

Estudio de las medidas de protección de la infraestructura frente a la colisión de las aves con trenes de alta velocidad

Study of measures to protect the infrastructure from the collision of birds with high-speed trains

Roberto RODRÍGUEZ ILLANES¹, Ignacio MEANA MARTÍNEZ², Jesús ABELAIRA REY³,
Eladio GARCÍA DE LA MORENA⁴

RESUMEN

La interacción entre una red de transporte de alta velocidad y la fauna del territorio atravesado es un factor ambiental determinante. La protección de especies terrestres o acuáticas es abordable desde un correcto diseño de la infraestructura, pero la protección de la avifauna exige de medidas complementarias, específicas en función del hábitat y de la especie a proteger, debiéndose aplicar frecuentemente en puntos singulares como las estructuras.

Este artículo es la sinopsis de un trabajo realizado por un amplio equipo multidisciplinar, cuyo resultado ha sido definir una metodología a seguir en el estudio de la protección efectiva de las aves, al tiempo que se han diseñado soluciones constructivas aplicables a la ejecución de nuevas líneas y que, previo análisis, podrían implementarse en líneas existentes, caso de ser necesario.

Palabras clave: colisiones, aves, avifauna, trenes de alta velocidad, pantallas

ABSTRACT

The interaction between a high-speed railway network and the fauna of the crossed territory is a crucial environmental factor. The protection of terrestrial or aquatic species is tackled with a good infrastructure design, but the protection of birds requires additional measures, specific in terms of habitat and what species are to be protected. These measures must be applied frequently, usually at singular points such as structures.

This article is an overview of a comprehensive work made by a multidisciplinary team, which has resulted in a methodology to be followed in the study of the effective protection of birds. At the same time, new innovative constructive solutions have been designed to be applied in the design and construction of new or existing lines, if it is found to be necessary.

Keywords: collisions, birds, avifauna, high-speed trains, screens

1 INTRODUCCIÓN

El problema de las colisiones de aves en el ferrocarril de alta velocidad es un tema de interés creciente en los últimos años. Al inherente efecto barrera de las infraestructuras ferroviarias se une la característica de la alta velocidad como factor de riesgo y agravante de las consecuencias, sobre todo en determinadas especies.

¹ Dirección de Estudios y Proyectos, DGGP, ADIF. rrillanes@adif.es

² Dirección de Estudios y Proyectos, DGGP, ADIF. imeana@adif.es

³ PROINTEC. jabelaira@prointec.es

⁴ PROINTEC – SECIM. eladio.garcia@secim.es



Figura 1. Efectos de la colisión de un grupo de buitres con una rama de alta velocidad en la LAV Madrid – Zaragoza – Barcelona. Fuente: D. de Mantenimiento, ADIF

El problema de la colisión de aves se viene resolviendo tradicionalmente mediante varios tipos de medidas de protección:

- a) En zonas de desmonte o terraplén:
 - Pantallas opacas, de 3-4 m de altura, definidas en las *Instrucciones Generales para Proyectos de Plataforma* (IGP) de ADIF.
 - Caballones o motas rellenos con material procedente de excavación.
 - Cerramientos señalizados.
- b) En viaductos: pantallas opacas, de hasta 2-3 m de altura (diseño según IGP)

Las soluciones propuestas para secciones tipo en desmonte y terraplén parecen estar relativamente consensuadas, si bien la mayoría de las veces existen serias discrepancias de criterio entre los técnicos y administraciones competentes a la hora de determinar qué medidas son más eficaces en cada caso.

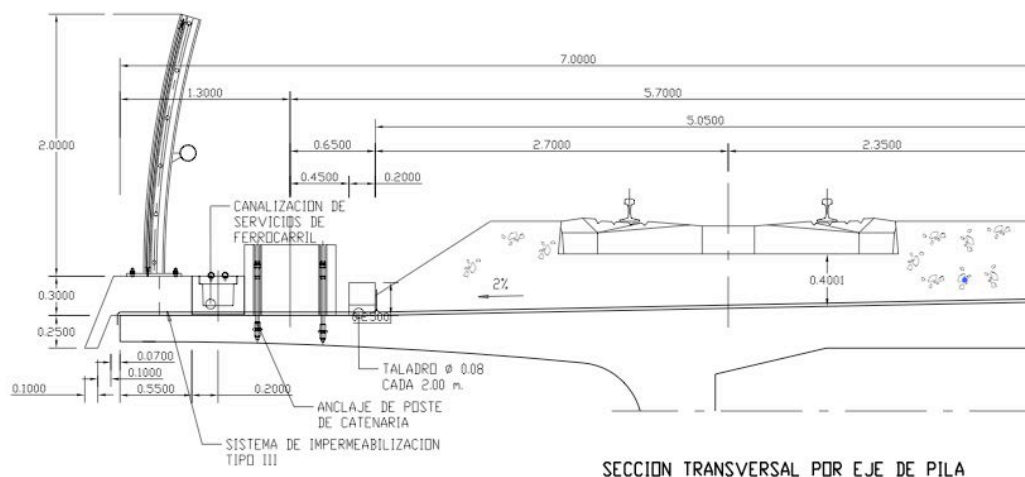


Figura 2. Sección tipo de pantalla anticolidión vigente para los proyectos de ADIF. Fuente: IGP 2008

Por el contrario, para la solución propuesta habitualmente en viaductos existen muchos interrogantes acerca de su verdadera funcionalidad, debido a su limitada altura, impuesta por condicionantes aerodinámicos. Así mismo, la directriz curva con la que se ha diseñado dicha

pantalla, tratando de buscar algún alivio en cuanto a cargas aerodinámicas, ha demostrado presentar más inconvenientes que ventajas, resultando que en la práctica real no se aplica dicho diseño, sino uno más convencional, de directriz recta y basado en el diseño de las pantallas acústicas.

Recientes publicaciones relativas a este problema, como la monografía del CEDEX titulada “*Estudio de las medidas correctoras para reducir las colisiones de aves con ferrocarriles de alta velocidad*”, han sugerido nuevos tipos de tipologías de pantalla anticolidión en viaductos, basados en la implantación de secciones tubulares exentas equiespaciadas. Esta tipología permitiría reducir las acciones que sobre la estructura del viaducto ejerce el viento al incidir sobre la pantalla, debido a su mayor permeabilidad. Por esta razón, podría aumentarse significativamente la altura de la misma, con lo que se ganaría claramente en funcionalidad.

Existe una experiencia documentada con un sistema basado en este principio descrito anteriormente, en uno de los puentes de la State Road A-1-A, en el Sebastian Inlet State Park, Melbourne Beach Florida (EE.UU.), en la que se probó con determinado tipo de aves acuáticas. El éxito documentado de esta iniciativa ha servido como inspiración para el nacimiento de la idea de buscar un diseño similar aplicado al caso de viaductos de ferrocarriles de alta velocidad, teniendo en cuenta la fauna local de España.



Figura 3. Solución efectiva de pantalla anticolidión basada en tubos exentos instalada con éxito en uno de los puentes de la State Road A-1-A, en el Sebastian Inlet State Park, Melbourne Beach Florida, EE.UU. (2002).

Fuente: Alice M. Bard, Florida Park Service

Resulta evidente, por tanto, que existe la posibilidad de desarrollar un diseño de pantalla anticolidión basado en el concepto ya probado en Florida de tubos exentos. Por otra parte, parece también evidente que existe un vacío metodológico en la determinación de las medidas de protección de la avifauna óptimas para cada caso, el cual es causado por la falta de estudios específicos.

Con este marco de trabajo, en 2009 se constituyó un grupo de trabajo en ADIF con el objetivo de abordar esta temática desde varios puntos de vista para tratar de mejorar el diseño de las pantallas anticolidión que se venían implementando en las líneas de alta velocidad. Dicho grupo se denominó *Equipo de Iniciativa y Mejora (EIM) Impacto Cero*, y sus trabajos quedaron plasmados en una documentación interna que ha servido de base para la redacción de este artículo.

2 ESTADO DEL ARTE

Como fase inicial de los trabajos asociados al estudio, se ha procedido a una revisión bibliográfica y documental de la información existente relativa a la problemática de la avifauna en líneas de ferrocarril, a nivel nacional e internacional. En especial se revisaron aquellos documentos publicados con posterioridad a la revisión realizada en la monografía del CEDEX (Rodríguez Sánchez *et al.*, 2008).

La información de mayor interés recopilada es la referida a los siguientes aspectos:

- Ingeniería de medidas correctoras, en especial según condicionantes técnicos, estructurales y de seguridad (limitaciones altura, efecto túnel, visibilidad máquinas...).
- Ubicación de medidas correctoras.
- Evaluación de la efectividad de las medidas para evitar los atropellos.
- Mortalidad e impactos de avifauna en infraestructuras ferroviarias.

Tras la revisión, cabe destacar que aún son escasos los trabajos y referencias recientes sobre la problemática de las líneas de ferrocarril sobre las aves, así como los relativos a la aplicación de nuevas medidas correctoras o la evaluación de la efectividad de las mismas. Los datos consultados han permitido obtener información más amplia sobre las especies afectadas respecto a revisiones previas así como confirmar la importancia del impacto de los ferrocarriles sobre algunas poblaciones de aves, particularmente rapaces.

Destacan los nuevos datos sobre mortalidad obtenidos durante los seguimientos realizados por SEO/BirdLife en líneas de alta velocidad españolas en explotación (SEO/BirdLife, 2008; 2009c; 2009b; 2009a), así como la revisión realizada por la Autoridad Federal de Ferrocarriles alemana, EBA, (Roll, 2004), donde además se aportan interesantes datos sobre otros estudios. También se han encontrado otras referencias sobre mortalidad de otros grupos de fauna en ferrocarriles, como los mamíferos .

En lo relativo a propuestas de medidas correctoras o evaluación de las mismas, apenas se han encontrado nuevas referencias. Destacar los resultados de los seguimientos de medidas realizados en la Línea de Alta Velocidad (LAV) Córdoba-Málaga (Minuartia, 2009), una nota relativa al mantenimiento de la efectividad de barreras de postes exentos tras varios años de utilización (Chancellor, 2009) y otra referencia que constata el incremento del riesgo de atropello para aves que supone la presencia de setos y árboles en proximidades de vías de comunicación (Orlowski, 2008).

Igualmente son de interés los nuevos *Documentos para reducir la fragmentación de hábitats causada por infraestructuras de transporte*, publicados por el MARM (Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, 2008; 2010). Ante la falta de estudios específicos de medidas correctoras también se ha profundizado en el análisis de aquellas características de la avifauna que pueden influir en la efectividad de las medidas correctoras, como los relativos al tipo de vuelo (estudios de Rayner, Janss, DeVault y Smallwood) y capacidad visual para la detección de objetos (estudios de Bhagavatula y Blackwell), de claro interés para valorar la probabilidad de colisión inherente a cada tipología de avifauna.

2.1 Seguimiento en LAV relativas a colisiones y atropellos.

Se está llevando a cabo por parte de ADIF en tramos en explotación. Hasta el momento, este tipo de seguimiento se ha realizado durante un período de tres años en el tramo Madrid-Toledo (entre 2007 y 2009), y en la actualidad se encuentra en curso en los tramos Madrid-Segovia, Segovia-Valladolid, Córdoba-Málaga, Lleida-Martorell, Gelida-Castellbisbal y Ramal Ferroviario del Llobregat.

Con carácter general, en los seguimientos son objeto de control los siguientes aspectos: colisión de avifauna con el cerramiento definitivo y la catenaria, atropellos producidos por el tren, y electrocución con la catenaria y otros elementos eléctricos. Asimismo, en determinados tramos se abordan aspectos de control más particulares: afección a avifauna y formación de dormideros en el entorno de las subestaciones, control de colisiones y comportamiento de avifauna en viaductos con pantallas y caballones de tierras.

El seguimiento de cada tramo tiene una duración de tres años, con un mínimo de dos campañas anuales. La metodología empleada incluye la búsqueda de cadáveres a lo largo de los tramos de estudio mediante la realización de transectos lineales a pie por el interior del cerramiento (con compañía de pilotos de vía) y en vehículo a velocidad reducida por el exterior de cerramiento; censos de aves en el entorno del trazado con el fin de estimar la relación entre abundancia y diversidad de aves con la aparición de ejemplares muertos en la LAV; red de estaciones de observación desde donde se analizan tendencias de aves a posarse sobre los elementos de electrificación y patrones de cruce de especies.

Por último, cabe destacar el seguimiento que se está realizando en el tramo Cáceres-Mérida, estando aún el ferrocarril en construcción. El ámbito es la ZEPA “Llanos de Cáceres y Sierra de Fuentes” y los objetivos son: caracterización de los cerramientos presentes localizando posibles impactos de aves y posteriormente compararlos con el cerramiento provisional de la línea de alta velocidad del tramo Cáceres-Mérida; detección de atropellos de avifauna en las carreteras próximas localizando especies susceptibles a los atropellos así como fechas más críticas. Posteriormente serán comparados dichos datos con los obtenidos con la línea en servicio.

2.2 Inventario de pantallas en servicio en las LAVs.

Este “*Inventario de Pantallas Anticolisión y Acústicas instaladas en Líneas de Alta Velocidad*”, se elabora desde julio de 2009 por parte de ADIF con el fin de disponer de un registro de las barreras situadas a ambos márgenes del trazado susceptibles de causar la mortalidad de las aves por colisión contra ellas (principalmente pantallas acústicas transparentes) y cumplir una función preventiva evitando el atropello de las aves por parte del tren en circulación (pantallas anticolisión propiamente dichas y pantallas acústicas opacas).

Aunque las pantallas acústicas no están directamente relacionadas con la avifauna, éstas se incorporan al inventario realizado por sus posibles efectos sobre la misma; ya sea por la mortalidad de aves provocada por las pantallas transparentes, como por el desvío de la trayectoria de vuelo que provocan las pantallas de materiales opacos, que evitan el paso de las aves por la zona de riesgo de atropello por parte del tren.

3 ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL Y LOS CONDICIONANTES

3.1 Resultados del análisis documental y de seguimiento

Se presentan, de forma resumida, los principales resultados del análisis de información, y que permiten abordar con una visión global y fundamentada técnica y científicamente, de la problemática expuesta.

3.1.1 Análisis de las medidas correctoras existentes

Hasta la fecha se han aplicado diversos tipos de medidas correctoras con el fin de evitar la mortalidad de aves por atropello en líneas de ferrocarril. Las principales ventajas e inconvenientes de las principales medidas son las siguientes:

1. **Pantallas:** Han de tener altura mínima de entre 3 y 4 m., lo que limita su efectividad, y si tuviesen alturas mayores podrían provocar riesgos en la seguridad de los trenes, o

requerirían cimentaciones que encarecerían mucho su instalación y dificultarían su ejecución. Suelen producir elevada intrusión visual y se realizan en múltiples materiales (hormigón, policarbonato, vidrio, metal), presentando cada uno ventajas e inconvenientes según las ubicaciones y funcionalidades requeridas en cada caso

2. **Postes.** Constituyen la nueva línea de trabajo a desarrollar, escasamente implantada, aunque resultan soluciones ligeras, baratas, sencillas, fáciles de instalar y de reponer y con bajo mantenimiento. Tienen un impacto visual mucho menor que las pantallas opacas clásicas. Se plantean como soluciones para viaductos y terraplenes, siempre y cuando no sea necesaria una pantalla antirruido.
3. **Caballones de tierra.** Idóneos para pequeños terraplenes y desmontes de menos de 5 m., debiendo llegar a una altura mínima de 4 ó 5 m sobre el plano de rodadura para que sean efectivas. Se han de compactar y revegetar con especies que no sean atractivas para las aves o su efecto sería contraproducente. Se integran muy bien en el paisaje y reducen el impacto visual del ferrocarril, aunque pueden llegar a necesitar el incremento de las expropiaciones necesarias y excedentes de tierras para su construcción.
4. **Pantallas vegetales.** Tienen el inconveniente de que incrementan las expropiaciones y se consideran en general desaconsejables por sus escasas ventajas y muchas desventajas: efecto de atracción sobre las aves, costes de mantenimiento y riesgos de incendio, aunque también actúan como medida de integración paisajística.
5. **Vallados.** No existe constancia de su efectividad y requiere de adaptaciones específicas para aumentar la altura del mismo y su detectabilidad por parte de las aves. No obstante, la señalización del cerramiento (para aumentar su visibilidad y efecto de pantalla) puede resultar útil como medida complementaria de protección en aquellos tramos en ligera trinchera donde la altura del mismo es suficiente para alcanzar la cobertura de la infraestructura necesaria.
6. **Redes y cables.** son aptas para emplearlas en pequeñas superficies como aberturas en estructuras, tapando huecos y consecuentemente reduciendo la presencia y exposición al riesgo de atropellos de muchas especies comunes (palomas, gorriones, aviones y golondrinas). Adicionalmente presentan problemas de visibilidad para las aves y un elevado coste si se pretende tratar con ellas superficies amplias.
7. **Dispositivos de señalización y disuasores.** Algunos dispositivos de señalización tienen eficacia al aumentar la visibilidad de ciertos elementos de la catenaria, aunque en general los dispositivos disuasores, como las señales luminosas, el láser, los emisores de UV o las señales acústicas han sido escasamente efectivos y pueden producir molestias en las personas y fauna próxima.
8. **Medidas preventivas de gestión del entorno.** Su objetivo es eliminar elementos que pueden ser atractivos para la fauna (fuentes de alimento, refugio o nidificación). Tienen coste elevado, aunque pueden ser rentables a medio o largo plazo. Su efectividad es elevada, especialmente cuando se emplean herbicidas y se complementa el tratamiento con la eliminación de plantas. Entre las opciones de mayor interés destaca el control de la vegetación, control de poblaciones de fauna (insectos, micromamíferos y conejos) y especialmente la eliminación de los cadáveres.

3.1.2 Mortalidad e impactos

Existen tres cuestiones fundamentales a la hora de analizar la problemática de mortalidad de aves por atropello en LAVs:

- a) Riesgos para la circulación.
- b) Impacto ecológico y valor de conservación de las especies afectadas.
- c) Costes añadidos para el explotador de las líneas.

En el caso particular de las LAVs, la mortalidad directa es uno de los principales riesgos para la avifauna y su importancia relativa (en términos de atropellos por km) es mucho mayor que en líneas convencionales de ferrocarril o en carreteras (Roll, 2004; Rodríguez Sánchez *et al.*, 2008).

En relación a los costes añadidos hay que tener en consideración tanto la inversión en medidas preventivas y correctoras (en su mayor parte contempladas dentro de las fases de planificación, proyecto y construcción), como los costes de mantenimiento de la explotación (retirada de cadáveres, reparación de equipos...), retrasos y paradas de los convoyes o la devolución de billetes y reservas debidos a estas incidencias (Rodríguez Sánchez *et al.*, 2008).

Los riesgos para la circulación que suponen los atropellos están relacionados fundamentalmente con el peso y la densidad de las especies implicadas, además de la velocidad del choque. Por ello, en aves, los riesgos para la circulación son menores que los generados por otros grupos faunísticos, como los mamíferos, entre los que se incluyen especies de tamaño mediano y grande (corzo, jabalí...). A pesar de ello, en la avifauna española hay varias especies de tamaño mediano a grande que incluso pueden superar los 5 kg de peso (hasta 9,6 kg de peso medio), como buitres negro y leonado o la avutarda común, siendo capaces de producir daños importantes al material rodante en caso de colisión, aunque los casos de incidentes con estas especies son, de manera general, infrecuentes.

Sirva como ejemplo de los riesgos y costes de esta problemática el reciente caso de atropello masivo de un bando de buitres leonados, recogido por la prensa nacional (Maillo, 2009), y que supuso la detención y el traslado de viajeros de un convoy de la línea Madrid-Barcelona que tuvo que ser detenido debido a los daños producidos sobre la cabina en el choque, con el consecuente perjuicio económico añadido. Aunque este tipo de incidentes tan graves no son habituales, ponen manifiesto que los riesgos sobre la circulación es otro factor a considerar.

Estimas de mortalidad

Los estudios de mortalidad de fauna o avifauna en líneas de ferrocarril realizados hasta la fecha, aunque no siempre son directamente comparables, por haberse realizado en diferentes ámbitos y con distintas metodologías, ponen de manifiesto que, en general las tasas de mortalidad detectadas en LAVs, con valores entre 1 y 5,7 aves/km/mes (12 y 61 aves/km/año, respectivamente⁵) (Czajkowski y Thauront, 1990), son mayores que en las líneas de velocidad convencional (con mortalidades anuales de entre 0,29 y 20 aves/km/año) (Havlin, 1987,SCV, 1996)(Tabla). Los resultados de los trabajos de vigilancia ambiental y seguimiento en LAVs en explotación realizados por ADIF en España durante los últimos años (SEO/BirdLife, 2008; 2009c), apuntan en este mismo sentido, ofreciendo valores de mortalidad globales incluso superiores a los observados en trabajos anteriores, entre 9,5 y 39 aves/km/mes (Tabla).

No obstante, a la hora de valorar estos resultados hay que señalar que estos últimos estudios no han abarcado todo el ciclo anual sino que se han centrado durante el periodo estival y/o primavera, cuando habitualmente se producen un mayor número de atropellos debido a la presencia de aves jóvenes e inexpertas (Havlin, 1987; SEO/BirdLife, 1997; Frías, 1999).

⁵Estimaciones según la metodología particular de cada estudio.

Tabla 1. Estudios de mortalidad de aves por colisión en líneas de ferrocarril. Fuente: Elaboración propia a partir de Roll (2004). * Extrapolaciones.

Referencia	Havlin (1987)	Jöhnk (2001)	Baldauf (1988)	Lösekrug (1982)		SCV (1996)		Czajkowski y Thauron (1990)	Pons (1994)	Menz (2003)	SEO/BirdLife (2008)	SEO / BirdLife (2009a)	SEO/ BirdLife (2009b)	SEO/ BirdLife (2009c)
País (Tramo)	Checoslovaquia	Alemania	Alemania	Alemania		España		Francia	Francia	Alemania	España (Madrid-Toledo)	España (Madrid-Toledo)	España (Albí - Montblanc y Perafort - Roda de Bará)	España (Gélida-Llobregat)
Longitud investigada	314 km	15 km	17 km	12,5 km	9,5 km	332 km	0,4 km		12 km	6,7 km	20,4 km	20,4 km	8,4 y 8,9	10
Velocidad de tránsito			60 km/h	100-140	160 km/h	Hasta 140 km/h	250 km/h	> 200 km/H	>200 km/h	200 km/h (unos 120 o 160 km / h)	> 250 km/H	> 250 km/H	> 250 km/H	> 250 km/H
Electrificación de la vía	No		No, pero tramo paralelo de líneas de transmisión	Sí			Sí	Sí	Sí	Si	Si	Si	Sí	Sí
Duración de la investigación	5 años	5 años	8 años	3 semestres		5 años			1 semestre	70 días	6 meses	3 meses	3 meses	3 meses
Época de estudio	Todo el año	Todo el año		Invierno		Todo el año			Verano	Abril-Diciembre	Junio-Diciembre	Mayo-agosto	Mayo-agosto	Mayo-agosto
Nº Colisiones (aves)											219	69	33+39=72	138
Colisiones (aves)/km/mes								1-5	3,4		15	9,5	11-12,4	39,05
Colisiones (aves)/km/año	0,29	2,6	7,7	9,8	11,6	20*	50,6*	12-60	38,2	61				

Causas de mortalidad

La mortalidad de aves en líneas de ferrocarril se puede producir por colisión o atropello por el material rodante, por colisión con los elementos de la catenaria o con el vallado de cerramiento o por electrocución por contacto con elementos de la infraestructura. De todas ellas, la que mayor número de muertes produce son sin duda los atropellos con el material rodante (Roll, 2004; Rodríguez Sánchez *et al.*, 2008). Respecto al resto de las causas de mortalidad, su importancia global sobre las poblaciones de aves es mucho menor, si bien pueden afectar a algunos grupos de aves particularmente sensibles, como la electrocución en rapaces (diurnas y nocturnas).

Factores que influyen en los atropellos de aves

La probabilidad de ocurrencia de atropellos de aves y, consecuentemente, su distribución y frecuencia, está determinado por factores de riesgos diversos que, a grandes rasgos, se pueden agrupar en aquellos asociados a las infraestructuras y en otros relacionados con las poblaciones de aves afectadas (véase revisión en Rodríguez Sánchez *et al.*, 2008)

Entre los condicionantes de la infraestructura se pueden destacar las características del trazado de la línea, la velocidad y la intensidad del tráfico. Existe un consenso generalizado sobre la mayor peligrosidad de los tramos que discurren elevados sobre el terreno circundante (terraplenes, viaductos). Por otro lado existe una relación directa entre la intensidad del tráfico y el número atropellos, al igual que ocurre con la velocidad. En el caso de las LAVs, donde se superan los 200-300 km/h, puede ser uno de los factores más determinantes de las altas tasas de mortalidad observadas en comparación con las líneas de ferrocarril convencionales

En cuanto a los factores de riesgo relacionados con las poblaciones de aves, los más importantes son la distribución y abundancia de las mismas en las proximidades de las vías, ambos muy relacionados con la idoneidad y disponibilidad de sus hábitats en el entorno de la infraestructura; y algunos aspectos de la biología y el comportamiento de las aves. En general se producen más atropellos de aves en los tramos donde la densidad de sus poblaciones es más elevada. La propia estructura y distribución de los hábitats también determinan las rutas que realizan en sus movimientos habituales o migratorios, y donde aumenta el riesgo de atropellos. Además, la morfología y comportamiento de las distintas especies también influyen sobre la probabilidad de colisión de cada grupo de aves.

Grupos y especies de aves afectadas

De las aproximadamente 340 especies de aves presentes de forma habitual en España se han registrado muertes en líneas de ferrocarril en al menos 92 de ellas (27%), correspondientes a 16 órdenes diferentes, según se ha constatado en diversos estudios de mortalidad realizados en el ámbito europeo (Havlin, 1987; SCV, 1996; SEO/BirdLife, 1997). El número de especies reconocidas que han aparecido muertas en los estudios realizados en LAVs (SEO/BirdLife, 2008; 2009b; 2009c; 2009a) se reduce a 61 (18%). Sin embargo, no todas las especies o grupos de especies (órdenes, familias) son igualmente sensibles a los impactos de mortalidad en las líneas de ferrocarril (Rodríguez Sánchez *et al.*, 2008). En la Figura 4 se presentan los valores medios de mortalidad de los diferentes órdenes de aves (expresados como porcentaje de víctimas dentro del grupo aves) encontrados en diferentes estudios y seguimientos realizados tanto en líneas de ferrocarril convencionales como de alta velocidad.

Según los grupos de especies, los Passeriformes es el más afectado, con valores por encima del 20 o el 30% de las víctimas de media en los diferentes tipos de líneas de ferrocarril estudiadas (hasta el 80% en algún estudio). Dentro de este amplio y heterogéneo grupo de aves las más afectadas son aquellas de entornos urbanos, destacando gorrones, córvidos, estorninos,

fringílidos e hirundínidos (aviones y golondrinas). El segundo grupo por relevancia global, y particularmente en las LAV, lo constituyen las palomas y tórtolas (Columbiformes), también muy comunes en entornos urbanos y humanizados. Otro grupo de aves comunes y que frecuentemente mueren atropelladas son las Galliformes, como la perdiz roja.

Por el contrario, el impacto de las líneas de ferrocarril sobre otros grupos de aves más sensibles, que presentan poblaciones más reducidas y aisladas, puede ser mucho más importante pese a que, cuantitativamente, su importancia relativa en cuanto al porcentaje total de aves afectadas sea bajo. Este es el caso de rapaces, tanto diurnas (Accipritiformes) como nocturnas (Strigiformes), que pueden llegar a sufrir mortalidades relativamente elevadas. No obstante, cabe señalar la baja incidencia observada sobre estos grupos de aves en los estudios encargados por ADIF en las LAVs españolas en explotación, en comparación con otros estudios, particularmente los realizados en líneas de ferrocarril convencionales, aunque los factores que determinan estas diferencias no están claros.

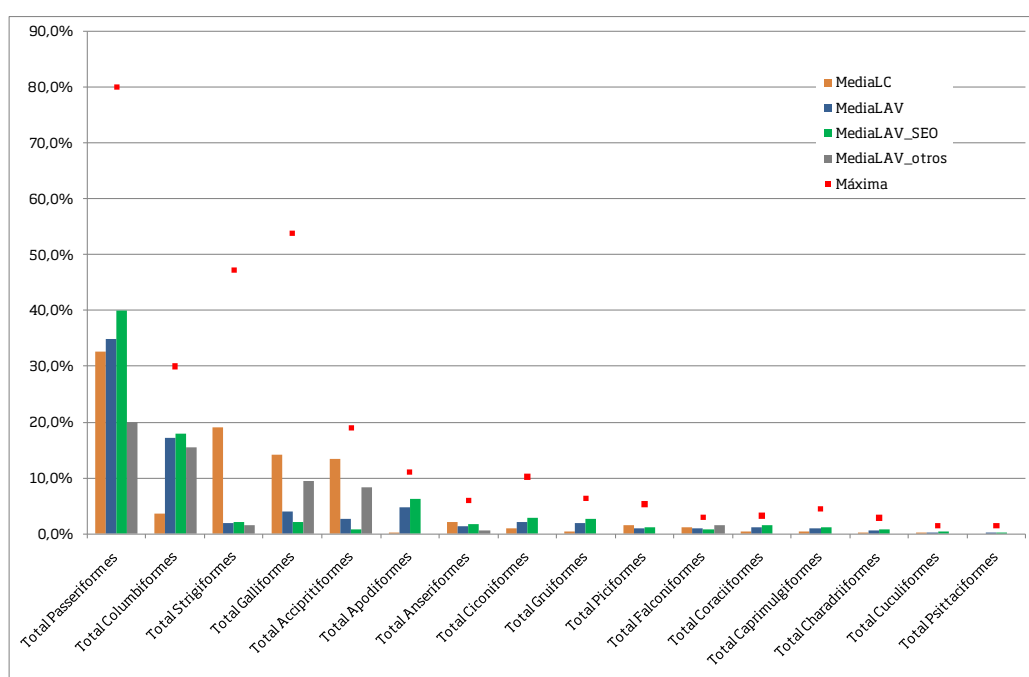


Figura 4. Importancia relativa de los diferentes órdenes de aves en los estudios sobre mortalidad realizados en líneas de ferrocarril. MediaLC: valor medio de representatividad en líneas convencionales; MediaLAV: ídem en líneas de alta velocidad; Media LAV_SEO: ídem en los estudios realizados por SEO/BirdLife; Media LAV_otros: ídem en otros estudios; Máxima: valor máximo de mortalidad relativa registrado en todos los estudios. Fuente: elaboración propia.

Otros grupos de aves que mueren en las líneas de ferrocarril, en ocasiones de forma significativa, son las ligadas a medios acuáticos. Entre ellas se incluyen especies comunes, como el ánade azulón (Anseriformes) o la gallineta común (Gruiformes) pero también se pueden producir bajas de especies amenazadas, como la cigüeña negra (Ciconidae). Lo mismo ocurre con las aves de medios abiertos y esteparios, entre los que destacan algunas especies de interés de conservación, como el sisón común y la avutarda común, ambos Gruiformes, o el alcaraván, Charadriiforme.

Por tanto, la mayoría de las víctimas son de especies comunes, por lo que el impacto a nivel de sus poblaciones no será, en estos casos, muy significativo. Según el análisis realizado por los datos de accidentabilidad en LAVs de ADIF, para un total de 441 ejemplares reconocibles, son escasos los ejemplares con un valor de conservación alto (el 2%), no habiéndose detectado atropellos con especies de valor de conservación muy alto

Tabla 2. Especies con mayor mortalidad detectados en las L.A.V.s de ADIF (SEO/BirdLife, 2008; 2009c; 2009b; 2009a)

Especie	Nombre científico	Orden	Total de ejemplares
Paloma bravía /doméstica	<i>Columba livia</i>	Columbiformes	66
Gorrión común	<i>Passer domesticus</i>	Passeriformes	53
Paloma torcaz	<i>Columba palumbus</i>	Columbiformes	39
Urraca	<i>Pica pica</i>	Passeriformes	23
Estornino negro	<i>Sturnus unicolor</i>	Passeriformes	23
Golondrina común	<i>Hirundo rustica</i>	Passeriformes	19
Gallineta común	<i>Gallinula chloropus</i>	Gruiformes	18
Gorrión molinero	<i>Passer montanus</i>	Passeriformes	17
Vencejos	<i>Apus apus</i> y <i>Apus sp.</i>	Apodiformes	28

3.1.3 Análisis del riesgo de colisión

Con el fin de poder analizar la influencia de todos los factores que se han comprobado que afectan a la problemática de las colisiones se ha desarrollado una Base de Datos sobre Avifauna (BDA) en la que se recopilan los principales parámetros poblacionales, biométricos y comportamentales de las aproximadamente 340 especies de aves que ocurren en España, así como su valoración en términos de valor de conservación, riesgo potenciales de producir daños materiales y probabilidad teórica de colisión o atropello. Las variables que se han analizado se corresponden básicamente con los siguientes aspectos (Figura 5):

- **Selección y clasificación de especies objetivo** para el estudio (340 especies)
- Asignación del **Valor de conservación** para cada especie, con arreglo a categorías asignadas en el Libro Rojo de las aves de España, Catálogo Nacional de Especies Amenazadas, *Directiva 2009/147/CE relativa a la conservación de las aves silvestres*; Ley 42/2007, de Patrimonio Natural y Biodiversidad.
- Obtención de **datos biométricos**: longitud, envergadura y pesos (máximos, mínimos y medios), e identificación de especies gregarias en su comportamiento. Estos parámetros son claves para la determinación del riesgo de potenciales daños por colisión así como para algunos aspectos del diseño de medidas correctoras.
- Determinación del **Riesgo teórico de potenciales daños por colisión**, entendido como “riesgo de generación de daños al material rodante” a partir de los pesos máximos para cada especie y gregarismo de la misma. Se tienen como referencia los trabajos similares realizados en el sector aeronáutico (MacKinnon, 2004) y los criterios de certificación de la resistencia a impactos de los materiales ferroviarios como los establecidos en la ficha “UIC Code 651. *Layout of driver'scabs in locomotives, railcars, multiple-unittrains and drivingtrailers*”.
- Cálculo de la **Probabilidad teórica de colisión** de cada especie, centrada en 3 grandes aspectos:
 - a) Distribución y abundancia de las especies.
 - b) Utilización del ámbito ferroviario por patrones alimenticios, de reproducción y descanso de las especies.
 - c) Comportamiento de vuelo de las especies

Adicionalmente al análisis teórico de los condicionantes, se ha realizado el cotejo de los datos obtenidos con los relativos la accidentabilidad de especies tanto en LAVs como en líneas convencionales. De manera general, cabe destacar la utilidad de la información

contenida en la base de datos para realizar valoraciones sobre la avifauna afectada o potencialmente afectada, observándose que existe una buena correlación entre las valoraciones teóricas de la probabilidad de colisión de cada especie y los datos reales de mortalidad..

ESPECIES, GRUPOS DE ESPECIES Y HÁBITATS

22 Órdenes, 76 Familias, 600 Especies

Selección de especies frecuentes: 342

Agrícola	Estepario	Forestal	Arbustivo	Acuático	Rupícola	Urbano	Alpino	Marino
49	17	77	11	110	18	11	13	36
Medios agrícolas								

VALOR DE CONSERVACIÓN

LIBRO ROJO DE LAS AVES (2004)

CATÁLOGO NACIONAL ESPECIES AMENAZADAS (MARM, 2009)

DIRECTIVA DE AVES (2009/147/CE) /
LEY BIODIVERSIDAD

Valor de conservación = Valor LRojo + Valor CNEA + Valor Dir Aves

VC Muy Alto	30
VC Alto	29 - 20
VC Medio	19 - 10
VC Bajo	9 - 1
VC Nulo	0

CR	10
PE	10
VU	7
NT	5
LC	3
DD	1
NA	0

PE	10
SAH	8,5
VU	7
IE	5

Anexo I 10

RIESGO POTENCIAL DAÑO POR COLISIÓN

Riesgo de colisión según peso y comportamiento gregario de las aves

Nivel de riesgo	Características	Especies representativas
1	Muy grande (>1,8 kg), gregaria	Gansos, grullas, cormoranes
2	Muy grande (>1,8 kg), solitaria o Grande (1-1,8 kg), gregaria	Águila real, Anade real, Gaviota sombría
3	Grande (1-1,8 kg), solitaria o Mediana (300-1.000 g), gregaria	Azor común, perdiz roja, gallineta común, paloma bravía
4	Mediana (300-1.000 g), solitaria o pequeño (50 - 300 g), gregaria	Aguliucho lagunero, urraca, estorninos
5	Pequeño (50-300 g), solitaria o Muy pequeño (<50 g), gregaria	Cernícalo vulgar, mochuelo común, vencejo común, golondrina común, gorrión común
6	Muy pequeño (<50 g), solitaria	Ruisenor común, curruca cabecinegra

RC Muy Alto	> 1,8 kg, Greg.
RC Alto	1,8 - 1,0 kg, Greg. > 1,8 kg, Solit.
RC Medio	1,0 - 0,3 kg, Greg. 1,8 - 1,0 kg, Solit.
RC Medio Bajo	0,3 - 0,05 kg, Greg. 1,0 - 0,3 kg, Solit.
RC Bajo	< 0,05 kg, Greg. 0,3 - 0,05 kg, Solit.
RC Muy Bajo	< 0,05 kg, Solit.

RIESGO DE ELECTROCUCIÓN POR ENVERGADURA

Muy Alto:	Env. > 140 cm.
Alto:	Env. de 100 a 140 cm.
Medio:	Env. de 60 a 100 cm.
Bajo:	Env. < 60 cm.

PROBABILIDAD DE COLISIÓN

Distribución y Abundancia (Status)

Residentes
Estivales
Migrantes
Residentes escasos
Estivales, Invernantes escasos
Migrantes escasos

Alimentación: proximidad a la vía

Insectos voladores, Micromamíferos, Lagomorfos, Aves Pequeñas, Semillas, Carroña
Insectos en praderas y bordes de agua, Granos de cultivos, Basura
Insectos en árboles, Lombrices, Veg. e Insectos acuáticos, Hierba, Bayas, Peces, Anfíbios
Perchas y postes
Carroñeros, oportunistas
Insectívoros aéreos
Depredadores en vías
Granívoros en vías

Comportamientos de vuelo

Voladores de corta distancia, Buceadores, nadadores
No Especialistas rápidos, Cazadores aéreos
No especialistas lentos, planeadoras, cazadoras
Planeadoras marinas, Sustentadores

Accidentabilidad con líneas

INFORMES ADIF:
59 especies

Figura 5. Esquema-resumen del análisis de especies de avifauna, grupos de especies y hábitats, y su valoración según estado de conservación y riesgos y probabilidades de atropello en líneas de ferrocarril.

3.1.4 Análisis de tramos de concentración de accidentes (TCA)

Un aspecto fundamental en el que no se había profundizado hasta la fecha es el análisis de aquellos tramos o sectores donde se producen mortalidades significativas, denominados “Tramos de concentración de atropellos” (TCA), y que requieren una atención prioritaria tanto desde el punto de vista del análisis sus características como de cara a la propuesta de medidas correctoras. Para tal fin, se ha aplicado y ajustado la metodología recomendada en las “Prescripciones técnicas para el seguimiento y evaluación de la efectividad de las medidas correctoras del efecto barrera de las infraestructuras de transporte” (Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, 2008) a los resultados seguimiento de los atropellos de aves en LAVs encargados por ADIF. Los análisis preliminares de los datos de seguimiento han ofrecido unos resultados variables entre tramos y entre años en lo relativo al número de atropellos y, consecuentemente, en los umbrales que determinan los TCAs, que oscilaron entre las 3 y las 10 aves atropelladas / 400 m, entre otros resultados de interés.

De manera general, estos resultados demuestran la utilidad de la metodología propuesta para la detección de TCAs a partir de los trabajos de seguimiento realizados en las líneas en explotación. Además del interés intrínseco del conocimiento de la ubicación de estos sectores conflictivos de cara a la aplicación de medidas correctoras, el análisis pormenorizado de las características de estos TCAs es de gran interés para comprender mejor los factores ecológicos y técnicos determinantes de la problemática de los atropellos de aves. En este sentido, de cara a futuros trabajos de seguimiento de mortalidad se debería generalizar el estudio de TCAs, particularizando los análisis para los principales grupos de aves y los posibles factores que determinen su presencia.

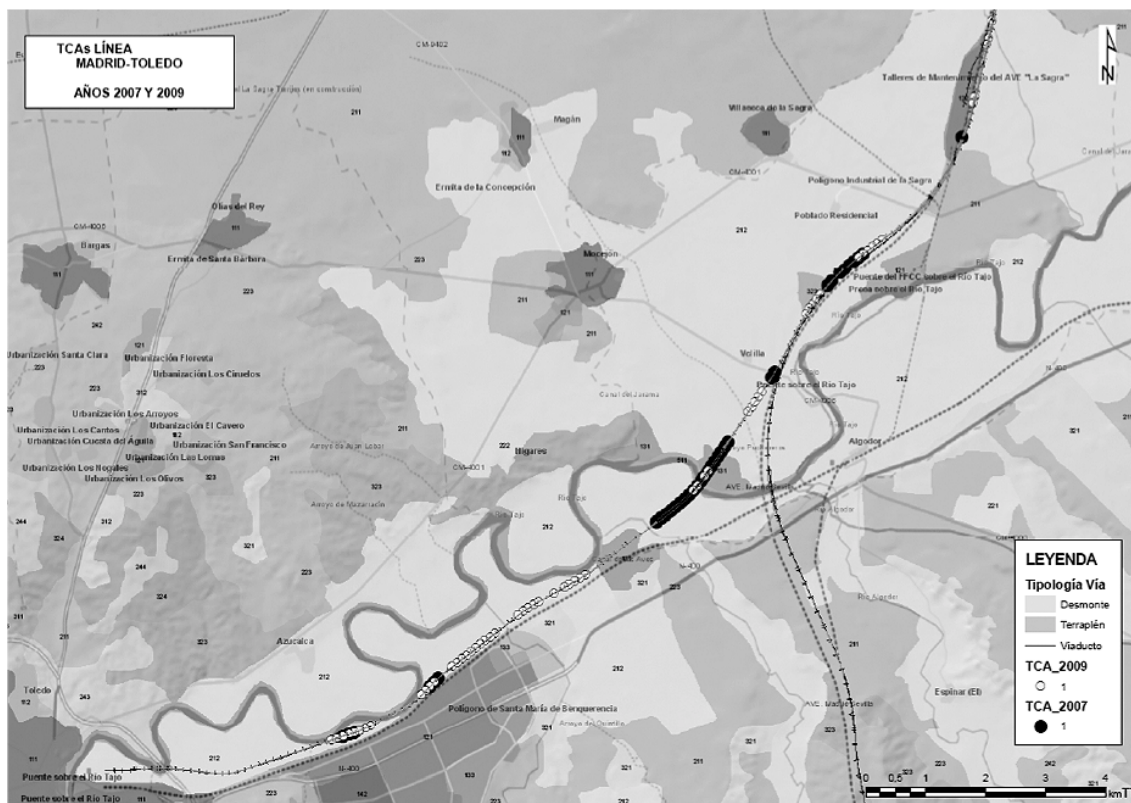


Figura 6. Análisis de tramos de concentración de accidentes (TCA) para la línea Madrid – Toledo, en base a datos de accidentabilidad de años 2007 y 2009

3.2 Condicionantes ambientales

Una de las novedosas aportaciones para la definición de los objetivos, diseño y umbrales de efectividad de las medidas correctoras para minimizar los riesgos de atropello de la avifauna es la determinación de las pautas en que permitan establecer para los proyectos los condicionantes ambientales claves, incluyendo las características y catalogación del hábitat y las especies afectadas por el trazado (y la aplicación del programa de seguimiento) (Ministerio de Medio Ambiente, 2006; Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, 2008). En este sentido es fundamental considerar que la legislación ampara específicamente tanto a espacios como a especies. Además, no todas las especies son igualmente relevantes en cuanto la problemática de las colisiones. En este contexto, el trazado de las infraestructuras deberá clasificarse en función de estas dos características, llegándose a la definición de tramos considerados de similar nivel de interés, a los que se aplicará un patrón de medidas homogéneo.

3.2.1 Grupos de aves de especial atención

En general, las especies o grupos taxonómicos de especial atención que se deben considerar en el análisis de los efectos de las infraestructuras sobre la fauna, y que determinarán la inclusión de mayores niveles de exigencia en la aplicación de medidas correctoras son:

- a) **Especies amenazadas o de particular interés de conservación en el área afectada por la infraestructura.** En este grupo se incluirán especies de valor de conservación alto o muy alto, considerado, de manera general, aquellas catalogadas como *Vulnerables*, *Sensibles a la Alteración de su Hábitat* o *En Peligro de Extinción* en el CNEA, o en categorías equivalentes en otros referentes normativos, especialmente los autonómicos; libros rojos; anexo I de la Directiva Aves y Anexo IV de la Ley 42/2007 de Patrimonio Natural y Biodiversidad. También se deberán incluir aquellas que cuenten con Planes de Conservación o de Recuperación aprobados.
- b) **Especies con elevado riesgo constatado de atropello en ferrocarriles y/o presenten una probabilidad teórica de colisión *Muy Alta* o *Alta*** en la Base de Datos de Avifauna en función de su estatus, comportamiento de vuelo y frecuencia de utilización del ámbito ferroviario.
- c) **Especies que pueden causar importantes riesgos para la seguridad de la circulación**, consideradas con riesgo de colisión *Muy alto* o *Alto* en la Base de Datos de Avifauna.

Para todas estas especies habrá que analizar detalladamente su distribución, sus hábitats y los requerimientos que afectan a sus movimientos con la finalidad de identificar aquellos sectores o zonas clave para sus desplazamientos y/o que pueden incidir notablemente en su mortalidad en líneas de ferrocarril.

3.2.2 Zonas de interés avifaunístico

En cuanto al valor o interés avifaunístico de las áreas afectadas por la LAV, será prioritaria la aplicación de medidas preventivas y correctoras para reducir la mortalidad de aves cuando sean afectadas por una línea de ferrocarril en aquellas áreas designadas como tales en función de las exigencias de la normativa o por su inclusión dentro de inventarios específicos de aves como:

- Zonas de Especial protección para las Aves (ZEPA) y Áreas Importantes para las Aves (IBA, según su acrónimo anglosajón),
- Humedales catalogados de Importancia Internacional (Ramsar),
- Zonas de concentración temporal de aves (áreas *lek* o cantaderos, colonias de cría,

áreas de invernada o de concentración post-reproductora, etc.)

- Zonas de importancia para las aves esteparias (ZIAE de Andalucía; “Hot spots” *sensu* Traba *et al.*, 2007...)
- Áreas incluidas en Planes de Conservación o de Recuperación de Especies Amenazadas.

Igualmente habrá que prestar una especial atención a aquellas zonas que constituyan corredores ecológicos o migratorios para las aves o sencillamente aquellos puntos que sean especialmente atractivos como fuentes de alimentación o descanso (p. e. muladares, vertederos....).

Teniendo en cuenta estos condicionantes se ha establecido una escala de **valoración de las áreas atravesados por las líneas férreas** que contienen las siguientes clases:

- 1) **Áreas de Valor Extraordinario:** entre las que se incluirán las correspondientes a espacios Red Natura 2000, Espacios Naturales Protegidos y áreas protegidas por instrumentos internacionales, o bien áreas que cuenten con la presencia de hábitats del Catálogo Español de Hábitats en peligro de desaparición o de especies incluidas en el **apartado a** de la clasificación anterior. En esta categoría se incluirán también aquellas otras zonas identificadas como corredores ecológicos para especies incluidas en dicho epígrafe. Así mismo se incluirán otras zonas que el EsIA valore como de muy elevado interés para mantener la integridad del territorio.
- 2) **Áreas de Valor Alto:** que presentan un grado de humanización relativamente bajo y/o ecosistemas caracterizados por tener una comunidad faunística rica, con abundancia media o alta de especies de interés de los **grupos b y c**. En esta categoría se incluirán también aquellas zonas identificadas como corredores ecológicos de interés regional.
- 3) **Áreas de Valor Medio:** correspondientes a zonas con un grado de humanización medio-bajo, cuya riqueza faunística sea intermedia y que cuenten con la presencia de especies identificadas en el apartado **c**, o con presencia puntual de especies del **apartado b**.
- 4) **Áreas de Valor Bajo:** que incluyen el resto del territorio del ámbito de estudio.

Esta clasificación se ha basado en las orientaciones establecidas en los documentos para reducir la fragmentación de hábitats del MARM ((Ministerio de Medio Ambiente, 2006; Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, 2008) pero se ha adaptado según la información analizada por el EIM, particularmente a los datos de mortalidad y los valores de conservación, riesgo de colisión y probabilidad de colisión incluidos en la “Base de Datos de Avifauna”.

3.3 Condicionantes técnicos

El estudio de los condicionantes técnicos engloba tanto al análisis de la estructura (secciones tipo), como de superestructura (principalmente la línea aérea de contacto), habiéndose analizado detalladamente los materiales y costes asociados a las pantallas de protección de aves, como la posible integración paisajística de los elementos de la estructura y superestructura.

3.3.1 Análisis de Secciones Tipo

La sección tipo de las líneas de alta velocidad en España viene definida en las *Instrucciones y Recomendaciones para la redacción de proyectos de Plataforma (IGP)*, documento editado y revisado periódicamente por el Administrador de Infraestructuras Ferroviarias. Los principales elementos que componen la sección tipo de plataforma, vienen definidos en las mencionadas IGP: terreno natural, capa de forma, subbalasto y balasto (u hormigón armado directamente

sobre la solera en caso de vía en placa), traviesas y carriles, postes de catenaria, canaletas para las instalaciones de señalización y comunicaciones; y cerramiento.

La implantación de pantallas u otros elementos de protección frente al impacto de la avifauna se adapta a cada caso:

1. Terraplén: Para evitar el impacto de la avifauna al paso del tren, cualquier elemento de protección se dispone en la cabeza del terraplén, junto a la base de los postes de catenaria y las canaletas de instalaciones. Pueden aparecer en este caso dificultades añadidas como son la cimentación o anclaje de las pantallas sobre una estructura de tierras y el poco espacio disponible.
2. Desmonte: En este caso, la infraestructura no supone directamente un obstáculo al desplazamiento de la avifauna. En caso de necesidad, la disposición de cualquier elemento de protección frente al choque de la avifauna se hace en la coronación del desmonte. También en este caso la cimentación o anclaje de la pantalla sobre una estructura de tierras en zona inestable puede resultar compleja.
3. Viaducto: Históricamente, es el caso considerado más problemático dado que la infraestructura aparece aquí como un potencial obstáculo frente a la avifauna en el entorno de valles más o menos abiertos y cursos fluviales por los que pudiera desplazarse. La implantación de la protección se hace mediante anclaje de los elementos sobre la solera del viaducto.

Las pantallas convencionales implantadas en los viaductos (protección de avifauna, antivandálicas y de protección acústica) presentan una resistencia al viento que es tomada en cuenta en el cálculo de la propia estructura, puesto que implica sobrecostes importantes debidos al aumento de la sección y del armado necesario.

Sin duda las soluciones de tubos exentos presentan menor resistencia al viento que las soluciones convencionales de pantalla opaca, por lo que la necesidad de refuerzo de la estructura por esta causa será sensiblemente menor. La optimización estructural de la sección tipo en caso de viaductos y la posibilidad de incrementar la altura de la protección para una sección tipo dada –y por consiguiente, aumentar el efecto de apantallamiento-, representan, pues, las mayores ventajas de la solución tubular frente a la solución convencional.

3.3.2 Línea aérea de contacto

Es la línea aérea de alimentación que transmite potencia eléctrica a las locomotoras o automotores que circulan por la línea, con tensiones de alimentación para la red de alta velocidad de 25 kV c.a. monofásica. El conjunto de instalaciones fijas que conforman el sistema de línea aérea de contacto o catenaria se compone de: estructuras de soporte, conductores, regulación de la tensión mecánica, protecciones y sistemas asociados

La línea aérea de contacto en tensión (conectada a la subestación) representa un riesgo desde el punto de vista de los trabajos de montaje y mantenimiento de la línea, debido a los altos voltajes que se manejan. Por otro lado, y de cara a compatibilizar la explotación de este subsistema con el resto, se definen una serie de distancias de aislamiento que deben ser respetadas en todo momento a la hora de ubicar cualquier elemento fijo o móvil. Estos aspectos es necesario tenerlos en cuenta a la hora de diseñar pantallas que se van a disponer cerca de la vía, ya sean estas anticolidión, antirruido o motivadas por cualquier otra causa. Las distancias de aislamiento para elementos en tensión con catenaria tipo EAC350 de 25 kVc.a. (sistema 2x25), sistema más comúnmente dispuesto en la actualidad, son de 300 mm.

3.3.3 Pantallas de protección de aves: materiales y costes

En LAV, se han utilizado diversas tipologías: hormigón armado, metálicas, de metacrilato, de

madera, postes exentos, caballones de tierra y pantallas vegetales; dado que está demostrada la conveniencia de contar con pantallas que eviten las colisiones con aves, debido a que puede producirse una mortandad de aves por atropello, electrocución o choque, sobre todo en aquellos lugares donde se concentra la actividad de estos animales o donde suelen volar a baja altura.

La opción más utilizada es la colocación de barreras o pantallas que obliguen a que éstas deban levantar el vuelo, y así evitar el atropello. Los materiales empleados se adaptan al emplazamiento en el que se disponen. En general, en el trazado de obras lineales se distinguen dos grandes grupos: tramos de traza en desmonte o terraplén, y tramos de traza situados en puntos singulares en los cuales la barrera se desarrolla sobre una estructura particular. Entre los materiales más empleados, destacan los siguientes:

1. **Pantallas opacas de hormigón armado.** Habitualmente utilizadas con funcionalidad acústica, están formadas por paños de hormigón, de entre 2,5 a 3 m de separación,. Como todas las opacas, tienen por principal inconveniente que deben ser capaces de soportar los esfuerzos debidos al viento en toda su magnitud, lo que obliga a sobredimensionar las estructuras de anclaje, aumentando considerablemente el coste de las mismas. Sus alturas alcanzan de 2 a 2,5 metros, siendo sus costes de 88 €/m².
2. **Pantallas opacas metálicas.** Similares a las anteriores, aunque cuando cumplen también con una función acústica, ésta se logra a través de paneles tipo sándwich,. Los espesores de los paneles, pueden variar desde 50 hasta 200 mm., siendo los más usados los de 80 mm. y 100 mm. El ancho útil del panel es de 1000 mm., siendo los bordes machihembrados para un perfecto ensamblaje. Su ancho oscila entre los 20 y los 60 cm., y su altura entre 1,50 a 3,00 m., siendo de 2,00 m. las más utilizadas. Sus costes varían según la tipología: 79 €/m² los de sección recta y 99 €/m² los de sección curva (con ventajas aerodinámicas si se disponen en viaducto).
3. **Pantallas opacas de madera.** Pantallas de tipología similar a las anteriores, aunque con el inconveniente de su alto coste de mantenimiento. Los paños están formados por dos hojas de lamas machihembradas de madera *Pinus sylvestris*, con cámara de aire rellena de material aislante en los casos en que cumplan la función adicional de aislamiento acústico. Permiten alcanzar alturas de 2 a 5 metros, con costes de 68 €/m². Existe una tipología de pantalla mixta de madera en la parte inferior y translúcida en la parte superior, con costes ligeramente superiores (78 €/m²).
4. **Pantallas translúcidas.** Las barreras transparentes se construyen habitualmente en metacrilato, aunque suponen un alto riesgo de colisión para las aves que no lo reconocen como una barrera y colisionan con ella. Presentan como inconveniente el importante efecto vela que generan, siendo sus costes variables entre los 79 €/m² de las de sección recta y los 99 €/m² de sección curva. La colocación de adhesivos en las barreras transparentes se ha venido utilizando desde hace unos años, aunque presenta una eficacia muy baja (las tradicionales siluetas de aves recientemente se ha empezado a sustituirlas por rayas verticales equidistantes, separadas entre 30 y 50 cm).
5. **Pantallas basadas en tubos exentos.** Se encuentran en etapa de estudio, dado que presentan ciertas ventajas frente a otras alternativas, aunque su inconveniente principal es que no actúan como barrera antirruído. Una de sus ventajas es que pueden dotarse de alturas suficientes (hasta 6 m.), para actuar incluso como protección de la colisión contra la catenaria. Pueden ser diseñadas con perfiles tubulares, requiriendo un adecuado anclaje, mediante cimentación de hormigón armado. Deberán colorearse de forma tal que exista cierto contraste con el entorno, para que las aves puedan distinguirlas. Los costes de implantación varían entre los 60 €/m² para el caso de pantallas tubulares de diseño recto y los 145 €/m² de pantallas con diseño curvo.
6. **Caballones de tierra.** Utilizadas en zonas de la plataforma que no presenten singularidades de estructuras de paso, están conformados por rellenos tipo terraplén,

extendidos y compactados. Suelen conllevar una cobertura de tierra vegetal de unos 30 cm de espesor. Su mayor inconveniente es el espacio físico que necesitan (8-12 metros de base para 2-3 metros de altura con taludes 2H/1V), así como posibilidad de generar problemáticas adicionales (asentamiento para conejos y otros tipos de roedores que permitan atraer a la avifauna).

7. **Pantallas vegetales.** Constituyen sistemas de protección anticolidión alternativos a los caballones de tierra, consistentes en la plantación de árboles y arbustos con determinadas características de altura y densidad del follaje, en las inmediaciones de la vía. Principalmente se utilizan árboles y arbustos de un porte alto (al menos 4-5m) y de rápido crecimiento, y con una densidad suficiente que impida la aparición de huecos. Su principal inconveniente es que la propia pantalla puede constituir un punto de atracción para las aves (nidificación y alimentación). Igualmente no pueden disponerse próximas a la traza, ya que generarían un riesgo, por caída, inasumible.
8. **Sistemas de señalización de la catenaria.** Estos sistemas consisten en la instalación de espirales salvapájaros de PVC de color naranja, hechos a medida según el diámetro del cable de la catenaria. Se colocan cada 5 m aproximadamente y suponen un coste del material aproximadamente 145 €/ud. En especial son de interés para zonas de aves esteparias, aunque se ha evaluado escasamente su efectividad.
9. **Señalización del cerramiento.** Consiste en la señalización mediante placas metálicas galvanizadas o de plástico blanco de dimensiones aproximadas 30 x 15 cm, dispuestas en sentido horizontal, instalación que se materializa mediante su grapado a la malla del cerramiento a demarcar. Estos dispositivos se sitúan con una separación de 1 m, en dos filas al tresbolillo, cada una a 2 m. Los costes unitarios de las placas son de 3,69 €/ud.

3.3.4 Integración paisajística

Otro de los condicionantes técnicos a tener en cuenta en la instalación de pantallas anticolidión es la intrusión paisajística que se genera con su disposición. Habitualmente, la necesidad de adaptar la infraestructura al objeto de minimizar el riesgo de colisión de determinados grupos de avifauna (a menudo solicitado en las declaraciones de impacto o por la administración ambiental competente) ha conllevado en numerosas ocasiones la disposición de apantallamientos, que vienen condicionados por lo limitado del espacio y características de estas estructuras, siendo en ocasiones la disposición de pantallas la única opción válida.

Las pantallas deben disponer de las características precisas (altura, grado de opacidad, color, índice de reflexión a la luz,...) para que sean identificadas por las aves como un obstáculo. Para ello, deben “destacar” significativamente del fondo escénico (cielo, territorio). Y es, en este punto, cuando la necesidad de “integración paisajística” de la estructura, y su necesidad de “hacerse visible” para estos grupos de avifauna, entran en conflicto. Así, no es posible disponer pantallas transparentes sobre los viaductos, ya que aunque permiten una mayor integración paisajística, no ofrecen la suficiente opacidad para suponer una garantía efectiva en lo relativo al riesgo de colisión. En consecuencia, en ferrocarriles se han venido utilizando pantallas metálicas opacas, de una altura aproximada de 2,5 – 3 metros (dimensión condicionada por la resistencia al viento). Sin embargo, estos elementos, unidos a la estructura en sí (canto de viaducto de elevadas dimensiones), aunque vienen a conformar una barrera visual significativa con la que paliar en cierta medida el riesgo de colisión de avifauna, por ello mismo generan una intrusión paisajística, en algunos casos inasumible en determinados territorios.

Así, se hace preciso buscar otras opciones que permitan disponer elementos capaces de generar una barrera lo suficientemente visible para las aves, y permitan modificar sus pautas de vuelo y así evitar la colisión con el ferrocarril; a la par que se minimiza el impacto paisajístico derivado de disponer -en zonas del territorio con un grado de visibilidad, una calidad y una fragilidad muy elevadas- estructuras altamente opacas y de fuerte contraste con el entorno.

4 SOLUCIONES PROPUESTAS

Los resultados principales de este estudio han sido:

1. Establecer una propuesta metodológica para la determinación de las medidas óptimas de protección frente a las colisiones de la avifauna en los nuevos proyectos, así como unas recomendaciones para el desarrollo de los trabajos de seguimiento ambiental durante la explotación.
2. Proponer un nuevo diseño de medida de protección frente a la avifauna en viaductos basado en el concepto de pantalla de tubos exentos (PTE).

4.1 Propuesta metodológica

Como resultado de este estudio, se ha establecido que la evaluación y selección del tipo de cada medida protectora, correctora o estructura concreta a implementar vendrá determinada por un análisis multicriterio en el que se deberá considerar como mínimo tres aspectos de interés:

CRITERIO 1: ESPACIOS. La presencia de zonas de interés faunístico determinará, el posible interés del tramo para la conectividad ecológica en general y, en particular, para los desplazamientos de la avifauna. A este respecto, este criterio apuntaría al nivel de exigencia que se le debería dar al proyecto por su ubicación en un entorno sensible avifaunísticamente.

CRITERIO 2: ESPECIES. El conocimiento de las especies o grupos taxonómicos de referencia permite ajustar la tipología de medida a desarrollar para minimizar el previsible problema de colisiones con avifauna. Así, determinados grupos de especies se han de conocer por su alta incidencia en aspectos de colisión en líneas de alta velocidad, e igualmente el tipo de especie a considerar permitirá definir el tipo de medida más adecuada a cada tipo de ave.

CRITERIO 3: PLATAFORMA FERROVIARIA Y SECCIÓN TIPO. Las condiciones topográficas del entorno y el conocimiento de la tipología de la plataforma ferroviaria a lo largo de un trazado determinado permitirán decantarse por un tipo de medida u otra, ante una necesidad concreta evaluada.

Sobre estos criterios se ha elaborado el flujograma o la matriz de decisión que permite establecer de manera clara las pautas de decisión que llevan adoptar una u otra medida. Así mismo, se ha evaluado de forma cualitativa la idoneidad del catálogo completo de medidas disponibles según los criterios de especie objetivo y el tipo de sección tipo en el que nos encontremos, de tal forma que, una vez evaluadas todas las variables en juego sea más sencillo tomar la decisión de optar por una u otra medida.

4.2 Pantallas tubulares propuestas para protección de la avifauna en viaductos

Considerando todo lo anterior, se define una solución de pantallas ejecutadas mediante tubos exentos con las características básicas indicadas en el esquema adjunto.

Esta solución forma parte de las conclusiones del estudio y es el diseño base sobre el que se debe seguir evolucionando en la definición concreta de los anclajes, el comportamiento frente a fenómenos aerodinámicos y aeroelásticos, materiales, colores y texturas, y determinación cuantitativa de la protección de la avifauna.

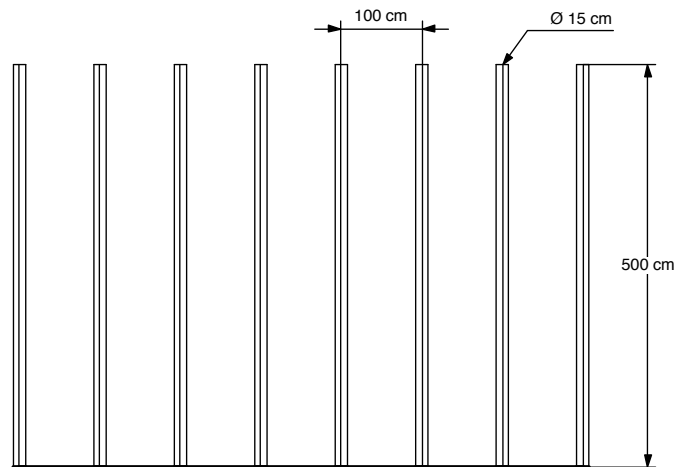


Figura 7. Propuesta funcional de Pantalla de Tubos Exentos (PTE) como solución para minimizar el riesgo de colisión de las aves con trenes de alta velocidad en viaductos. Fuente: elaboración propia

Al margen de lo anterior, durante el desarrollo del estudio, las administraciones ferroviarias españolas han continuado las actuaciones previstas en el Plan Estratégico de Infraestructuras del Transporte, para la red de Alta Velocidad.

Estas actuaciones han implicado, en algunos casos, la redacción de proyectos y licitación de las correspondientes obras en zonas con presencia de avifauna a proteger. Los viaductos sobre los ríos Tajo y Almonte en el Embalse de Alcántara son dos de los casos más representativos de lo anterior.

En efecto, con fecha 3 de mayo de 2010 y 2 de febrero de 2010 se aprobaron definitivamente, para ser licitados con posterioridad, los Proyectos de Construcción de la Línea de Alta Velocidad Madrid – Extremadura. Talayuela – Cáceres, correspondiente a los tramos Cañaveral – Embalse de Alcántara y Embalse de Alcántara – Garrovillas.

El trazado definido cruza los ríos Tajo y Almonte en una zona afectada por el Embalse José María de Oriol / Alcántara 2, que dispone de una capacidad máxima de 3.177 Hm³ y está destinado a la producción de energía eléctrica, siendo explotado actualmente por Iberdrola.

Respetando estrictamente el nivel máximo normal de explotación del embalse (cota de 218 m), las distancias resultantes entre una y otra margen son 324 m y 384 m, respectivamente. Estas distancias han de ser forzosamente las luces máximas de los viaductos a proyectar, pues la batimetría en los puntos de cruce da profundidades variables entre los 50 y los 70 metros, haciendo inviable su construcción sin un desembalse previo, que no se plantea por evidentes condicionantes económicos.

Conforman, por tanto, dos estructuras extremadamente singulares que además se ubican en corredores de avifauna evidentes (ríos Tajo y Almonte). La tipología elegida en ambas es la de un arco de hormigón con tablero ejecutado mediante autocimbra. El proyecto de construcción prevé la ejecución del arco mediante atirantamiento, con apoyo en una torre metálica, de forma análoga al proceso constructivo realizado con éxito en el Viaducto de Contreras, actualmente en servicio.



Figura 8. Fotomontaje con infografía del futuro viaducto sobre el río Tajo de la LAV Madrid – Extremadura. Tramo: Talayuela – Cáceres. Fuente: Elaboración propia

Hay que destacar, además, que aguas abajo de ambos viaductos se disponen dos puentes mixtos: línea Madrid – Valencia de Alcántara de ferrocarril y carretera N-630, concebidos como reposición por las afecciones generadas por el propio embalse, cuyas obras finalizaron a principios de los años 70 del siglo XX. Aún habiendo sido realizadas sin la infraestructura hidráulica en servicio, sus vanos son extraordinarios para la época, alcanzado más de 60 metros en algunos casos. En estos viaductos el ferrocarril discurre por dentro del cajón, mientras la carretera lo hace por la parte superior, de tal manera que la afección a las aves en el entorno se reduce al que pueda producir el tráfico de la N-630, tanto en el Río Tajo como en el Almonte.



Figura 9. Fotomontaje con infografía del futuro viaducto sobre el río Almonte de la LAV Madrid – Extremadura. Tramo: Talayuela – Cáceres. Fuente: Elaboración propia

Aunque las características de ambos viaductos son muy diferentes, la disposición de barreras opacas convencionales en cualquiera de ellos, supondrían sobrecargas de viento que hubieran penalizado el diseño de los anclajes de sujeción en exceso, comprometido la seguridad de estos elementos y penalizando el diseño general por carga de viento. Con estos condicionantes la Dirección de Proyectos y Dirección de Calidad y Medio Ambiente de ADIF propusieron una nueva opción de pantalla permeabilizando la solución a efectos de viento y limitando los huecos de tal manera que la percepción de la avifauna fuera la de una pantalla opaca, o al menos incitara a modificar su trayectoria de vuelo.

En el momento en que fue preciso tomar las decisiones básicas relativas a la morfología de las pantallas, el “Estudio de las medidas de protección de la infraestructura frente a la colisión de las aves con trenes de alta velocidad”, había arrojado algunos resultados preliminares prometedores; se conocía la efectividad de elementos tubulares exentos en otros ámbitos, y estaba pendiente el análisis sobre la altura de los postes.

Con estos condicionantes, se optó por dos soluciones diferentes para cada uno de los cauces, dejando la estética de las mismas a criterio del proyectista, siempre y cuando se respetaran unas dimensiones mínimas:

- Altura de 3 m, análoga a la considerada para la pantalla opaca empleada hasta el momento de forma general. Además, para la determinación de esta altura, se valoró especialmente el tipo de fauna proteger: ánade azulón, garza real, garcilla bueyera, chorlitejo chico, cigüeña blanca, cigüeña negra, garceta común, somormujo lavanco.
- Separación entre tubos de 0,50 m, que se entendía del lado de la seguridad y que hacía las veces de cerramiento y protección tubular.

4.3 Pantalla tubular prevista para el viaducto sobre el río Tajo

Consta de una sucesión de tubos de acero S 355 J2G3, de 50 mm de diámetro, 3mm de espesor y separados 50 cm entre sus ejes, dispuestos con un radio de curvatura de 8,62 m hacia la vía férrea y 3 m de altura en proyección vertical, dotando al conjunto de un diseño aparentemente aerodinámico.

A la cota 0,925 m se dispone longitudinalmente un tubo de 150 mm de diámetro y 3 mm de espesor y que se acompaña, en paralelo, de tres tubos menores (50 mm de diámetro y 3 mm de espesor), configurándose en alzado una barandilla convencional, con la generatriz superior del pasamanos a 1 m sobre la acera.

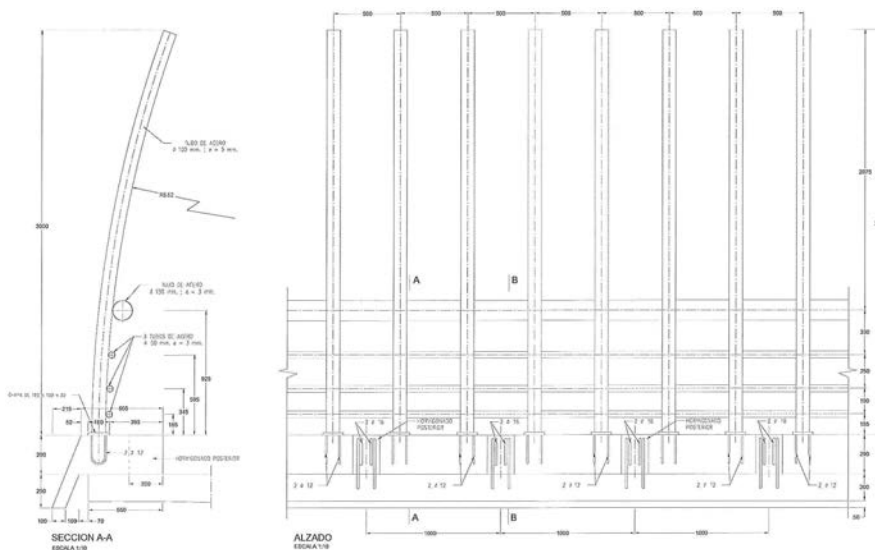


Figura 10. Plano de la pantalla anticolidión diseñada para el futuro viaducto sobre el río Tajo de la LAV Madrid – Extremadura. Tramo: Talayuela – Cáceres. Fuente: Proyecto de Construcción de Plataforma de la Línea Madrid – Extremadura. Tramo: Cañaveral - Embalse de Alcántara

4.1. Pantalla tubular prevista para el viaducto sobre el río Almonte

Se trata de una serie de tubos de 50 mm de diámetro y 3 m de altura, rectos y separados 50 cm entre sus ejes.

El espacio entre tubos se completa con otros de menor altura (1,10 m) y separados 17 mm entre ejes que hacen las veces de cerramiento o barandilla tubular. Esta solución estética, que en este caso podría colaborar en una percepción más opaca del conjunto, es de uso común en cerramientos y edificación.

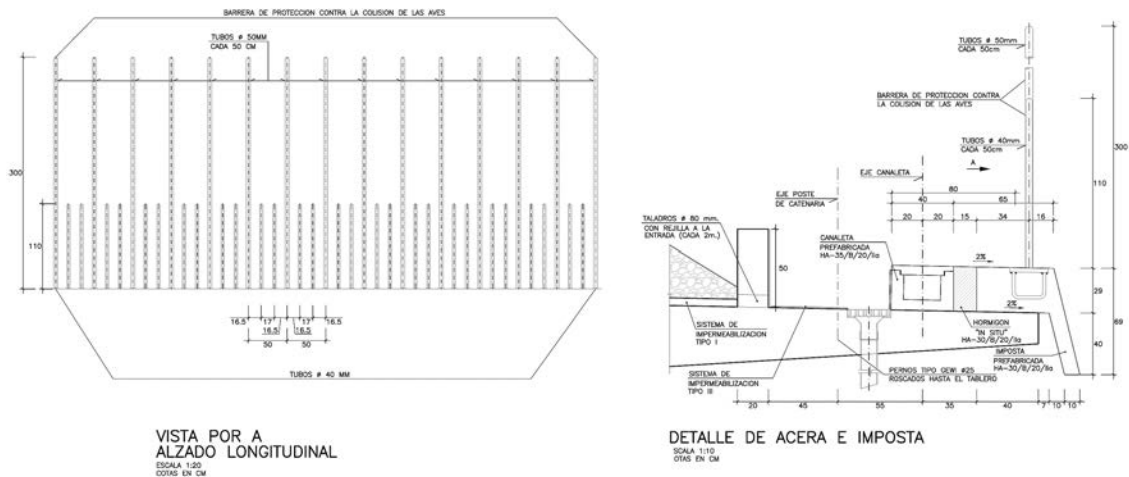


Figura 11. Plano de la pantalla anticolidión diseñada para el futuro viaducto sobre el río Almonte de la LAV Madrid – Extremadura. Tramo: Talayuela – Cáceres. Fuente: Proyecto de Construcción de Plataforma de la Línea Madrid – Extremadura. Tramo: Embalse de Alcántara - Garrovillas

4.2. Estudios aeroelásticos y aerodinámicos

Además de lo anterior, se ha comprobado el comportamiento aerodinámico y aeroelástico de estas barreras en relación con el tablero mediante el modelizado físico del conjunto estructural, y el ensayo del mismo en túnel de viento, cuyo detalle se muestra en la figura adjunta.

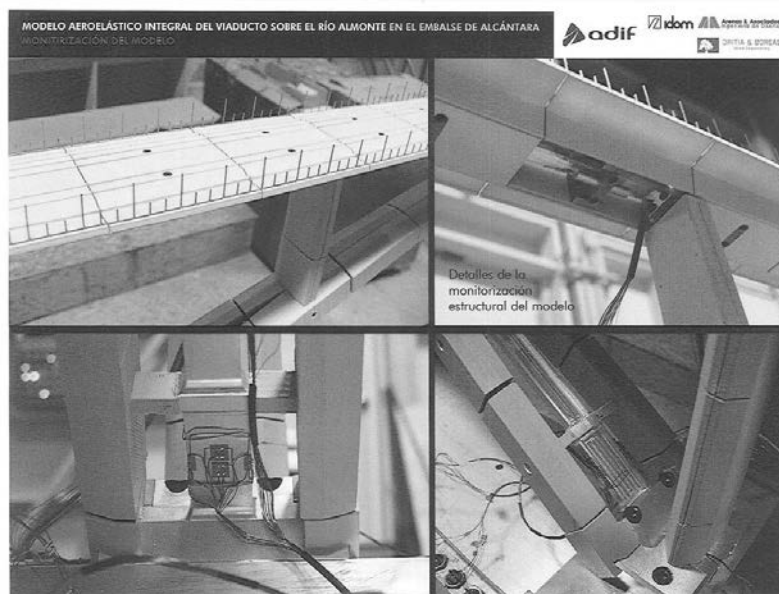


Figura 12. Modelo aeroelástico del viaducto sobre el río Almonte. Fuente: Proyecto de Construcción de Plataforma de la Línea Madrid – Extremadura. Tramo: Embalse de Alcántara - Garrovillas

Estos trabajos adicionales han determinado un buen comportamiento frente a efectos de divergencia torsional, bataneo o desprendimiento de remolinos lo que, junto con la optimización estructural por la menor superficie de exposición al viento, configura un diseño mejorado con respecto a las soluciones habituales.

No obstante, ligeras modificaciones en los tubos o en su disposición armónica exigirían nuevos ensayos, toda vez que las leyes que rigen estos fenómenos varían casi de forma caprichosa en función de la morfología. Hay en este punto un campo abierto para la investigación y el desarrollo.

5 DESARROLLOS POSTERIORES

El estudio de las colisiones y atropellos en ferrocarriles de alta velocidad es un campo relativamente nuevo en España, donde escasamente se dispone de información concreta tanto sobre las zonas potencialmente peligrosas, el comportamiento de los distintos grupos de avifauna o la efectividad de las medidas actualmente implantadas. Así, entre las propuestas de nuevos estudios a desarrollar en el futuro al objeto de ampliar el conocimiento sobre estos aspectos, se incluyen las siguientes:

- Análisis en profundidad de los datos de seguimiento de mortalidad en líneas de alta velocidad en servicio.
- Control y seguimiento de los tramos de concentración de atropellos.
- Análisis predictivo de la probabilidad de atropello.
- Estudio de la eficacia de las medidas anticolidión.
- Optimización del diseño de las pantallas de tubos exentos (PTE): estudios aerodinámicos y aeroelásticos.

En este sentido, y dentro del grupo de trabajo que inició los estudios que se presentan en esta ponencia, se han comenzado a dar los pasos necesarios para ahondar en el conocimiento de estos temas, abordando los siguientes estudios y proyectos de forma paralela:

1. Estudio de optimización del comportamiento aerodinámico y aeroelástico de pantallas anti-colisión de aves en puentes de alta velocidad.
2. Proyecto piloto de implementación de pantallas anti-colisión de aves y estudio de valoración de su eficacia.

6 CONCLUSIONES

El grupo de trabajo constituido como Equipo de Iniciativa y Mejora (EIM) *Impacto Cero* ha excedido ampliamente el alcance y los objetivos que se habían previsto inicialmente cuando se concibió. El conocimiento acumulado sobre la materia ha sido extenso, y como ocurre casi siempre con cualquier nuevo tema científico o técnico en el que se profundiza, las expectativas de desarrollo de este campo han resultado ser importantes.

Este estudio fue lanzado como una forma de poner en común la experiencia de distintos profesionales de dentro y fuera de ADIF, implicados en la concepción, diseño, construcción y seguimiento de medidas de protección ambiental en las líneas de alta velocidad.

Los resultados principales de este estudio han sido:

1. Una **propuesta metodológica** para la determinación de las medidas óptimas de protección frente a las colisiones de la avifauna en los nuevos proyectos, así como unas

recomendaciones para el desarrollo de los trabajos de seguimiento ambiental durante la explotación.

2. Un **nuevo diseño** de medida de protección frente a la avifauna en viaductos basado en el concepto de pantalla de **pantalla de tubos exentos (PTE)**.

Por otra parte, este estudio ha planteado nuevas dudas y ha abierto nuevos campos de investigación donde estamos seguros que es necesario profundizar para comprender mejor el problema y poder plantear en el futuro medidas más optimizadas y eficaces. Para ello se plantea desarrollar en el ámbito de ADIF varios trabajos de investigación y orientados a evaluar la efectividad real de los diseños propuestos y a optimizar sus soluciones constructivas.

7 REFERENCIAS

- ADIF. 2008. *Instrucciones Generales de Proyecto de Plataforma (IGP)*.
- ADIF. 2010. *Proyecto de Construcción de Plataforma de la Línea de Alta Velocidad Madrid – Extremadura. Talayuela – Cáceres. Tramo: Cañaveral – Embalse de Alcántara*. Martínez Cutillas, A.; Rodríguez Salinas, J.; Roncero Rodríguez, V.; Corral Vielba, F.; Meana Martínez, I.
- ADIF. 2010. *Proyecto de Construcción de Plataforma de la Línea de Alta Velocidad Madrid – Extremadura. Talayuela – Cáceres. Tramo: Embalse de Alcántara - Garrovillas*. Capellán Miguel, G.; García Arias, P.; Moreno Sánchez, E.; Corral Vielba, F.; Meana Martínez, I.
- ADIF. 2011. *Equipo de Iniciativa y Mejora (EIM). Impacto Cero*. Rodríguez Illanes, R.; Rallo de la Cruz, S.; Núñez del Río, G.; Fajardo Ballesteros, A.; Lara Gutierrez, J.A.; Prats Guardia, M.J.; Meana Martínez, I.; García de la Morena, E.; Abelaria Rey, J.; López Linares Ruiz – Bravo, F.; Sánchez García, J.
- COST. 2000. *COST 341. Habitat Fragmentation Due to Transportation Infrastructure. French State of the Art Report*. European Commission.
- Czajkowski, M. A. y Thauront, M. 1990. *Impact du trafic ferroviaire sur l'avifaune, étude bibliographique*. Ministère de l'Environnement. France.
- Chancellor, L. 2009. Royal Terns at Sebastian Inlet State Park. *Peligram*, 45 (4): 2.
- Havlin, J. 1987. On the importance of railway lines for the life of avifauna in agrocoenoses. *Folia Zoologica*, 36 (4): 345-358.
- Herrmann, C.; Krone, O.; Stjernberg, T. y Helander, B. 2009. *Population Development of Baltic Bird Species: White-tailed Sea Eagle (Haliaeetus albicilla)*. Disponible en: http://www.helcom.fi/BSAP_assessment/ifs/ifs2009/en_GB/White-tailedSeaEagle/.
- Janss, G. F. E. 2000. Avian mortality from power lines: a morphologic approach of a species-specific mortality. *Biological Conservation*, 95 (3): 353-359.
- MacKinnon, B. 2004. *Sharing the Skies. An Aviation Industry Guide to the Management of Wildlife Hazards*. Civil Aviation, Transport Canada.
- Maíllo, J. E. 2009. Un buitre detiene al AVE en la localidad zaragozana de Ariza. *elmundo.es*. Disponible en: <http://www.elmundo.es/mundodinero/2009/12/01/economia/1259688054.html>.
- Mammen, U.; Klammer, G. y Mammen, K. 2006. Greifvogeltod an Eisenbahntrassen - ein unterschätztes problem [Dead of raptors at railways – an underestimated problem]. *Greifvogel- u. Eulenarten [Population ecology of raptors and owls]*, 5: 477-482.
- Ministerio de Medio Ambiente, MMA. 2006. *Prescripciones Técnicas para el diseño de pasos de fauna y vallados perimetrales. Documentos para la reducción de la fragmentación de hábitats causada por infraestructuras de transporte*. O.A.P.N., Ministerio de Medio Ambiente. Madrid.
- Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, MARM 2008. *Prescripciones técnicas*

para el seguimiento y evaluación de la efectividad de las medidas correctoras del efecto barrera de las infraestructuras de transporte. Documentos para la reducción de la fragmentación de hábitats causada por infraestructuras de transporte. O.A.P.N., Ministerio de Medio Ambiente. Madrid.

- Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, MARM 2010. *Prescripciones técnicas para la reducción de la fragmentación de hábitats en las fases de planificación y trazado. Documentos para la reducción de la fragmentación de hábitats causada por infraestructuras de transporte.* O.A.P.N., Ministerio de Medio Ambiente. Madrid.
- Minuartia. 2009. *Seguimiento del estado y eficacia de las medidas preventivas y correctoras para la fauna en la línea de alta velocidad entre Córdoba y Málaga. Capítulo 8. Seguimiento en viaductos y otros sectores de interés para el desplazamiento de aves.* Informe final, inédito, para ADIF.
- Orlowski, G. 2008. Roadside hedgerows and trees as factors increasing road mortality of birds: Implications for management of roadside vegetation in rural landscapes. *Landscape and Urban Planning*, 86 (2): 153-161.
- Rodríguez Sánchez, J. J.; García de la Morena, E. L. y González Nicolás, D. 2008. *Estudio de las medidas correctoras para reducir las colisiones de aves con ferrocarriles de alta velocidad.* Ministerio de Fomento. CEDEX. Madrid.
- Roll, E. (Ed.) 2004. *Hinweise zur ökologischen Wirkungsprognose in UVS, LBP und FFH-Verträglichkeitsprüfungen bei Ausund Neubaumaßnahmen von Eisenbahnen des Bundes.* Eisenbahn-Bundesamt.
- SCV. 1996. *Mortalidad de vertebrados en líneas de ferrocarril. Documentos Técnicos de Conservación SCV*, 1. Sociedad Para la Conservación de los Vertebrados. Madrid.
- SEO/BirdLife. 2005. *Memoria de las actuaciones llevadas a cabo para completar el seguimiento del impacto real de la Línea de Alta Velocidad Madrid-Zaragoza-Barcelona-Frontera Francesa. Informe final. Anexo 5.* Informe inédito realizado para el Ente Público Gestor de Infraestructuras Ferroviarias. Madrid.
- SEO/BirdLife. 2008. *Seguimiento de la colisión y electrocución de aves en la línea de alta velocidad Madrid Toledo. Informe final.* Mayo de 2008. Informe inédito realizado para ADIF. Madrid.
- SEO/BirdLife. 2009a. *Seguimiento de la colisión y electrocución de aves en la línea de alta velocidad Madrid-Zaragoza-Barcelona-Frontera Francesa. Tramo Gélida - Castellbisbal - Ramal Ferroviario de Llobregat. Informe final.* Octubre de 2009. Informe inédito realizado para ADIF. Madrid.
- SEO/BirdLife. 2009b. *Seguimiento de la colisión y electrocución de aves en la línea de alta velocidad Madrid-Zaragoza-Barcelona-Frontera Francesa. Subtramos Albí - Montblanc y Perafort - Roda de Bará. Informe final.* Octubre de 2009. Informe inédito realizado para ADIF. Madrid.
- SEO/BirdLife. 2009c. *Seguimiento de la colisión y electrocución de aves en la línea de alta velocidad Madrid Toledo. Informe final.* Septiembre de 2009. Informe inédito realizado para ADIF. Madrid.
- Van der Grift, E. A. 2001. The Impacts of Railroads on Wildlife. *The Road-RipPorter*, Nov/Dec: 8-10.