

ELECTROCUCION DE RAPACES EN LINEAS ELECTRICAS DE DISTRIBUCION EN SIERRA MORENA ORIENTAL Y CAMPO DE MONTIEL

José GUZMÁN* y Juan Pablo CASTAÑO**¹

RESUMEN.—*Electrocución de rapaces en líneas eléctricas de distribución en Sierra Morena oriental y Campo de Montiel.* Se presentan los resultados de mortalidad de aves por electrocución en diez líneas eléctricas de distribución en las estribaciones de Sierra Morena oriental y en el Campo de Montiel (Ciudad Real). En el periodo 1988-1996, 274 rapaces electrocutadas pertenecientes a 14 especies fueron encontradas a lo largo de 69 km de líneas eléctricas, con un total de 1629 postes inspeccionados. Las cifras de electrocución fueron especialmente importantes para algunas grandes rapaces (14 Águilas Imperiales *Aquila adalberti*, 23 Águilas Reales *Aquila chrysaetos* y 17 Águilas-azor Perdiceras *Hieraetus fasciatus*). Los apoyos de anclaje y los apoyos con aisladores rígidos causaron el 99,6% de la mortalidad observada. La frecuencia de electrocución fue superior a la esperada en relación al número de apoyos en los tendidos más próximos a Sierra Morena, que atraviesan en su mayor parte zonas de matorral aclarado. Los valores medios de mortalidad por apoyo fueron significativamente superiores en los apoyos de anclaje. Los valores medios de mortalidad por apoyo fueron significativamente superiores en los apoyos situados en matorral. Este resultado podría explicarse por una mayor abundancia de conejos (*Oryctolagus cuniculus*) en zonas con matorral, que indirectamente conllevaría una mayor densidad de rapaces y un mayor número de electrocuciones en los tendidos que atraviesan este biotopo. Se obtuvo una correlación significativa negativa entre el índice de mortalidad y la distancia al nido de *Aquila adalberti* más próximo. Esta distancia fue además un buen estimador de la distancia de cada línea eléctrica a Sierra Morena, área de nidificación de la mayoría de las especies que presentaron casos de electrocución. Las prioridades en la modificación de tendidos eléctricos deberían realizarse considerando el tipo de apoyo, el tipo de vegetación predominante por el que cruza cada línea y la distancia de los tendidos a las zonas de cría.

Palabras clave: *Aquila adalberti*, *Aquila chrysaetos*, electrocución, *Hieraetus fasciatus*, mortalidad, rapaces, Sierra Morena.

SUMMARY.—*Raptor mortality by electrocution in power lines in eastern Sierra Morena and Campo de Montiel (Spain).* A survey on bird (mainly raptors) electrocutions at ten power lines in Campo de Montiel and eastern Sierra Morena is reported. During 1988-1996, 274 dead raptors of 14 species (Fig. 2) were found along 69 km of distribution power lines, with a total of 1629 pylons surveyed. Electrocution mortality was especially important for large raptors (14 corpses of Spanish Imperial Eagles *Aquila adalberti*, 23 of Golden Eagles *Aquila chrysaetos* and 17 of Bonelli's Eagles *Hieraetus fasciatus* were found). Pylon design and the type of vegetation around pylons showed significant effects on mortality indices. Anchoring pylons and rigid insulator pylons (Fig. 1) caused 99.6% of the observed electrocutions. Frequencies of electrocution were significantly higher at power lines close to Sierra Morena, in areas where shrubland predominates. This result could be partially explained by larger prey (mainly rabbits *Oryctolagus cuniculus*) density in shrublands, and indirectly by a higher density of raptors in this habitat. A negative significant correlation was found between mortality and distance to the nearest *Aquila adalberti* nest. This distance also indicated the distance from power lines to Sierra Morena, which is the main breeding area for most of the raptor species found electrocuted. Priorities in order to modify or replace power lines should consider the pylon design, type of vegetation and distance from power lines to breeding areas.

Key words: *Aquila adalberti*, *Aquila chrysaetos*, electrocution, *Hieraetus fasciatus*, mortality, power lines, raptors, Sierra Morena, Spain.

INTRODUCCIÓN

La electrocución es una de las más importantes causas de mortalidad en aves rapaces

(Haas, 1980; Mac Neill *et al.*, 1985; Negro, 1987; Faure, 1988; Bevanger, 1994). En los últimos 20 años, diversos autores han estudiado el impacto de los tendidos eléctricos sobre las

* Avda. 1.º de Julio, 16. E-13300 Valdepeñas, Ciudad Real, España.

** Avda. Boladiez, 17, 2.º C. E-45007 Toledo, España.

¹ Dirección de correspondencia. E-mail: jpablo@quercus.es

aves, causado tanto por electrocución como por colisión. En la península Ibérica los estudios sobre electrocución se han realizado principalmente en zonas protegidas (Parque Nacional de Doñana: Ferrer *et al.*, 1991; Ferrer & Negro, 1992). No obstante, la información disponible sobre este problema para otras zonas peninsulares en las que existen importantes poblaciones de rapaces (tanto en periodo de cría como en invernada) es escasa (Negro, 1987; P.I.E., 1995; González, 1996).

El diseño de los apoyos y el hábitat por el que pasan los tendidos (tipo de vegetación, proximidad a estructuras de origen humano) han sido descritos como los principales factores que determinan la mortalidad por electrocución (Negro, 1987, Ferrer *et al.*, 1991;). Otros factores tales como la densidad de rapaces, la disponibilidad de presas y el tipo de uso que las aves hacen de los apoyos pueden igualmente afectar al riesgo de electrocución (Regidor *et al.*, 1988). Debido a que la electrocución afecta en gran medida a especies amenazadas como el Aguila Imperial Ibérica (Ferrer *et al.*, 1991; González, 1991) o el Aguila-azor Perdicera (Arroyo *et al.*, 1995), en los últimos años se están modificando líneas en las áreas de distribución de estas especies, atendiendo exclusivamente en algunas ocasiones al criterio del diseño de los apoyos, sin que se disponga de información suficiente sobre la mortalidad real producida en estos tendidos, lo que puede conllevar un uso no óptimo de los recursos económicos disponibles para su modificación.

En este trabajo se estima la mortalidad de aves por electrocución en diez líneas eléctricas de distribución situadas en el Campo de Montiel y estribaciones de Sierra Morena oriental (Ciudad Real), completando los resultados de un estudio previo (Guzmán & Castaño, 1993), y se analiza la mortalidad observada en relación con las características de los apoyos, de la vegetación circundante y de la distancia de los tendidos a las áreas de cría. De los resultados obtenidos se derivan recomendaciones tendientes a disminuir esta mortalidad a través de la modificación de los tendidos eléctricos.

AREA DE ESTUDIO Y MÉTODOS

El estudio se realizó en el Campo de Montiel y zonas próximas de las estribaciones de Sierra

Morena oriental en la provincia de Ciudad Real (3°30'W, 38°30'N.; altitud media: 750 m s.n.m.). El paisaje es llano o suavemente ondulado, con pequeñas colinas en las estribaciones de Sierra Morena. Los tendidos se han agrupado considerando dos subzonas en el área de estudio, en función de la distancia de cada tendido a Sierra Morena, que a su vez condiciona el tipo de uso del suelo y la vegetación predominante alrededor de los postes:

(1) *Campo de Montiel*: tendidos situados a más de 15 km de Sierra Morena. En esta subzona predominan los cultivos de secano de cereal y, en menor medida, viñedo y olivar. El 53% de los apoyos estaba en cultivos, el 22,6% en zonas de matorral aclarado de *Quercus ilex*, *Rosmarinus officinalis* y *Cistus* spp., el 16,5% en dehesas de *Quercus ilex* y el 3,6% en pastizal.

(2) *Estribaciones de Sierra Morena Oriental*: tendidos situados a menos de 15 km de Sierra Morena. En esta subzona predomina la vegetación natural más o menos degradada. El 59% de los apoyos estaba en matorral de jara *Cistus* spp. o quercíneas *Quercus* spp., el 24,3% de los apoyos en dehesas, el 10% en pastizal y, el 6,7% de los apoyos en cultivos de secano. El conejo *Oryctolagus cuniculus*, presa principal de las grandes rapaces (Delibes *et al.*, 1975; Arroyo *et al.*, 1990), es todavía abundante en las zonas de matorral y su presencia probablemente afecta al riesgo de electrocución. Por otra parte, las áreas próximas de Sierra Morena oriental albergan importantes poblaciones reproductoras de algunas Falconiformes de gran tamaño (Aguila Imperial Ibérica *Aquila adalberti*, con al menos 10 parejas; Aguila Real *Aquila chrysaetos*, con al menos 21 parejas; y Aguila-azor Perdicera *Hieraaetus fasciatus*, con un mínimo de 2 parejas; Castaño & Guzmán, 1995 y obs. pers.). La zona de estudio es además una importante zona de dispersión para *Aquila adalberti* (González, 1991) e *Hieraaetus fasciatus* (Arroyo *et al.*, 1995) y una importante zona de invernada para otras rapaces (De Juana *et al.*, 1988).

Entre diciembre de 1988 y enero de 1996 se realizaron recorridos a pie a lo largo de diez líneas de distribución (15 kV). No obstante, el 75% de los recorridos se realizó entre diciembre de 1988 y diciembre de 1990, periodo en el que se encontró el 76,4% de las aves electrocutadas. En una primera inspección, cada tendido

fue recorrido en su totalidad (en conjunto unos 69 km, con un total de 726 postes, 290 en Campo de Montiel y 436 en estribaciones de Sierra Morena). En los tendidos 1 a 7 (Tabla 1) se realizó una primera inspección durante el primer semestre de 1989. Para cada tendido, la primera visita se completó en un periodo de tiempo inferior a 45 días. En estos siete tendidos se realizaron visitas posteriores a los tramos que registraron una mayor mortalidad en la visita inicial. Debido a limitaciones en la disponibilidad de tiempo para la prospección, tanto el periodo de tiempo en que se realizaron las visitas posteriores a los diferentes tendidos (de 9 a 20 meses) como el intervalo entre éstas (de 2 a 12 meses) fue muy variable, por lo que los resultados impiden obtener estimas de tasas temporales de mortalidad por tendido o para el conjunto del periodo de estudio. Los tendidos 4, 9 y 10 se prospectaron una sola vez (en 1992, 1993 y 1995, respectivamente). El número total de postes inspeccionados (incluyendo las visitas repetidas) fue de 1629. En cada inspección se anotó el número y tipo de postes recorridos, el número de aves muertas en cada poste, la especie, el tipo de vegetación predominante en un radio de 25 m alrededor del poste (cultivos, pastizal, matorral o dehesa), el estado de los restos (frescos, en descomposición o huesos) y la edad del ave, cuando fue posible apreciarla a partir del plumaje (inmaduro o adulto). Los cadáveres y otros restos fueron retirados para evitar dobles conteos.

Cuando se encontraron sólo esqueletos incompletos, se usaron para la identificación posterior únicamente los restos de aves claramente diferenciadas (cráneos, pelvis). Algunos esqueletos o huesos pudieron ser identificados en el Laboratorio de Arqueozoología de la Universidad Autónoma de Madrid. Cuando la identificación específica no fue posible, los restos fueron considerados como indeterminados (rapaces grandes o pequeñas en función de su tamaño). Algunos cadáveres de pequeñas aves no rapaces encontrados en bajo número (Urracas *Pica pica* y Palomas Torcaces *Columba palumbus*) no han sido incluidos en los resultados de electrocución. En los resultados de electrocución por especies se han incluido dos aves de gran tamaño no Falconiformes (una Cigüeña Negra *Ciconia nigra* y un Cuervo *Corvus corax*), aunque estas aves no han sido incluidas en el tratamiento estadístico de los datos.

Para evaluar el efecto del diseño del apoyo sobre los resultados de electrocución se han considerado cinco tipos básicos de apoyos (Fig. 1). Tipo I (Montaje 1): crucetas en dos planos con aisladores rígidos; Tipo II (Montaje 0): cruceta en un plano con aisladores rígidos; Tipo III (amarre, montajes 0 y 1, y seccionadores): crucetas en uno o dos planos, con aisladores de anclaje y puentes flojos; apoyos con seccionador o transformador. Tipo IV (bóveda): aisladores suspendidos y Tipo V (tresbolillo): crucetas en tres planos con aisladores suspendidos. Se obtuvieron dos índices de mortalidad globales para cada tendido y subzona: M1 = número de aves electrocutadas en la visita inicial/número de apoyos muestreados en la visita inicial (Ni/NPI). M2 = número total de aves electrocutadas/número total de apoyos muestreados en todas las visitas (N/NPT). Además se obtuvieron índices de peligrosidad para cada tipo de apoyo y vegetación, considerando el número de aves electrocutadas en la primera visita en relación con el número de apoyos muestreados en la visita inicial de cada tipo situados en cada una de las formaciones de vegetación consideradas. Para cada tendido se midió sobre cartografía 1:200000 la distancia del mismo al nido más próximo de *Aquila adalberti*, variable que sirvió para estimar la distancia de los tendidos a Sierra Morena, zona en la que anidan la mayoría de las especies que registraron casos de electrocución durante este estudio.

El análisis de las frecuencias de electrocución en cada subzona se realizó mediante pruebas de χ^2 . Las frecuencias esperadas de electrocución se calcularon en proporción al número total de postes muestreados en cada subzona. Las comparaciones de los valores medios de mortalidad para los distintos tipos de apoyos se realizaron mediante pruebas de la *t* de Student. Para aproximar a una distribución normal el número de aves encontradas en los postes en que aparecieron restos se realizó una transformación logarítmica (Sokal & Rohlf, 1980). El posible efecto conjunto del tipo de apoyo y de la vegetación en torno al poste se analizó mediante un ANOVA de clasificación doble. El análisis de posibles correlaciones entre los índices de mortalidad para cada tendido y la distancia al nido más próximo de *Aquila adalberti* se realizó mediante el coeficiente de correlación de Spearman. Los valores de probabilidad son para pruebas de dos colas.

TABLA I

Características de las líneas eléctricas inspeccionadas. NPI: número de postes inspeccionados en la visita inicial. NPT: número total de postes inspeccionados (visita inicial más visitas repetidas). n: número total de aves electrocutadas. Los tipos de apoyos y la vegetación en que se ubicaban (C: cultivos; P: pastizal; M: matorral; D: dehesa) se han expresado como porcentajes sobre el número de apoyos inspeccionados en la visita inicial. Dnido: distancia al nido más próximo de *Aquila adalberti* (km). M1 y M2 se definen en el texto.

[Characteristics of the electric power lines surveyed. INP: number of poles on first control (equivalent to surveyed length of power line). TNP: total number of poles surveyed, including further visits. n: number of birds electrocuted. Pylon types (Fig. 1) and vegetation types (C: croplands; P: pastures; M: shrublands; D: dehesas) are expressed as percentages in relation to the number of poles (INP). Dnest: distance to the nearest nest of *Aquila adalberti* (km). M1: number of corpses found on first control divided by the number of poles surveyed on that control. M2: total number of corpses divided by the total number of poles surveyed during both the first and further controls.]

Tendido [Power line]	NPI [INP]	NPT [TPN]	n	Tipo de apoyo [Pylon design (%)]					Vegetación (%) [Vegetation]				Dnido [Dnest]	M1	M2	
				I	II	III	IV	V	C	P	M	D				
SIERRA MORENA																
1	118	351	68	91	—	9	—	—	—	0	5,5	59,3	35,2	11	0,43	0,19
2*	138	280	30	—	—	12	84	4	—	0	23,4	76,6	0,0	4,5	0,94	0,83
3	160	362	87	94	—	6	—	—	—	13	6,4	51,3	29,3	7	0,29	0,24
4	20	20	2	—	—	30	70	—	—	25	5,0	45,0	15,0	16	0,10	0,10
	436	1013	187											9,6	0,27	0,18
CAMPO DE MONTIEL																
5	103	235	32	—	90,3	9,7	—	—	—	31,7	3,8	9,7	54,8	26	0,12	0,14
6	77	115	21	—	88,3	11,7	—	—	—	80,5	6,5	13,0	0,0	28	0,14	0,18
7	35	171	15	93	—	7,0	—	—	—	37,9	0,0	48,3	13,8	24	0,34	0,09
8	15	35	5	44	49,0	7,0	—	—	—	55,7	10,0	34,3	0,0	19	0,13	0,14
9	30	30	6	67	31,0	2,0	—	—	—	69,5	0,0	30,5	0,0	18	0,20	0,20
10	30	30	10	—	96,6	3,4	—	—	—	62,7	0,0	30,5	6,8	15	0,33	0,33
	290	613	89											21,5	0,18	0,14
AMBAS SUBZONAS [Both]																
	726	1629	276											16,7	0,28	0,17

* En el tendido 2, M1 y M2 fueron calculados considerando sólo los apoyos de Tipo III, considerados de diseño peligroso: NPI = 17 y NPT = 36.
[* At power-line 2, M1 and M2 were calculated considering only Type III pylons; INP = 17 and TNP = 36.]

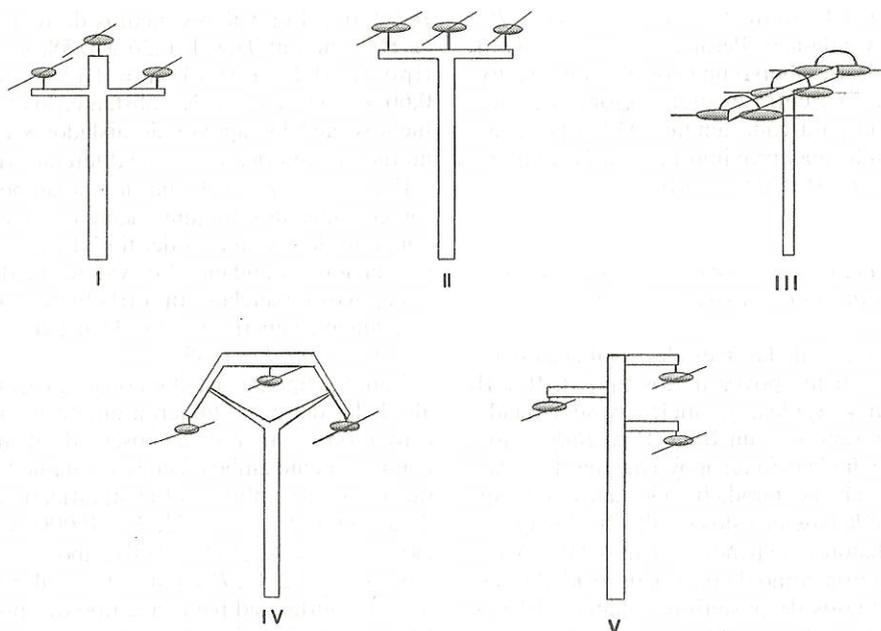


FIG. 1.- Tipos básicos de apoyos considerados (I y II: aisladores rígidos; III: anclaje y seccionadores; IV: en bóveda, aisladores suspendidos; V: en tresbolillo, aisladores suspendidos).

[Basic types of pylons surveyed (I and II: rigid insulators; III: anchoring; IV: vault with suspended insulators; V: three crossbeams with suspended insulators).]

RESULTADOS

Características de las líneas eléctricas y resultados totales de electrocución

Las características de las líneas eléctricas en cada subzona (número inicial y total de apoyos inspeccionados, número total de aves electrocutadas e índices de mortalidad para cada tendido) se indican en la Tabla 1. De un total de 276 aves electrocutadas, 274 eran rapaces. En relación con el estado de los cadáveres, 57 (20,8%) se encontraron frescos (la electrocución se produjo en un periodo anterior inferior a una semana), 111 (40,2%) se encontraron en descomposición y 108 (39%) se encontraron como esqueletos más o menos completos. De éstos, 41 (15%) fueron identificados a nivel de especie en el laboratorio. Para los restantes 67 cadáveres de rapaces (24%) no se pudo determinar la especie y fueron categorizados como indeterminados (grandes o pequeños en función de su tamaño). La clase de edad fue determinada en 168 aves. De ellas, 165

(98,2%) fueron aves de plumaje no adulto. Todos los restos encontrados de Aguila Imperial, Aguila Real y Aguila-azor Perdicera correspondieron a individuos inmaduros. En la inspección inicial se encontraron 167 rapaces y las dos aves no rapaces citadas (61% del total) en 592 apoyos (116 aves en 301 apoyos en Sierra Morena y 53 aves en 291 apoyos en el Campo de Montiel).

Resultados de electrocución por especies y subzonas

Los resultados de electrocución por especies y subzonas se indican en la figura 2. Las frecuencias totales de aves electrocutadas en ambas subzonas mostraron diferencias significativas en relación a lo esperado según el número de apoyos muestreados en las mismas ($\chi^2 = 16,9$; $g.l = 1$; $P < 0,001$). Para dos especies, *Accipiter gentilis* e *Hieraaetus fasciatus*, se obtuvieron diferencias significativas en las frecuencias de electrocución entre ambas subzo-

nas (Azor Común $\chi^2 = 43,2$; $g.l = 1$; $P < 0,001$; Aguila-azor Perdicera $\chi^2 = 4,5$ $g.l = 1$; $P = 0,03$). Se obtuvo una correlación negativa significativa entre el índice global de electrocución para cada tendido M2 y la distancia al nido más próximo de *Aquila adalberti* ($r_s = -0,697$; $P = 0,02$; $n = 10$).

Efectos del tipo de apoyo y de la vegetación circundante sobre la electrocución

La mayoría de las aves electrocutadas se encontraron bajo apoyos de los tipos I, II y III (aisladores rígidos, de anclaje y seccionadores). Sólo un ave (un Búho Real *Bubo bubo*) fue encontrada bajo un apoyo del tipo IV y ningún ave fue encontrada bajo los apoyos de tipo V. Sobre la base de estos resultados, los apoyos con aisladores suspendidos (tipos IV y V) se consideraron como de baja peligrosidad y fueron excluidos de posteriores análisis. El tipo de apoyo mostró un efecto significativo sobre la mortalidad observada ($F_{2,587} = 4,61$;

$P = 0,01$). Los valores medios de mortalidad (\pm DT) fueron: Tipo I: $0,26 \pm 0,58$, $n = 383$; tipo II: $0,17 \pm 0,43$, $n = 137$; tipo III: $0,60 \pm 1,33$, $n = 70$. No obstante, los valores medios para los apoyos de aisladores rígidos no fueron significativamente diferentes (tipos I y II, $t = 1,63$; $P = 0,1$), por lo que ambos fueron considerados conjuntamente en el análisis conjunto de los efectos del tipo de apoyo y la vegetación circundante. Los valores medios de los apoyos de anclaje (tipo III) fueron significativamente superiores a los de aisladores rígidos ($t = -1,96$; $P = 0,05$).

Tanto el tipo de aislador como la vegetación alrededor del poste tuvieron un efecto significativo sobre la mortalidad observada al analizar conjuntamente ambos factores, aunque la interacción entre ambos no fue significativa (tipo de aislador: $F_{1,582} = 7,72$; $P = 0,006$; vegetación: $F_{3,582} = 12,3$; $P < 0,001$; apoyo*vegetación: $F_{3,582} = 2,31$; $P = 0,07$). Los valores medios de mortalidad para cada tipo de apoyo en los distintos tipos de vegetación se indican en la tabla 2.

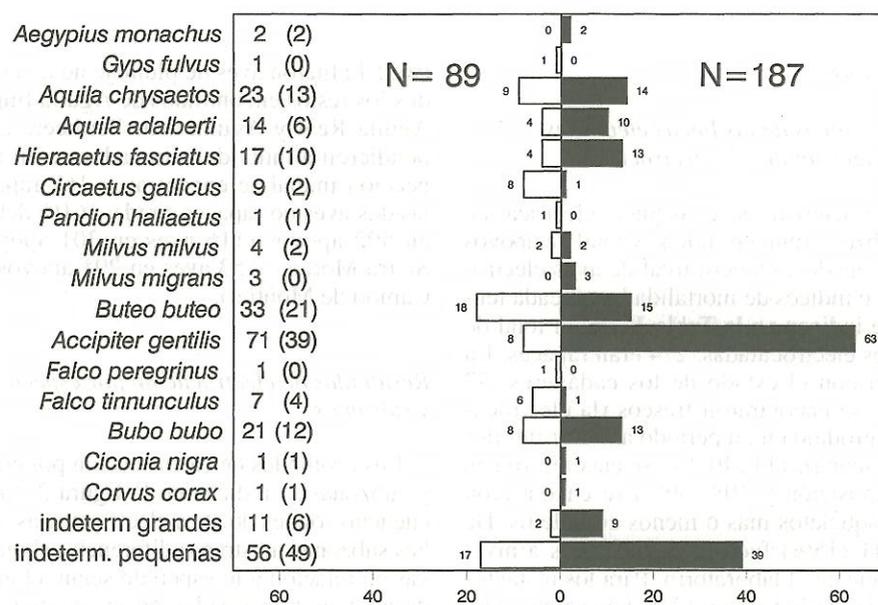


FIG. 2.- Número de aves electrocutadas según subzonas (barras vacías: Campo de Montiel; barras rellenas: Sierra Morena) y especies. Entre paréntesis se indica el número de aves encontradas en la visita inicial. [Numbers of birds found electrocuted according to subzones (open bars: Campo de Montiel; filled bars: Sierra Morena) and bird species. The number of birds found in the first survey are shown in brackets.]

TABLA 2

Valores medios de mortalidad para la visita inicial (número de aves/apoyo) para cada tipo de apoyo (Fig. 1) y de vegetación. El número de apoyos inspeccionados se indica entre paréntesis.
 [Mortality rates (number of birds/pylon \pm SD) on first control of power lines according to types of pylon (Fig. 1) and the vegetation surrounding them. The numbers of pylons surveyed are shown in brackets.]

Tipo de apoyo [Type of pylon]	Tipo de vegetación [vegetation type]				total [total]
	cultivos [croplands]	pastizal [pastures]	matorral [shrubland]	dehesa [dehesa]	
rígidos (tipos I y II) [rigid (types I and II)]	0,15 \pm 0,39 (166)	0,21 \pm 0,41 (24)	0,39 \pm 0,71 (209)	0,11 \pm 0,33 (121)	0,24 \pm 0,54 (520)
anclaje (tipo III) [anchoring (type III)]	0,24 \pm 0,97 (17)	0,50 \pm 0,75 (8)	0,97 \pm 1,65 (35)	0,00 \pm 0,00 (10)	0,60 \pm 1,33 (70)
Total [Total]	0,16 \pm 0,47 (183)	0,28 \pm 0,52 (32)	0,47 \pm 0,92 (244)	0,09 \pm 0,32 (131)	0,28 \pm 0,69 (590)

DISCUSIÓN

Los valores de electrocución por especies, especialmente en lo que se refiere a rapaces de gran tamaño (Águilas Imperial, Real y Perdizera, con 14, 23 y 17 aves, respectivamente), son indicativos de la gravedad de este problema en la zona de estudio, de manera que la electrocución puede considerarse como una de las principales causas de mortalidad de especies amenazadas (Negro, 1987; Regidor *et al.*, 1988; Ferrer *et al.*, 1991; P.I.E., 1995). Hemos de señalar que estos datos representan valores mínimos para el área de estudio, ya que los intervalos entre las visitas a los tendidos fueron amplios desde 1991 y, además, algunas líneas del Campo de Montiel y de zonas limítrofes de Sierra Morena en Andalucía no han sido inspeccionadas. Por otra parte, diversos carroñeros y, en ocasiones, los guardas de fincas, pueden retirar los restos de los cadáveres en una alta proporción, reduciendo el número de aves encontradas en nuestros recorridos de los tendidos (Ferrer *et al.*, 1991).

Nuestros resultados apoyan las conclusiones obtenidas en otros estudios en lo referente al efecto del tipo de apoyo y del hábitat sobre la electrocución (Ferrer *et al.*, 1991). En nuestra zona, los apoyos de anclaje y con aisladores rígidos causaron el 99,6% de la mortalidad observada. Tan sólo un ave fue encontrada bajo apoyos de aisladores suspendidos, indicando la

baja peligrosidad de este último tipo. Los apoyos de anclaje y seccionadores, a pesar de su reducido número respecto al total de postes muestreados (6,7%), causaron 66 electrocuciones (24% del total). Esta mayor peligrosidad puede ser causada por la mayor cantidad de elementos conductores (torreta metálica, puentes, derivaciones), que incrementa la probabilidad de contacto.

Al mismo tiempo, los tramos de línea eléctrica de diseño peligroso que atraviesan zonas de matorral mostraron los mayores índices de electrocución. Aunque no disponemos de datos cuantitativos sobre abundancia de especies presa, principalmente para el conejo, esta especie es claramente más abundante en zonas de matorral abierto (véase Serrano, 1998) y probablemente su presencia afecte al impacto previsible por electrocución. La presencia de arbolado, que puede ser utilizado como posadero por las aves, podría explicar el menor índice de mortalidad observado en los apoyos que atraviesan zonas de dehesa. Asimismo, el menor índice de mortalidad obtenido en las zonas cultivadas podría ser consecuencia de un mayor grado de presencia humana y probablemente de la menor disponibilidad de presas, aunque con nuestros datos no podemos excluir la posibilidad de que algunos restos pudiesen desaparecer durante las labores de arado, hecho que supondría una infravaloración de la tasa de electrocución. Ambos factores, tipo de apo-

yo y hábitat atravesado por los tendidos, junto con la obtención de datos de mortalidad, deberían ser considerados por las administraciones competentes en relación con la definición de prioridades para la modificación de las líneas conflictivas, con el fin de optimizar los recursos económicos disponibles.

El Azor Común fue la especie que registró un mayor número de electrocuciones, la mayor parte de las cuales se produjeron en la subzona Sierra Morena. Este resultado se debe probablemente a la importante población reproductora de esta especie en las áreas próximas de Sierra Morena (no inferior a 25 parejas) y a su menor abundancia en el Campo de Montiel, donde escasean los biotopos favorables para esta especie. La correlación negativa obtenida entre los índices de electrocución de cada tendido y la distancia de las líneas a Sierra Morena podría ser resultado de la mayor abundancia de las especies que sufrieron electrocuciones en estas zonas, más próximas a las zonas de cría y a la vez con mayor superficie ocupada por matorral.

El riesgo de electrocución ha sido reducido en la zona de estudio en los últimos años, ya que las líneas 1 a 5 han sido modificadas entre 1991 y 1994. Los apoyos de diseño peligroso fueron sustituidos por apoyos en bóveda con aisladores suspendidos. Actualmente, se están modificando otras líneas de la zona de estudio, aislando el conductor con material plástico, aunque desconocemos la eficacia real de esta medida. Para el Aguila Imperial Ibérica en Doñana y su entorno, la sustitución de los apoyos de diseño peligroso ha demostrado ser la medida más eficaz, incrementando la supervivencia juvenil (Ferrer & Hiraldo, 1991). En nuestra área de estudio, con una importante población de rapaces de mediano y gran tamaño, la identificación y modificación efectiva de las líneas más peligrosas es sin duda urgente. Debido a la existencia de líneas de diseño peligroso en zonas cercanas de Andalucía, consideramos prioritaria la realización de estudios sobre electrocución en estas zonas para identificar los tendidos que ocasionan un mayor impacto y asegurar la adopción de medidas de corrección adecuadas. Urge igualmente la aprobación de legislación específica reguladora de las características de los tendidos de nueva instalación, con el fin de impedir la construcción de líneas de diseño peligroso.

AGRADECIMIENTOS.—Este estudio no ha contado con financiación económica o apoyo de ningún tipo. Deseamos agradecer especialmente a F. Suárez Carrasquilla, A. Aguilar y A. Morales su ayuda en la identificación de algunos restos óseos. Agradecemos igualmente a Miguel Ferrer y a Juan José Negro sus comentarios críticos realizados a la primera versión, que contribuyeron a mejorar notablemente el manuscrito original.

BIBLIOGRAFÍA

- ARROYO, B., FERREIRO, E. & GARZA, V. 1990. *El Aguila Real (Aquila chrysaetos) en España*. ICONA. Madrid.
- ARROYO, B., FERREIRO, E. & GARZA, V. 1995. *El Aguila Perdicera (Hieraaetus fasciatus) en España*. ICONA. Madrid.
- BEVANGER, K. 1994. Bird interactions with utility structures: collision and electrocution. *Ibis*, 136: 412-425.
- CASTAÑO, J. P. & GUZMÁN, J. 1995. Aspectos sobre la reproducción de *Aquila adalberti* y *Aquila chrysaetos* en Sierra Morena Oriental. *Ardeola*, 42: 83-89.
- DE JUANA, E., DE JUANA, F. & CALVO, S. 1988. La invernada de aves de presa en la Península Ibérica. En, J. L. TELLERÍA, (Ed.): *Invernada de Aves en la Península Ibérica*. pp. 97-122. Monografía 1 de la Sociedad Española de Ornitología. Madrid.
- DELIBES, M., CALDERÓN, J. & AMORES, F. 1975. Selección de presa y alimentación en España del Aguila Real *Aquila chrysaetos*. *Ardeola*, 21: 285-302.
- FAURE, R. 1988. Electricité de France et le génocide des oiseaux. *L'Oiseau*, 10: 16-23.
- FERRER, M., & DE LA RIVA, M. & CASTROVIEJO, J. 1991. Electrocution of raptors on power lines in Southwestern of Spain. *Journal of Field Ornithology*, 62: 181-190.
- FERRER, M. & HIRALDO, F. 1991. Evaluation of management techniques for the Spanish Imperial Eagle. *Wildlife Society Bulletin*, 19: 436-442.
- FERRER, M. & NEGRO, J. J. 1992. Tendidos eléctricos y conservación de aves en España. *Ardeola*, 39: 23-27.
- GONZÁLEZ, L. M. 1991. *Historia natural del Aguila Imperial Ibérica*. ICONA. Madrid.
- GONZÁLEZ, L. M. 1996. Tendencias poblacionales y estatus de conservación del Aguila Imperial Ibérica *Aquila adalberti* en España durante los últimos 20 años. En, J. MUNTANER & J. MAYOL (Eds.): *Biología y Conservación de Rapaces Mediterráneas*, pp. 61-75. Sociedad Española de Ornitología. Madrid.
- GUZMÁN, J. & CASTAÑO, J. P. 1993. Electrocución de aves en el SE de Ciudad Real. *Alytes*, 6: 473-478.

- HAAS, D. 1980. Endangerment of our large birds by electrocution. *Ecology of Birds*, 2: 7-57.
- LORENZO, J. A. 1995. Estudio preliminar sobre la mortalidad de aves por tendidos eléctricos en la isla de Fuerteventura (Islas Canarias). *Ecología*, 9: 403-407.
- MAC NEILL, R., RODRÍGUEZ, J. & QUELLET, G. 1985. Bird mortality at a power transmission line in north-eastern Venezuela. *Biological Conservation*, 31: 153-165.
- NEGRO, J. J. 1987. *Adaptación de los tendidos eléctricos al entorno*. ADENEX. Mérida.
- PROGRAMA DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO ELECTROTÉCNICO (P.I.E.). 1995. *Análisis de impactos de líneas eléctricas sobre la avifauna en espacios naturales protegidos. Manual para la investigación de riesgos y soluciones*. Sevillana de Electricidad, Iberdrola y Red Eléctrica de España. Sevilla.
- REGIDOR, S., SANTOS, C., FERRER, M. & NEGRO, J. J. 1988. Experimentos de modificaciones para postes eléctricos en el Parque Nacional de Doñana. *Ecología*, 2: 251-256.
- SERRANO, D. 1998. Diferencias interhábitat en la alimentación del Búho Real (*Bubo bubo*) en el valle medio del Ebro (NE de España): efecto de la disponibilidad de conejo (*Oryctolagus cuniculus*). *Ardeola*, 45: 47-53.
- SOKAL, R. R. & ROHLF, F. J. 1980. *Introducción a la Bioestadística*. Ed. Reverté S.A. México.

[Recibido: 7-1-97]
[Aceptado: 2-9-98]

