado han sido aquellos que presentan conductores por encima del travesaño, especialmente *casetas de transformación* y *tres superiores* con un IP de $2,100 \pm 5,279$ y $1,714 \pm 3,728$ respectivamente. Les sigue el modelo *doble cruceta*, con un índice de peligrosidad de $0,280 \pm 0,789$.

De los modelos que presentan accidentes (todos a excepción de *tresbolillo* y los que se encuentran agrupados dentro de *otros*), el menor IP corresponde al modelo *bóveda* ($0,005 \pm 0,097$); Se obtiene aquí una primera conclusión muy interesante, pues el modelo *bóveda* es el más abundante, y pese a ello presenta un IP muy bajo, erigiéndose en el modelo de alineación más recomendable. De hecho, un IP de 0,005 indica que se produce una electrocución únicamente cada 174,83 postes, dando una idea de su relativa

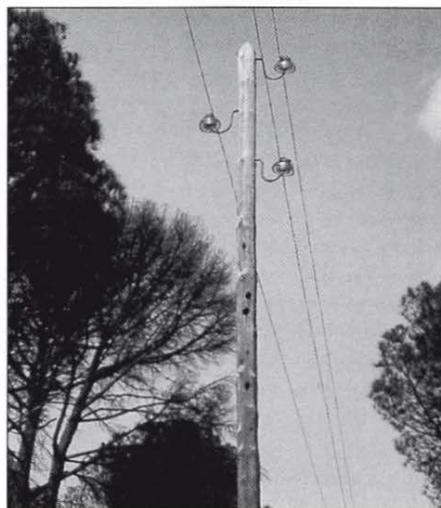


FIGURA 17.—Foto. Poste en tresbolillo de madera, afectado por los pájaros carpinteros. Hábitat arbolado.

poca influencia en la mortalidad total. En contraste a estos valores, en el modelo *caseta de transformación* se ha producido una electrocución por cada 0,47 postes muestreados, o lo que es lo mismo, 2,1 aves se electrocutaron en cada caseta. En el modelo *tres superiores*, se produjo una electrocución cada 0.58 postes.

El único modelo de alineación que no presenta víctimas, *tresbolillo* de madera, pese a su aparente total inocuidad no es recomendable, al igual que el resto de modelos cuyo poste sea de madera, pues conlleva un mayor mantenimiento. Se estropean los apoyos más rápidamente que los de hormigón y tienen problemas adicionales a éstos, como los producidos por los pájaros carpinteros, como puede apreciarse en la Figura 17.

Con estos resultados ya se puede intuir que no todos los modelos de apoyo poseen la misma peligrosidad. Para comprobar la diferencia en la peligrosidad de los apoyos, realizamos análisis estadísticos. El análisis elegido a sido un ANOVA calculada a partir de la raíz cuadrada del número de individuos accidentados por electrocución.

	DF	S CUADRADOS	F-EXPERIMENTAL	P-VALOR
MODELO	11	1,385116	19,86882	<0,01
Residual	2,745	0,069713		

CUADRO 3.—Resultado del ANOVA para modelo, teniendo en cuenta los accidentes por electrocución.

El resultado obtenido es un valor de $p < 0,01$ comprobándose que, efectivamente, no todos los modelos poseen la misma peligrosidad para las aves.

Para conocer entre qué modelos se encuentran las diferencias se realizó el test LSD de Fisher, representándose los resultados a continuación con la técnica del subrayado de Duncan.

<IP										>IP	
TRESB	BOV	TRINF	RIG	CRUZ	DERIV	CEN	TRAN	DOBLE	TRES	CAS	
<hr/> <hr/>											

CUADRO 4.—Test de Fisher para modelo/electrocución. Se representan ordenadas de menor a mayor índice de peligrosidad (IP) los once modelos de apoyos: TRESB: *Tresbolillo*; BOV: *bóveda*; TRINF: *Tres inferiores*; RIG: *aislador rígido*; CRUZ: *cruz*; DERIV: *derivación*; CEN: *central superior*; TRAN: *transformador de intemperie*; DOBLE: *doble cruceta*; TRES: *Tres superiores*; CAS: *casetas de transformación*. Los apoyos incluidos en otros han sido excluidos del análisis por su escasez. Aparecen subrayados bajo una misma línea continua aquellos modelos entre los que no existe diferencia significativa. Nivel de significación, 0,05.

Como resultado del test, puede observarse que los modelos más peligrosos, *caseta de transformación* y *tres superiores*, no presentan diferencias significativas entre ellos, luego presentan una peligrosidad similar en relación con la probabilidad

de electrocución. Además, sí presentan diferencias con la totalidad de modelos restantes. También es interesante destacar que los modelos de alineación de aislador rígido, que son *aislador rígido* y *cruz*, no se diferencian entre ellos pero sí con los de *bóveda* y *tresbolillo*, apareciendo estos dos últimos como los más inocuos para las aves.

De estos datos se puede concluir que los apoyos más peligrosos son aquellos que presentan puentes flojos por encima de la cruceta, sin aislar. Por el contrario, los más inocuos resultan los que presentan los conductores suspendidos, como *bóveda*.

Hay que destacar el hecho de que para los dos modelos que han resultado más peligrosos, el número de apoyos muestreados es muy escaso. Únicamente hay siete apoyos *tres superiores* y *veinte casetas*, lo que supone el 0,61% del total. Ante una presencia tan escasa, se puede apreciar un problema de las técnicas de muestreo para localizar electrocuciones, pues una serie de modelos peligrosos puede quedar sin analizar debidamente, pese al gran número final de apoyos muestreados. Esta escasez de modelos peligrosos es algo positivo, ya que las electrocuciones suelen acumularse en ellos.

3.6. DISTANCIA DE LAS AVES ACCIDENTADAS A LA TORRETA

Se ha analizado también la distancia a la torreta a la que se han encontrado las aves electrocutadas. En la Figura 18 se representan los resultados obtenidos a partir de los restos de los que se tomó este dato, 89 individuos (el 41,20% del total de electrocuciones). En el resto no se pudo conocer la distancia exacta al apoyo, por estar los huesos o plumas muy desperdigados, bien por acción de los depredadores, por la existencia de fuerte pendiente o por el paso de tractores en el caso de cultivos.

Más de un 83% se encontraron dentro de un círculo concentrado en la base del apoyo y con 4 m de radio.

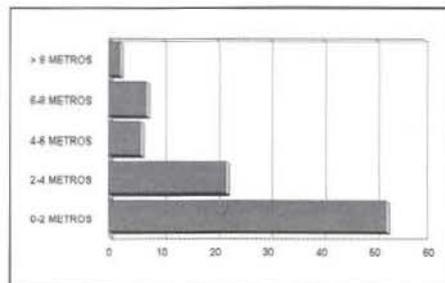


FIGURA 18.—Distancia de las aves electrocutadas a la torreta.

3.7. HÁBITAT

3.7.1. Mortalidad por electrocución y colisión

Como ya se ha indicado en el capítulo de introducción, el hábitat es otro de los factores clave que, junto con el modelo de apoyo, van a influir en el riesgo de sufrir accidente tanto por electrocución como por colisión. Para el siguiente

estudio, y tal como se explicó en el apartado de metodología, los diferentes hábitat se agruparon en seis tipos básicos, en función de sus características:

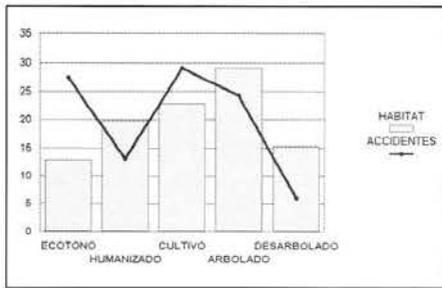


FIGURA 19.—Accidentes producidos en los distintos hábitats con relación al número de apoyos, expresado en porcentajes.

- *Humanizado*: Zonas próximas a carreteras, granjas, pueblos, ciudades o bien otros lugares transformados por el hombre y/o transitados con frecuencia.
- *Desarbolado*: Zonas con nula o escasa presencia de arbolado, con matorral y/o estrato herbáceo, y que no han sido cultivadas en los últimos años.
- *Cultivo*: Zonas de cultivo ya sea regadío o secano, aunque existe una clara diferencia en la avifauna presente y en la afluencia de agricultores según el cultivo del que se trate.
- *Arbolado*: Zonas con mayor o menor densidad de árboles, no diferenciando entre especies.
- *Ecotono*: Límite o zona de contacto entre cualquiera de los hábitat citados.

En la Figura 19 se representan los accidentes producidos en relación con los hábitat.

Todos los datos obtenidos han sido tratados del mismo modo que en el apartado anterior, con la diferencia de que ahora se tienen en cuenta los casos de electrocución y colisión conjuntamente.

El hábitat en el que se ha obtenido un mayor número de víctimas ha sido *cultivo*, con 73 individuos accidentados, el 29,1%. Un número parecido de accidentes, 69 víctimas (27,5%), se han obtenido en *ecotono*. Entre estos dos hábitat, se han accidentado el 56,6% de las aves totales, representando únicamente el 35,9% del total de apoyos. *Arbolado*, el hábitat con mayor número de apoyos (801, el 29,05% del total), ha sido el tercer hábitat en número de accidentes, con 61 (24,3%). Todos estos datos aparecen en el Cuadro 5.

HABITAT	NPT	%P	NV	%V	IP	DS
ARBOLADO	801	29,05	61	24,3	0,0761	0,5481
DESARBOLADO	420	15,23	15	5,97	0,0357	0,2099
ECOTONO	358	12,98	69	27,49	0,1927	0,8021
HUMANIZADO	546	19,8	33	13,14	0,0604	0,3059
CULTIVO	632	22,92	73	29,08	0,1155	0,7538
TOTAL	2757	100	251	100	0,0910	0,5727

CUADRO 5.—Hábitat presentes indicando su peligrosidad, en relación a los casos de electrocución y colisión considerados conjuntamente. NPT: Número total de postes de cada modelo. %P: Porcentaje de apoyos en cada hábitat en el total de líneas muestreadas. NV: Número de víctimas. %V: Porcentaje de víctimas accidentadas en cada hábitat respecto al total de líneas muestreadas. IP: Índice de peligrosidad. DS: Desviación estándar.

Los hábitat que presentan mayor índice de peligrosidad han sido *ecotono* y *cultivo*, con unos valores similares, $0,1927 \pm 0,8021$ y $0,1155 \pm 0,7538$ respectivamente. El hábitat en el que se han producido más accidentes ha sido *cultivo*, aunque el número de apoyos de *arbolado* es mucho mayor. En *ecotono* se produce un accidente cada 5,18 apoyos y en *cultivo* cada 8,6, mientras que en *arbolado* se produce cada 13,13 apoyos.

Comparando estos resultados con trabajos anteriores, como el realizado por Ferrer en 1990 en las provincias de Huelva y Cádiz, los resultados obtenidos son diferentes. Este autor obtuvo una mayor peligrosidad en *arbolado*, mientras que en el presente trabajo se han obtenido como hábitat más peligrosos *ecotono* y *cultivo*.

El hábitat que ha resultado ser menos peligroso ha sido *desarbolado*, con un IP $0,0357 \pm 0,2099$, y únicamente 15 víctimas en 420 apoyos. Esto se opone a lo esperado tras analizar la bibliografía, ya que Olendorff (1981) indica que la utilización de los postes eléctricos por parte de las aves aumenta en zonas desarboladas, lo que lleva a suponer que se incrementaría el riesgo de accidentes en este hábitat y con ello el número de aves que se electrocutan.

Se realizaron los análisis estadísticos siguientes para comprobar la existencia de diferencias en la peligrosidad de los distintos hábitat, teniendo en cuenta conjuntamente colisión y electrocución. Los resultados se detallan a continuación:

	DF	S CUADRADOS	F-EXPERIMENTAL	P-VALOR
MODELO	4	0,560874	6,538296	<0,001
Residual	2.752	0,085783		

CUADRO 6.—Resultado del ANOVA para hábitat, teniendo en cuenta los accidentes por electrocución y colisión.

Como puede observarse por el valor de $p < 0,001$, existen diferencias significativas en la peligrosidad entre los distintos hábitat. Para localizar entre qué hábitat se encontraban las diferencias, se realizó el test P-LSD-Fisher, representándose los resultados por la técnica del subrayado de Duncam.

<IP				>IP
<u>DES</u>	<u>HUM</u>	<u>ARB</u>	CUL	<u>ECO</u>

CUADRO 7.—Test de Fisher para Hábitat, teniendo en cuenta electrocución y colisión. Se representan ordenadas de menor a mayor índice de peligrosidad (IP) los cinco hábitat diferentes: DES: desarbolado; HUM: humanizado; ARB: arbolado; CUL: cultivo; ECO: ecotono. Aparecen subrayados bajo una misma línea continua aquellos hábitat entre los que no existe diferencia significativa. Nivel de significación, $=0,05$.

Como puede apreciarse, *ecotono*, el hábitat con mayor peligrosidad, presenta diferencia significativa con el resto de los hábitat. Los menos peligrosos, *desarbolado*,

humanizado y *arbolado*, no presentan diferencias estadísticas entre sí, aunque sí lo hacen los dos primeros con *cultivo*, el segundo hábitat más peligroso.,

Pero en el caso de tener en cuenta únicamente la electrocución, ¿cual sería el hábitat más peligroso?

Se han obtenido los siguientes resultados:

	DF	S CUADRADOS	F-EXPERIMENTAL	P-VALOR
HÁBITAT	4	0,364507	4,889939	<0,001
Residual	2.752	0,074542		

CUADRO 8.—Resultado del ANOVA para hábitat teniendo en cuenta únicamente los accidentes por electrocución.

Como puede observarse, teniendo en cuenta únicamente la electrocución también se han encontrado diferencias estadísticamente significativas entre los distintos hábitat. Vemos a continuación entre qué hábitat se han producido estas diferencias.

<IP				>IP
<u>DES</u>	<u>HUM</u>	<u>ARB</u>	CUL	<u>ECO</u>

CUADRO 9.—Test de Fisher para Hábitat, teniendo en cuenta los accidentes por electrocución. Se representan ordenadas de menor a mayor índice de peligrosidad (IP) los cinco hábitat diferentes: DES: desarbolado; HUM: humanizado; ARB: arbolado; CUL: cultivo; ECO: ecotono. Aparecen subrayados bajo una misma línea continua aquellos hábitat entre los que no existe diferencia significativa. Nivel de significación, =0,05.

De nuevo el hábitat *ecotono* ha resultado el más peligroso para el caso de electrocución, presentándose diferencias con los restantes hábitat. Las zonas de ecotonía suelen presentar caracteres de los hábitat que limitan, por lo que las densidades de especies y animales suelen ser mayores en estas zonas limítrofes. Ésta puede ser la causa de la mayor peligrosidad de este hábitat con respecto al resto. *Desarbolado*, *humanizado* y *arbolado*, no han presentado diferencias significativas entre ellos, presentándose únicamente entre *cultivo* y *desarbolado*.

3.7.2. Mortalidad por colisión

En el apartado de Introducción se señaló que había ciertas zonas más susceptibles a este tipo de accidentes que otras, como son las zonas esteparias y las zonas húmedas, debido a las características propias de estos hábitat, tales como nieblas frecuentes, así como al comportamiento y la actividad de las aves allí presentes.

En el Cuadro 10 se exponen los datos obtenidos por hábitat, en relación únicamente a la colisión. Podemos ver que los hábitat en los que se han recogido más individuos colisionados han sido *cultivo* y *arbolado*.

HÁBITAT	NPT	%P	NV	%V	IP	DS
ARBOLADO	801	29,05	5	14,28	0,0062	0,0933
DESARBOLADO	420	15,23	2	5,71	0,0047	0,0689
ECOTONO	358	12,98	14	40,0	0,0391	0,3151
HUMANIZADO	546	19,8	3	8,57	0,0054	0,0739
CULTIVO	632	22,92	11	31,42	0,0174	0,1424
TOTAL	2.757	100	35	100	0,0126	0,1482

CUADRO 10.—*Hábitat presentes indicando su peligrosidad en relación a la colisión.*
 NTP: Número total de postes de cada modelo. %P: Porcentaje de apoyos en cada hábitat en el total de líneas muestreadas. NV: Número de víctimas. %V: Porcentaje de víctimas accidentadas en cada hábitat respecto al total de líneas muestreadas.
 IP: Índice de peligrosidad. DS: Desviación estándar.

Considerando únicamente la colisión, lo primero que llama la atención es el bajo número de accidentes producidos. La explicación puede ser la ausencia de muestreo en líneas de muy alta tensión, en las que se produce la mayor parte de las colisiones contra el cable de tierra, o a las causas indicadas en la introducción acerca de la dificultad de localizar restos de aves colisionadas.

Todos los hábitat presentan un IP muy bajo. El más alto, presente en *ecotono*, nos indica que se produce una colisión cada 25,57 postes. En el otro extremo se encuentra *desarbolado*, que ha sido el hábitat en el que se ha obtenido un menor IP de entre los que presentaron accidentes; se produciría una colisión cada 210 apoyos.

Se han buscado diferencias entre los hábitat en cuanto a los accidentes por colisión:

	DF	S CUADRADOS	F-EXPERIMENTAL	P-VALOR
HÁBITAT	4	0,050459	4,029575	0,002917
Residual	2.752	0,012522		

CUADRO 11.—*Resultado del ANOVA, considerando hábitat frente a colisión.*

Se obtiene diferencia significativa entre los hábitat para el caso de la colisión. Para ver entre que hábitat se producen estas diferencias, se realizó el test PLSD-Fisher. Los resultados se muestran a continuación:

<IP					>IP
<u>DES</u>	<u>HUM</u>	<u>ARB</u>	<u>CUL</u>	<u>ECO</u>	

CUADRO 12.—*Test de Fisher para Hábitat y electrocución. Se representan ordenadas de menor a mayor índice de peligrosidad (IP) los cinco hábitat diferentes:*
 DES: *desarbolado*; HUM: *humanizado*; ARB: *arbolado*; CUL: *cultivo*; ECO: *ecotono*.
 Aparecen subrayados bajo una misma línea continua aquellos hábitat entre los que no existe diferencia significativa. Nivel de significación, =0,05.

Los resultados obtenidos indican que el hábitat más peligroso es *ecotono*, que no presenta diferencias significativas con *cultivo* (el segundo más peligroso) pero sí con el resto de hábitat. *Desarbolado*, *humanizado*, *arbolado* y *cultivo*, no presentan diferencias entre sí, presentando todos la misma peligrosidad. Probablemente, esta igualdad se desharía en el caso de incrementar el número de apoyos muestreados en cada uno de los diferentes hábitat.

3.8. PELIGROSIDAD POR DISEÑO DE POSTE Y HÁBITAT

En los datos aportados anteriormente, se ha analizado por separado la peligrosidad por diseño de apoyo y por hábitat. En este apartado, se pretende dar una visión global sobre la influencia de estas dos variables en la mortalidad de aves.

En cuadro 13, se indica a modo de información el número de apoyos correspondientes a cada modelo presente en los diferentes hábitat considerados.

	ECOTONO	HUMANIZ.	CULTIVO	ARBOLADO	DESARBOL.	TOTAL
Derivación	17	59	61	16	6	159
Tres superiores	2	4	0	0	1	7
Aislador rígido	96	61	118	221	91	587
Doble cruceta	17	40	8	8	9	82
Caseta	0	3	6	0	1	10
Cruz	27	50	80	45	13	215
Central superior	36	87	37	87	52	299
Otros	4	1	3	1	3	12
Tres inferiores	19	44	45	18	11	137
Transformador	5	14	12	2	0	33
Bóveda	95	180	253	291	230	1.049
Tresbolillo	40	3	9	112	3	167
TOTAL	358	546	632	801	420	2.757

CUADRO 13.—Modelos de apoyos localizados en cada uno de los hábitat.

Para el análisis conjunto del efecto del diseño del apoyo y del hábitat sobre la mortalidad de las aves, los doce modelos descritos anteriormente se han agrupado en tan solo cinco. Para esta agrupación, se ha tomado como carácter principal la posición de los conductores y los aisladores sobre el apoyo, al considerar que éste es el aspecto técnico que más puede influir en el riesgo de accidentes. La agrupación realizada ha sido la siguiente:

- *Grupo 1:* Apoyos con aisladores rígidos, con lo que los conductores pasan a corta distancia de la cruceta. Incluye los modelos aislador rígido, cruz, tresbolillo y doble cruceta.
- *Grupo 2:* Apoyos con puentes flojos por encima de la cruceta en los tres conductores. En este grupo incluimos aquellas *casetas de transformación* y *transformadores* en los que los tres conductores son superiores, algunos apoyos de los modelos agrupados en *otros* y el modelo *tres superiores*.

- *Grupo 3:* Apoyos en los que los conductores pasan por debajo del travesaño, mediante aisladores suspendidos, o mediante aisladores de cadenas de amarre, esto es, con puentes flojos inferiores. Incluye los modelos *bóveda*, *tres inferiores* y *otros*.
- *Grupo 4:* Apoyos con cadenas de amarre, con los conductores laterales por debajo de la cruceta y el conductor central sujeto con aislador rígido. Incluye el modelo *central superior*.
- *Grupo 5:* Todos aquellos postes en los que se incluya una derivación, independientemente del modelo del que se trate.

En la Figura 20, se representan todos los modelos, reunidos por grupos.

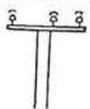
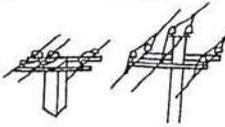
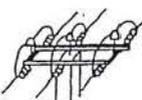
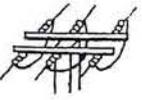
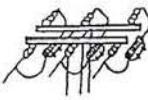
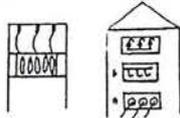
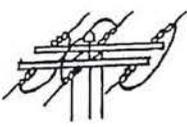
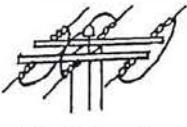
GRUPO	MODELO
1	    <p>1.1. Normal 1.2. Doble cruceta 1.3. Cruz 1.4. Tresbolillo</p>
2	  <p>2.1. Tres superiores 2.2. Transformador tres superiores</p>
3	    <p>3.1. Bóveda 3.2. Tres inferiores 3.3. Seccionador 3.4. Transformador tres inferiores</p>
4	 <p>4.1. Central superior</p>
5	 <p>5.1. Derivación</p>

FIGURA 20.-Agrupación de los diferentes modelos de apoyo en función de sus características técnicas y morfológicas.

Los resultados del ANOVA para el número de modelo, el hábitat y ambos factores considerados conjuntamente, se presentan resumidos en el Cuadro 14:

	DF	MS	F	P
Grupo Modelo	4	1,593138	22,70226	0,000000
HÁBITAT	4	0,657734	9,37273	0,000000
Grupo modelo*HÁBITAT	16	0,298268	4,25032	0,000000
Residual	22.732	0,070175		

CUADRO 14.—Resultado del ANOVA, considerando conjuntamente modelo y hábitat, en relación a los accidentes producidos por electrocución.

Se han obtenido valores de $p < 0,001$ para el grupo de modelo y para los hábitat. Considerando estos dos factores conjuntamente, se ha obtenido también un valor de $p < 0,001$, indicando la existencia de una interacción entre el hábitat y el modelo de apoyo, de manera que cualquier combinación dada de estos dos factores, contribuye de manera positiva o negativa a la expresión de la variable (electrocución), o lo que es lo mismo, el riesgo de accidentes depende tanto de un factor como del otro y es la combinación de ambos lo que da lugar a un mayor o menor riesgo de electrocución.

Un ejemplo de esto sería que un modelo de elevado riesgo para las aves, como puede ser el *tres superiores*, puede resultar más o menos peligroso dependiendo de si se localiza en *ecotono* o en *humanizado*. También al contrario, en un hábitat de elevado riesgo como en nuestro caso *ecotono* o *cultivo*, si el modelo de apoyo es bóveda el riesgo de electrocución es menor.

La existencia de esta interacción, hace que los análisis anteriormente realizados para estudiar la peligrosidad de los diferentes modelos y de los hábitat de forma independiente no sean más que orientativos. Esto también se podría representar gráficamente y podemos verlo en la Figura 21.

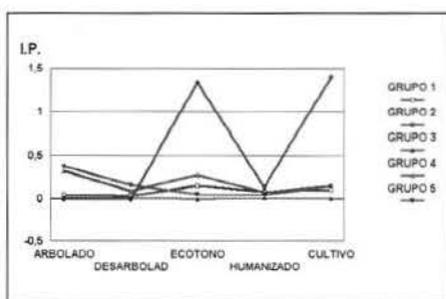


FIGURA 21.—Interacción entre hábitat y modelo de apoyos (tomados como grupos). Si no existe interacción, las líneas deberían ser paralelas al eje horizontal.

Si no existiera interacción, las diferentes líneas deberían ser paralelas entre sí (los dos factores serían independientes). En la gráfica se ve claramente cómo dos puntos sobresalen ampliamente del resto, y una serie de ellos lo hacen en menor medida. En el *grupo 2*, el índice de peligrosidad se incrementa enormemente en los hábitat *ecotono* y *cultivo*, mientras que para el resto permanece bajo. Lo mismo sucede con el *grupo 4*, donde el IP aumenta ligeramente en *arbolado*, *ecotono* y *cultivo*, respecto a los demás hábitat.

N.º MODELO	HÁBITAT	NTP	NV	IP	DS
1	Arbolado	386	19	0,049223	0,228290
	Desarbolado	116	4	0,034483	0,225775
	Ecotono	181	28	0,154696	0,535768
	Humanizado	154	14	0,090909	0,433313
	Cultivo	217	24	0,110599	0,342550
2	Arbolado	2	0	0,000000	0,000000
	Desarbolado	8	0	0,000000	0,000000
	Ecotono	12	16	1,333333	2,902455
	Humanizado	21	3	0,142857	0,358569
	Cultivo	15	21	1,400000	4,355620
3	Arbolado	310	3	0,009677	0,098055
	Desarbolado	238	3	0,012605	0,144698
	Ecotono	112	0	0,000000	0,000000
	Humanizado	225	3	0,013333	0,148805
	Cultivo	301	2	0,006645	0,115278
4	Arbolado	87	28	0,321839	1,505758
	Desarbolado	52	5	0,096154	0,297678
	Ecotono	36	10	0,277778	0,659485
	Humanizado	87	7	0,080460	0,313213
	Cultivo	38	6	0,157895	0,436591
5	Arbolado	16	6	0,375000	0,718795
	Desarbolado	6	1	0,166667	0,408248
	Ecotono	17	1	0,058824	0,242536
	Humanizado	59	3	0,050847	0,221572
	Cultivo	61	9	0,147541	0,441062
TOTAL		2.757	216	0,078346	0,547152

CUADRO 15.—Valores de peligrosidad de los factores modelo y hábitat considerados conjuntamente.

Para hacer un correcto análisis de los dos factores conjuntamente, habría que deshacer la interacción. Esto, sin embargo, es sumamente complejo debido al enorme número de comparaciones por parejas que habría que realizar, aún teniendo en cuenta que el número de modelos de apoyo han sido reducido de trece a cinco. La interacción, se intentará explicar mediante los datos incluidos en el Cuadro 15.

En esta tabla, con sólo fijarnos en el IP podemos apreciar que, aunque *ecotono* como vimos anteriormente ha resultado uno de los hábitat más peligrosos, lo es mucho más con el grupo de *modelo 2* que con el resto. Sin embargo con el *modelo 3*, su IP es 0.

Por el contrario, el *grupo 2* que resultó el más peligroso, podemos ver que lo es mucho más en *cultivo* y *ecotono* que en el resto. O el *grupo 4*, resulta más peligroso en *arbolado* y *ecotono* que en los demás hábitat.

Hay que tener en cuenta que el *modelo 2*, claramente el más peligroso, sólo cuenta con dos apoyos en *arbolado*, y no se puede conocer lo que habría resultado si hubiéramos aumentado el número de apoyos en este hábitat. Como ya se comentó anteriormente, en los muestreos de tendidos eléctricos es muy complejo obtener una buena representación de todos los modelos en los diferentes hábitat.

Para que los resultados obtenidos en estos análisis pudieran extrapolarse a otras zonas, lo ideal sería ampliar la muestra de los apoyos, pues existen una serie de ellos que no se encuentran bien representados en los distintos hábitat. No obstante, por mucho que se ampliara esta muestra, los apoyos que no son de alineación siempre se presentarán en número mucho menor que en los de alineación (en nuestro caso, se ha obtenido una proporción de 3:1 aproximadamente). Pese a esto, siempre sería conveniente incrementar el número de postes muestreados, pues así los datos obtenidos serían mucho más fiables.

4. AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo no podría haberse realizado sin el apoyo de la empresa Iberdrola, S.A. por medio del convenio Universidad-Empresa, a través del cual puso a nuestra disposición todo tipo de ayuda tanto económica como material y humana, así como al Proyecto Feder I-1FD97-1468.

Agradecer asimismo a todas las personas que colaboraron en los muestreos de campo y en el trabajo de determinación en el laboratorio.

También agradecer a D. José Luis Vicente Villardón por orientarnos en el tratamiento estadístico recomendable.

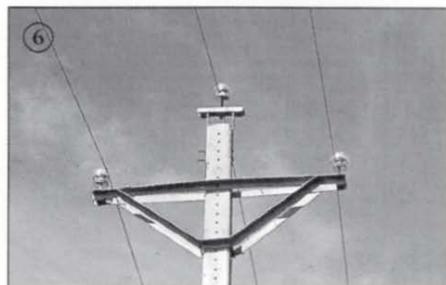
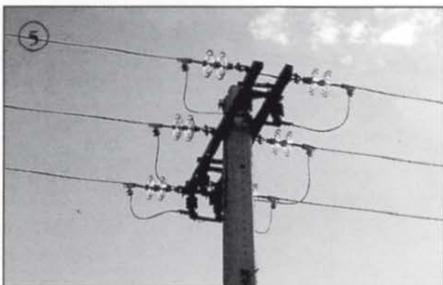
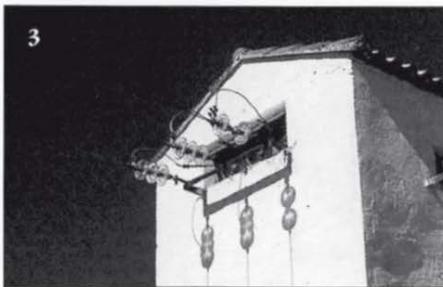
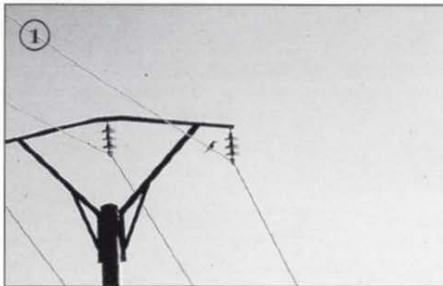
5. BIBLIOGRAFÍA

- BEAULAURIER, D. L. Mitigation of birds collision with transmission lines. Boneville power administration. U.S. Dept. of Energy, 1981.
- BENSON, P. C. Prevention of golden eagle electrocution. EPRI, EA-2680, Project 1002. Electric Power Research Institute, 1982.
- BOEKER, E. L. Power lines and bird electrocution. U.S. Fish and Wild Serv. Unpubl. Rep. Denver Wildl. Research Center, Denver, Colo. 8 pp., 1972.
- FAANES, C. A. Birds and power lines in North Dakota. N.P. WRC, 1981.
- FAANES, C. A. Assesment of power lines siting in relation to birds strikes in the northern Great Plains. Northern Prairie Wildlife Research Centre, U.S. Fish and Wildlife Service. Jamestown, ND, 1983.
- FERRER, M. y DE LA RIVA, M. Impactos de los tendidos eléctricos en la avifauna del Parque Nacional de Doñana. Primeras Jornadas de Investigación en Doñana, Sevilla, 1984.
- FERRER, M., DE LA RIVA, M. y CASTROVIEJO, J. Impacto de los tendidos eléctricos en las poblaciones de rapaces de Doñana. V Congreso internacional de rapaces mediterráneas. Evora, Portugal, 1986.
- FERRER, M y DE LA COURT, C. Les Aigles Imperiaux espagnols manacès d'électrocution. L'Homme & L'oiseaux, 4:231-236, 1988.

- FERRER, M. y CALDERÓN, J. The spanish imperial eagle *Aquila adalberti* at Doñana National Park: a study of populations dynamics". Biological conservation, 51:151-161. 1990.
- FERRER, M., DE LA RIVA, M. y CASTROVIEJO, J. Electrocution of raptors on power lines in Southern Spain. J. Field Ornithol, 62: 54-69, 1991.
- FIEDLER, G. y WISSNER, A. Overmead electric lines as a mortal danger to storks, *Ciconia ciconia*. Ökologie der Vögel. Vol. 2, 59-109, 1980.
- GUZMÁN, J. y CASTAÑO, J. P. Mortalidad de aves por electrocución en el SE de Ciudad Real". Alytes VI: 473-478, 1993.
- GUZMÁN, J. y CASTAÑO, J. P. Electrocutación de rapaces en líneas eléctricas de distribución en Sierra Morena oriental y el Campo de Montiel. Ardeola, vol. 45 (2), 161-170. 1998.
- HALLINAN, T. Bird interference on high tension electric transmission lines. Auk 39: 573, 1922.
- HASS, D. Endangment of four large birds by electrocution. A documentation. Ecology of birds, 2: 7-57, 1980.
- HEIJNIS, R. Bird mortality from collision with conductors for maximum tension. Ökologie der Vögel. Vol. 2: 111-129, 1980.
- Mc NEIL, R., RODRÍGUEZ, J. R. y OVELLET, H. Bird mortality at a power transmission line in northeastern Venezuela. Biological Conservation, 31: 153-165, 1985.
- MARSHALL, W. Eagle guard developed in Idaho. Condor 42 :166, 1940.
- MEYER, J. R. A study of wintering Bald eagles to assess potential impacts from a proposed 230 kv. transmission lines, 1980.
- NEGRO, J. J. Adaptación de los tendidos eléctricos al entorno. Monografías de Alytes, 1. Adenex, Merida, 1987.
- NELSON, M. W. y NELSON, P. Power lines and birds of prey. Idaho Wld. Rev. 28 (5): 3-7, 1976.
- Power lines and birds of prey. Pp.: 228-242 en R. D. Chancellor (ed.) World Conference of Birds of Prey: Rep. Of Proceedings. International Council for Birds Preservation, Vienna, Austria, 1977.
- NELSON, M. W. Power lines progress report on eagle protection research. Unpubl. Rep. Boise, Id, 1979.
- NELSON, M. W. Update on eagle protection practices. Unpublic. Rep. Boise, Id. 1980
- OLENDORFF, R. R., MILLER, A. D. y LEHMAN, R. N. Suggested practices for raptors protection on power lines. The state of the art in 1981. Raptor Research record 4, 1981.
- RENSSEN, T. A.; BRUIN, A. DE DOORN, J. H. VAN; GERRITSEN, A.; GREVEN, N. G.; KAMP, J. VAN DE; LINTHORST HOMAN, H. D. M. y SMIT, C. J. Vogelsterfte in Nederland tengevolge van aanvaringen met hoogspannings-lijnen. Rijksinstituut voor Natuurbeheer, Arnhem 1-64, 1975.
- SCOTT, R. E., ROBERTS, L. J. y CADBURY, C. J. Birth deaths from power lines at Dungeness. British Birds 65: 273-286, 1972.
- VARIOS AUTORES. El impacto de los tendidos eléctricos en la avifauna. Primeras Jornadas CODA sobre el impacto de los tendidos eléctricos. Octubre. Madrid, 1994.

APÉNDICE FOTOGRÁFICO

1. Apoyo de alineación del modelo bóveda.
2. Apoyo de amarre del modelo doble cruceta. Es una modificación del modelo aislador rígido.
3. Caseta de transformación.
4. Apoyo del modelo tres superiores.
5. Apoyo del modelo tres inferiores.
6. Poste de alineación del modelo cruz.



7. Derivación a partir de un apoyo del modelo bóveda.
8. Derivación de un modelo central superior, con un nido donde se aprecia un ave electrocutada.
9. Uno de los diseños del grupo *otros*
10. Buitre leonado electrocutado en Las Batuecas. Salamanca.

