

Impactos de tendidos eléctricos de alta tensión: análisis, evaluación y restauración

Impacts of high voltage power lines: analysis, assessment and restoration

Antonio Prieto Rodríguez^{1*}, Daniel Calero Gil²

Palabras clave

línea eléctrica;
impacto;
incendio forestal;
valoración;
restauración;

Resumen

En este artículo se realiza un estudio de las características generales y de los efectos ambientales de las líneas eléctricas, exponiendo los efectos que producen este tipo de infraestructuras lineales tanto en la flora como en la fauna. Se analiza la legislación correspondiente desde los puntos de vista de su distribución, impactos y valoración económica. Se analizan aquellos aspectos de los tendidos eléctricos que tienen incidencia en los incendios forestales, el número de incendios que provocan y los ensayos científicos desarrollados con relación a esta problemática.

Además, se exponen aquellos conceptos necesarios para llevar a cabo una valoración económica derivada de la instalación de los tendidos eléctricos, de la servidumbre de paso y mantenimiento y de los valores medioambientales implicados. Finalmente, se realiza una propuesta de proyecto de restauración de las zonas afectadas, empleando vegetación que no plantee interferencias a largo plazo con las líneas eléctricas.

Keywords

power line;
impact;
forest fire;
evaluation and restoration;

Abstract

This article will carry out a study of the general characteristics and environmental impact of power lines. The effects produced by this type of linear infrastructures, on both flora and fauna, will be analyzed in detail. The legislation concerning power lines will be further treated, and this will be so with regard to their transport, impacts and economic evaluation. The present study will also deal with all aspects that have an impact on forest fires and its relationship with distribution of electricity infrastructures, addressing the importance of the problem from a statistical perspective, and from scientific trials in relation to this issue.

Moreover, the concepts needed in order to support an economic evaluation for the installation of power lines will be presented, focusing on space legal obligations and taking into account environmental concerns.

Finally, we also expose measures for a restoration project regarding the affected areas by using vegetation that does not potentially pose any long-term interferences with power lines.

1. INTRODUCCIÓN

De forma general, el tendido de líneas de alta tensión, produce alteraciones más o menos importantes, sobre el suelo, geomorfología, hidrología, fauna, vegetación y paisaje, siendo estos impactos reversibles, a medio-largo plazo, en el momento en el que se elimine la instalación, si bien se deben aplicar en ocasiones medidas correctoras. Por ello, de modo introductorio se van a tratar estas alteraciones, para comprender las medidas, valoraciones y propuestas que se recogen en este artículo.

Fauna

Las principales molestias a la fauna silvestre, son debidas a las siguientes alteraciones, tanto en la fase de

construcción como en la de explotación de las líneas eléctricas:

- Molestias debidas al ruido: contaminación acústica motivada por el propio funcionamiento, tanto de la línea, como del área de servidumbre, y aquel derivado de las labores de mantenimiento de la misma.
- Posible afección a la fauna por vibraciones generadas por líneas, barras, etc.
- Efecto barrera debido a la eliminación de la vegetación en las calles.
- Durante el funcionamiento de la línea la avifauna es la más afectada: riesgo de choque con los cables, electrocución para aquellas aves que utilizan los soportes de la línea como posaderos o incluso como lugar de anidamiento, como es frecuente en el caso de las cigüeñas (Michener 1928, Turcek, 1960)¹.

* Autor de contacto: antonio.prieto@upm.es

¹ Catedrático de Universidad. Dasometría, Ordenación de Montes y Valoración Agraria. ETS Ingeniería de Montes, Forestal y del Medio Natural. Universidad Politécnica de Madrid, España.

² Ingeniero de Montes. Técnico de Medio Ambiente en el Ayuntamiento de Fresno de Torote, Madrid, España.

¹ Michener, H.; 1928. Where engineer and ornithologist meet: Transmission line troubles caused by birds. *The Condor* 30: 169-175.

Turcek, F.J.; 1960. On the damage by birds to power and communication lines. *Bird Study* 7: 231-236.

En general, la mayor proporción de las aves que se encuentran muertas en torno a las líneas eléctricas fallecen por colisión, siendo muy bajo el porcentaje que lo hace por electrocución (Lorenzo *et al.*; 2007)². La colisión contra los cables afecta en principio a todas las aves, sin embargo, parecen más susceptibles a las colisiones las aves de vuelo rápido como palomas, patos y gangas, así como las especies gregarias y de vuelo no muy ágil como grullas, flamencos y aves esteparias. La colisión en las líneas eléctricas es también una de las principales causas de mortalidad no natural para especies amenazadas como la avutarda común (*Otis tarda*), el sisón común (*Tetrax tetrax*), el urogallo (*Tetrao urogallus*), el lagópodo alpino (*Lagopus muta*) o el quebrantahuesos (*Gypaetus barbatus*).

La electrocución afecta sobre todo a las aves que utilizan los apoyos de los tendidos como posaderos, principalmente rapaces, córvidos y cigüeñas. Las aves se electrocutan cuando se produce una derivación de corriente a través de su cuerpo, al tocar a la vez dos cables conductores o un cable conductor (u otro elemento en tensión) y el propio poste donde se posan (Haas, 1980; Olenndorff *et al.*, 1981; Ferrer *et al.*, 1991)³. Es una de las causas de mortalidad más importante para rapaces amenazadas, tales como el águila perdicera (*Aquila fasciata*), el águila imperial (*Aquila adalberti*), el águila pescadora (*Pandion haliaetus*), el milano real (*Milvus milvus*) o el alimoche (*Neophron percnopterus*). La electrocución afecta también a las águilas reales (*Aquila chrysaetos*), culebreras (*Circus gallicus*), calzadas (*Hieraetus pennatus*), buitres (*Gyps fulvus*), milanos negros (*Milvus migrans*), azores (*Accipiter gentilis*), cernícalos (*Falco tinnunculus*), ratoneros (*Buteo buteo*), búhos reales (*Bubo bubo*) y lechuzas (*Tyto alba*), por citar algunas de las rapaces más sensibles a esta amenaza (SEO/BirdLife)⁴.

Los hábitos gregarios, vuelos crepusculares, reacciones de huida de los bandos, etc., hacen que las especies de patos, limícolas, avutardas, grullas, etc., se vean muy afectadas por las líneas eléctricas. La mayoría de las colisiones se producen contra el cable de tierra en las líneas de alta tensión. Parece que la mayor parte de las aves, en condiciones de baja visibilidad, detectan los conductores a poca distancia e intentan evitarlos sobrevolándolos, encontrándose entonces con el cable de tierra, con un grosor mucho menor y por tanto menos visible que los conductores. En algunos estudios concretos (Heijnis, 1980)⁵, hasta el 80 % de las colisiones se produjeron contra el cable de tierra. Un caso especial es el que corresponde a las cigüeñas que

se encuentran en los alrededores de los vertederos existentes, siguiendo su instinto buscan los puntos más elevados para dominar mayor territorio, y estos lugares, en ocasiones, son los apoyos de las líneas eléctricas.

Paisaje

El paisaje natural por donde transcurren las líneas de transporte eléctrico se ve afectado por la existencia de grandes estructuras que, de forma general y con vistas a un ahorro de tiempo y materiales, se sitúan en las crestas de los terrenos de topografía ondulada. Por otro lado, la necesidad de que exista una franja libre de vegetación a ambos lados de la línea eléctrica, permite que el trazado sea visible desde grandes distancias. La afección sobre el paisaje desde el punto de vista estético, será mayor en zonas de alto valor ecológico.

El impacto visual provocado es superior en las calles de ancho permanente, dado el aspecto artificial de sus bordes, ajeno en general a las formas naturales, que poseen bordes o límites redondeados (Arévalo *et al.*, 2001)⁶. Esta circunstancia se reduce en la calle de ancho variable, en la que de alguna manera se pierde algo esta artificialidad.

Generación de residuos peligrosos

Las líneas de distribución generan residuos peligrosos, como son los aceites dieléctricos utilizados en el aparataje eléctrico que ha llegado al final de su vida útil (Luna, 2004)⁷. Policlorobifenilos (PCBs) y policlorotrifenilos (PCTs), pueden presentar un importante impacto sobre el medio natural. La única fuente de PCBs en el medio ambiente es la actividad humana, suelen ser sustancias poco biodegradables y acumulables a lo largo de la cadena trófica. Otros residuos en menor cantidad son los restos de pintura, chatarras, trapos sucios con restos contaminantes, etc. Son dignos de mención los restos abandonados de las labores de tala y poda del arbolado, operaciones necesarias para abrir las calles tanto en el trazado de las líneas de nueva construcción como en el mantenimiento de las distancias de seguridad entre los conductores y la masa arbórea.

Campos electromagnéticos

Los campos electromagnéticos se dan de forma natural en nuestro entorno, también se producen de forma artificial, constituyendo todos ellos parte del espectro electromagnético, y diferenciándose entre sí por su frecuencia, que determina sus características físicas y, por tanto, los efectos biológicos que pueden producir sobre los organismos expuestos (*Comunidad de Madrid, 2014*)⁸. Todas las

² Lorenzo, J.A.; Ginovés J.; 2007. Mortalidad de aves en los tendidos eléctricos de los ambientes esteparios de Lanzarote y Fuerteventura, con especial referencia a la avutarda hubara. SEO/BirdLife. La Laguna, Tenerife. 121 pp (19-24).

³ Haas, D.; 1980. Endangerment of four large birds by electrocution: a documentation. *Ecology of Birds* 2: 7-57.

Olenndorff, R.R.; Miller, A.D.; Lehman, R.N.; 1981. Suggested Practices for Raptor Protection on Power Lines. The State of the Art in 1981. *Journal of Raptor Research* 4: 174 pp (159-170).

Ferrer, M.; de la Riva, M.; Castroviejo, J.; 1991. Electrocution of raptors on power lines in southwestern Spain. *Journal of Field Ornithology* 62: 181-190.

⁴ SEO/Birdlife. <http://www.seo.org/2012/07/05/legislacion-nacional-lineas-electricas/>

⁵ Heijnis, R.; 1980. Bird mortality from collision with conductors for maximum tension. *Ecology of Birds* 2: 111-129.

⁶ Arévalo, J.; Arteta, I.; Bermejo, E.; Camps, S.; Domínguez, F.; Gómez, F.; Maza, J.; Molinero, S.; Moreno, L.; Morla, C.; Roig, J.; 2001. Inventario de la flora ibérica compatible con las líneas de alta tensión. Red Eléctrica de España. 445 pp (6-11).

⁷ Luna, J.P.; 2004. La energía y el territorio. Instituto Juan de Herrera. (52-54) 82 pp.

⁸ Comunidad de Madrid, 2014. Plan energético de la Consejería de Economía y Hacienda, capítulo 2. (7-16) 26 pp. http://www.madrid.org/cs/Satellite?c=CM_Planes_FA&cid=1142427447856&idConsejeria=1109266187242&idListCons-j=1109265444710&language=es&pagename=ComunidadMadrid%2FEstructura&sm=1109265843983

instalaciones de transporte y distribución de electricidad, así como los equipos industriales y domésticos que utilizan esta energía eléctrica, generan un campo electromagnético perfectamente conocido y medible.

Las líneas eléctricas de alta tensión inducen a su alrededor campos electromagnéticos, cuya intensidad de campo dependerá de la corriente eléctrica que circula por ellas, del número de conductores y de su disposición geométrica. En un punto concreto, se comprueba que la intensidad de campo se atenúa cuanto más juntos se encuentren los conductores y cuanto más alejado esté este punto de los conductores. La exposición máxima a un campo eléctrico se encuentra generalmente cerca de las líneas de alta tensión obteniendo la máxima densidad de flujo magnético (medidas en teslas).

Ruidos

El ruido se ha convertido en un problema importante en el entorno, constituyendo un factor contaminante más. Las infraestructuras eléctricas que pueden presentar problemas por ruido son líneas de alta tensión, éstas presentan problemas en forma de zumbidos de baja frecuencia y chisporroteos debido al efecto corona (ionización del aire).

Impacto sobre el suelo

El valor del impacto sobre el suelo (Arévalo *et al.*, 2001)⁹, es igualmente función de la superficie que resulte desprovista de vegetación, en particular del número de pies arbóreos que se deban eliminar en la ejecución de la calle, dado que la pérdida de la cubierta vegetal protectora provoca un incremento del riesgo de erosión. La exposición directa del suelo a la lluvia, tras la desaparición de la vegetación, permite la aparición de procesos de escorrentía superficial que suponen una exportación de materiales fuera del sistema.

El empobrecimiento que se causa en el suelo, por la pérdida de elementos finos y nutrientes, dificulta la existencia posterior de una capa vegetal que proteja al suelo, lo que completa un marco negativo para el mismo: a mayor erosión, mayor empobrecimiento por el efecto de lavado, lo que provoca una menor capacidad de colonización por parte de las plantas y, por tanto, mayor erosión. Este riesgo, posee una mayor significación en las zonas de pendiente acusada que en las zonas llanas o con pendientes suaves, ya que no tiene apenas importancia en aquellas zonas en las que, por lo llano de la superficie, la velocidad de recorrido del agua es reducida y paralelamente su capacidad de exportación de materiales, por lo que la regeneración natural de la vegetación no se ve condicionada y puede llegar a ser casi inmediata, con lo que en un plazo de tiempo relativamente corto el impacto estará corregido.

Impacto sobre la vegetación

La apertura de la calle, suele implicar la corta total del arbolado y los arbustos que puedan interferir con la línea,

evitando riesgos para ésta y la masa forestal. Lo que supone la corta de toda la vegetación en la superficie afectada por la calle. En la adopción de esta medida, en general, sólo se ha venido teniendo en cuenta este principio básico, no habiéndose profundizado, salvo en raras excepciones, en el análisis de las formaciones vegetales que se atravesaban, hecho que motiva que se crucen bosques de sumo interés, o que se hayan adoptado, en la mayor parte de los proyectos de las líneas, calles de ancho permanente, de una gestión más simple, no teniéndose en cuenta criterios de protección para las especies vegetales de interés u otros principios básicos de protección del medio.

La construcción o explotación de una línea, cuando la misma atraviesa terrenos ocupados por cubiertas vegetales alejadas de la clímax, como pastizales o cultivos, no produce ningún efecto negativo grave y permanente sobre la vegetación, por la reversibilidad de los efectos que se pueden provocar. Por contra, al cruzar masas forestales, la apertura de la calle puede suponer un impacto reseñable de carácter permanente, cuya magnitud es función del valor botánico y ecológico de las formaciones atravesadas, de las superficies que resulten desprovistas de vegetación, y en particular de las especies afectadas y la singularidad y número de pies arbóreos que se deban eliminar en la ejecución de la misma. Este impacto, en general, posee una magnitud superior cuando la calle se abre por primera vez, durante la fase de construcción de la línea, ya que se supone que, en la fase de explotación, las actividades se acometen sobre el medio ya modificado, y por tanto, y a priori, de menor valor natural. Sin embargo, el tratamiento periódico puede provocar un paulatino cambio en las especies presentes, pudiendo producirse un empobrecimiento de la formación en algunas situaciones y circunstancias.

La eliminación de la vegetación de la traza de la línea no solo afecta a la vegetación arbórea sino también a las formaciones de matorral, en las que la densidad de éste y su altura imposibiliten el paso, caso de jarales, brezales, etc. En estas formaciones, al igual que en las masas boscosas, se ha venido procediendo a la apertura de una calle de ancho permanente, en muchos casos de una anchura similar a la que se afecta en los bosques, con 30, 40 o más metros de ancho. El impacto de esta actuación en las manchas de matorral, en general, es menor que en las masas forestales, siempre y cuando la importancia de la formación arbustiva no sea superior a la del propio bosque. Esto es debido esencialmente a que la capacidad de regeneración de estas formaciones es normalmente muy superior a la de la masa arbórea, hecho que provoca, por otra parte, que la apertura de las calles en manchas de matorral tengan una pervivencia en el tiempo de muy pocos años, encontrándose al cabo de tres o cuatro años en una situación similar a la que poseían originalmente, y por lo tanto requerir un nuevo tratamiento acorde con los criterios de seguridad definidos, o cuando menos, para posibilitar las actividades de mantenimiento de la línea.

Por el contrario, la corta del arbolado supone una modificación sustancial de la cubierta vegetal de carácter permanente, pues además de que los plazos para su recuperación son mucho más largos, en un número apreciable de casos en los que los suelos son esqueléticos o poco desarrollados, puede producirse un impacto muy difícilmente recuperable, dada la incapacidad del medio para su

⁹ Arévalo, J.; Arteta, I.; Bermejo, E.; Camps, S.; Domínguez, F.; Gómez, F.; Maza, J.; Molinero, S.; Moreno, L.; Morla, C.; Roig, J.; 2001. Inventario de la flora ibérica compatible con las líneas de alta tensión. Red Eléctrica de España. 445 pp (11-14).

regeneración natural. En los casos en los que sí se produce la regeneración natural, los árboles que rebrotan o han nacido en la calle son de nuevo cortados, debido a que la calle ha de mantenerse libre de arbolado mientras dure la explotación de la línea, reiterando por tanto el impacto.

Otro impacto imputable a la apertura de las calles es el derivado de las posibles modificaciones de la flora presente, ya que su presencia puede servir de pasillo de introducción a especies invasoras foráneas ajenas a la formación, que con antelación a la apertura de la calle veían condicionada su entrada, o al hecho de que se vean potenciadas las especies heliófilas frente a las propias del sotobosque, que viven en la umbría del mismo y soportan mal la insolación directa, caso típico de muchas especies de herbáceas y arbustivas que colonizan la calle, siendo impropias del medio forestal.

Impacto socioeconómico

Respecto al medio socioeconómico los efectos se centran en las afecciones que supone para las fincas la reiteración de las labores, dado que si bien se habrá indemnizado al propietario por lo que supone la corta de arbolado, el hecho de repetir periódicamente esta labor implica unos trabajos en las zonas afectadas, con entrada de operarios y maquinaria y por tanto los efectos derivados de ello, en virtud de la servidumbre con la que se habrá gravado a la finca. Si la masa forestal cruzada tiene un interés económico y sobre todo, si estaba siendo aprovechada de forma ordenada, la apertura de la calle provoca, además del efecto económico que implica la pérdida de superficie productiva, evaluable e indemnizable conforme a métodos contrastados de valoración, otros efectos más difíciles de valorar, como la desorganización de la estructura interna de la masa, ya que la presencia de la calle altera su zonificación en las distintas superficies establecidas de inventario y de gestión, sin embargo esta circunstancia se puede resolver con el desarrollo del estudio correspondiente.

2. LEGISLACIÓN

En este apartado se expone aquella normativa referente a líneas eléctricas, relacionada con las limitaciones que debe tener la vegetación en el entorno de estas infraestructuras, tanto de baja como de alta tensión. También, se plasma la legislación que define los procedimientos para la valoración de los impactos que producen los tendidos eléctricos.

Reglamento de distribución de líneas eléctricas respecto a distancias con el arbolado

a) Líneas de baja tensión

En cuanto a las distancias del arbolado respecto a líneas de baja tensión, las restricciones no son muy exhaustivas, puesto que en el apartado 3.9.2.5 de la Instrucción Técnica Complementaria ITC-BT 06, aprobadas por Real Decreto 842/2002, de 2 de agosto¹⁰, del Reglamento electrotécnico

para baja tensión, establece que para proximidades con zonas de arbolado, se utilizarán preferentemente cables aislados en haz; cuando la línea sea de conductores desnudos deberán tomarse las medidas necesarias para que el árbol y sus ramas, no lleguen a hacer contacto con dicha línea.

b) Líneas de alta tensión

Los tendidos eléctricos de alta tensión tienen más riesgos que los anteriores, por ello la normativa implicada es más restrictiva. Según el Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en líneas eléctricas de alta tensión, aprobado por el Real Decreto 223/2008¹¹, en su apartado 5.2: “en general, se define la zona de servidumbre de vuelo (figura 1), como la franja de terreno definida por la proyección sobre el suelo de los conductores extremos, considerados éstos y sus cadenas de aisladores en las condiciones más desfavorables, sin contemplar distancia alguna adicional. Las condiciones más desfavorables son considerar los conductores y sus cadenas de aisladores en su posición de máxima desviación, es decir, sometidos a la acción de su peso propio y a una sobrecarga de viento de 120 km/h a la temperatura ambiente de 15 °C.”

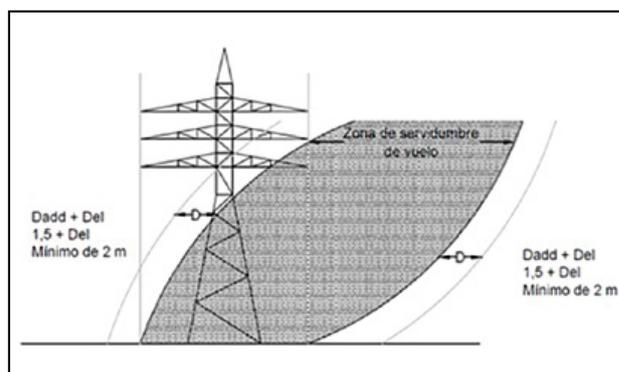


Figura 1. Servidumbre de vuelo y distancia de la línea eléctrica aérea a árboles y masas de arbolado (elaboración propia).

Los conductores, por la electricidad que transportan, tienen una temperatura en condiciones normales en el entorno de los 85 °C, la cual, en verano llega a incrementarse hasta aproximadamente 125 °C, lo que supone que la distancia de los conductores con respecto al suelo llega a disminuirse hasta en dos metros¹². El Reglamento establece, que para evitar las interrupciones del servicio y los posibles incendios producidos por el contacto de ramas o troncos de árboles con los conductores de una línea eléctrica aérea, deberá establecerse, mediante la indemnización correspondiente, una zona de protección de la línea definida por la zona de servidumbre de vuelo (figura 2), incrementada por la siguiente distancia de seguridad a ambos lados de dicha proyección:

$$D_{add} + D_{el} = 1,5 + D_{el} \text{ (en metros)}$$

D_{add} : distancia de aislamiento adicional, para la que se toman 1,5 metros.

¹⁰ BOE 224, de 18 de septiembre de 2002.

¹¹ BOE 68, de 19 de marzo de 2008.

¹² Red Eléctrica de España SA, 2014. Comunicación personal.

D_{el} : distancia de aislamiento en el aire mínima especificada, para prevenir una descarga disruptiva entre conductores de fase y objetos a potencial de tierra en sobretensiones de frente lento o rápido. Puede ser tanto interna, cuando se consideran distancias del conductor a la estructura de la torre, como externa, cuando se considera una distancia del conductor a un obstáculo.

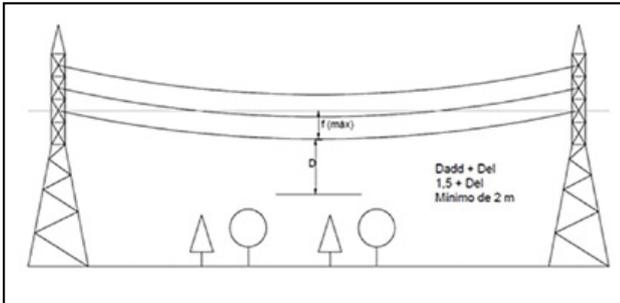


Figura 2. Distancia vertical de línea eléctrica aérea a árboles y masas de arbolado (elaboración propia).

Se considerará un mínimo de 2 metros. Los valores D_{el} se indican en el apartado 5.2 de la Instrucción Técnica Complementaria del Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en las Líneas Eléctricas de Alta Tensión (ITC-LAT-07), en función de la tensión más elevada de la línea. Si los conductores sobrevuelan los árboles (figura 2), para el cálculo de distancias de seguridad se considerarán los conductores, con su máxima flecha vertical, y sus cadenas de aisladores en sus condiciones más desfavorables, según las hipótesis del apartado 3.2.3 del ITC-LAT-07.

Este reglamento no tiene carácter retroactivo, motivo por el cual continúa vigente para las líneas eléctricas construidas con anterioridad al mismo, el reglamento antiguo, Decreto 3151/1968, en esencia no hay grandes variaciones, aunque existen pequeñas diferencias en las distancias de seguridad (tabla 1). Atendiendo al artículo 35º del reglamento de líneas aéreas eléctricas de 1968, para evitar las interrupciones del servicio y los posibles incendios producidos por el contacto de ramas o troncos de árboles con los conductores de una línea eléctrica, deberá establecerse zona de corta de arbolado a ambos lados de la línea cuya anchura corresponde a la siguiente expresión:

$$D(m) \geq 1,5 + \frac{U}{100} \text{ metros; } D \text{ mínimo} = 2 \text{ m, } U = \\ = 2 \text{ m, } U = \text{tensión de la línea en kV}$$

Tabla 1. Distancias de seguridad según los reglamentos de 1968 y 2008

Tipos de líneas según tensión (kV)	Incremento de la zona de servidumbre (m)	
	R.D. 223/2008	D. 3151/1968
400	4,3	4,17
220	3,2	2,97
132	2,7	2,38
66	2,2	2,00
< 66	2,0	2,00

El responsable de la explotación de la línea está obligado a garantizar que las distancias prescritas por el reglamento

se cumplan, y el propietario de los terrenos a permitir las actividades necesarias para cumplirlo. También tiene que comunicar, al órgano competente de la administración, aquellas masas de arbolado excluidas de la servidumbre de paso que pudieran comprometer las distancias de seguridad establecidas. Deberá vigilar que la calle se mantenga limpia de todo residuo procedente de su limpieza, para evitar la generación o propagación de incendios forestales. Asimismo se prohíbe, por el Reglamento Técnico de Líneas Eléctricas Aéreas de Alta Tensión 223/2008 de 19 de marzo, la plantación de árboles que puedan crecer hasta llegar a comprometer las distancias de seguridad complementarias.

Legislación implicada para la valoración de los impactos de los tendidos eléctricos

En el caso de las valoraciones de superficies afectadas por el paso de tendidos eléctricos, la valoración se realizará utilizando los métodos de valoración analíticos capitalizando la renta anual a un determinado tipo de interés, que para fincas agrícolas y forestales, de acuerdo con la Ley del Suelo (Real Decreto Legislativo 7/2015, de 30 de octubre, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Suelo y Rehabilitación Urbana, BOE de 31 de octubre de 2015)¹³ y con el Reglamento que la desarrolla (RD 1492/2011, de 24 de octubre, por el que se aprueba el Reglamento de valoraciones de la Ley de Suelo)¹⁴ y con la Ley del Sector Eléctrico 54/1997¹⁵. La ley del suelo establece en el artículo 36. Valoración en el suelo rural:

“1. Cuando el suelo sea rural a los efectos de esta ley y de conformidad con lo dispuesto en la Disposición adicional séptima:

a) Los terrenos se tasarán mediante la capitalización de la renta anual real o potencial, la que sea superior, de la explotación según su estado en el momento al que deba entenderse referida la valoración.

La renta potencial se calculará atendiendo al rendimiento del uso, disfrute o explotación de que sean susceptibles los terrenos conforme a la legislación que les sea aplicable, utilizando los medios técnicos normales para su producción. Incluirá, en su caso, como ingresos las subvenciones que, con carácter estable, se otorguen a los cultivos y aprovechamientos considerados para su cálculo y se descontarán los costes necesarios para la explotación considerada.

El valor del suelo rural así obtenido podrá ser corregido al alza en función de factores objetivos de localización, como la accesibilidad a núcleos de población o a centros de actividad económica o la ubicación en entornos de singular valor ambiental o paisajístico, cuya aplicación y ponderación habrá de ser justificada en el correspondiente expediente de valoración, todo ello en los términos que reglamentariamente se establezcan.

b) Las edificaciones, construcciones e instalaciones, cuando deban valorarse con independencia del suelo, se tasarán por el método de coste de reposición según su estado y antigüedad en el momento al que deba entenderse referida la valoración.

¹³ BOE 261, 31 de octubre de 2015.

¹⁴ BOE 270, 9 de noviembre de 2011.

¹⁵ BOE 285, de 28 de noviembre de 1997.

c) Las plantaciones y los sembrados preexistentes, así como las indemnizaciones por razón de arrendamientos rústicos u otros derechos, se tasarán con arreglo a los criterios de las Leyes de Expropiación Forzosa y de Arrendamientos Rústicos.

2. En ninguno de los casos previstos en el apartado anterior podrán considerarse expectativas derivadas de la asignación de edificabilidades y usos por la ordenación territorial o urbanística que no hayan sido aún plenamente realizados”.

Disposición adicional séptima. Reglas para la capitalización de rentas en suelo rural

1. Para la capitalización de la renta anual real o potencial de la explotación a que se refiere el apartado 1 del artículo 36, se utilizará como tipo de capitalización el valor promedio de los datos anuales publicados por el Banco de España de la rentabilidad de las Obligaciones del Estado a 30 años¹⁶, correspondientes a los tres años anteriores a la fecha a la que deba entenderse referida la valoración.

2. Este tipo de capitalización podrá ser corregido aplicando a la referencia indicada en el apartado anterior un coeficiente corrector en función del tipo de cultivo, explotación o aprovechamiento del suelo, cuando el resultado de las valoraciones se aleje de forma significativa respecto de los precios de mercado del suelo rural sin expectativas urbanísticas. Los términos de dicha corrección se determinarán reglamentariamente”. Están recogidos en el Reglamento de la Ley del Suelo.

En la Ley del Sector Eléctrico, en el título IX, se definen algunas cuestiones sobre expropiación y servidumbres. En el artículo 52, se regula la declaración de utilidad pública de los emplazamientos de las líneas eléctricas:

1. Se declaran de utilidad pública las instalaciones eléctricas de generación, transporte y distribución de energía eléctrica, a los efectos de expropiación forzosa de los bienes y derechos necesarios para su establecimiento y de la imposición y ejercicio de la servidumbre de paso.
2. Dicha declaración de utilidad pública se extiende a los efectos de la expropiación forzosa de instalaciones eléctricas y de sus emplazamientos cuando por razones de eficiencia energética, tecnológicas o medioambientales sea oportuna su sustitución por nuevas instalaciones o la realización de modificaciones sustanciales en las mismas.

En el artículo 56, se regulan los aspectos relacionados con la servidumbre de paso de energía eléctrica aérea:

1. La servidumbre de paso de energía eléctrica tendrá la consideración de servidumbre legal, gravará los bienes ajenos en la forma y con el alcance que se determinan en la presente Ley y se regirá por lo dispuesto en la misma, en sus disposiciones de desarrollo y en la legislación mencionada en el artículo anterior.

2. La servidumbre de paso aéreo comprende, además del vuelo sobre el predio sirviente, el establecimiento de postes, torres o apoyos fijos para la sustentación de cables conductores de energía.
3. La servidumbre de paso subterráneo comprende la ocupación del subsuelo por los cables conductores, a la profundidad y con las demás características que señale la legislación urbanística aplicable.
4. Una y otra forma de servidumbre comprenderán igualmente el derecho de paso o acceso y la ocupación temporal de terrenos u otros bienes necesarios para construcción, vigilancia, conservación y reparación de las correspondientes instalaciones.

Para concluir, en el artículo 57 de la citada ley, se define donde no podrá imponerse servidumbre de paso para las líneas de alta tensión:

- a) Sobre edificios, sus patios, corrales, centros escolares, campos deportivos y jardines y huertos, también cerrados, anejos a viviendas que ya existan al tiempo de decretarse la servidumbre, siempre que la extensión de los huertos y jardines sea inferior a media hectárea.
- b) Sobre cualquier género de propiedades particulares, si la línea puede técnicamente instalarse, sin variación de trazado superior a la que reglamentariamente se determine, sobre terrenos de dominio, uso o servicio público o patrimoniales del Estado, Comunidades Autónomas, de las provincias o los municipios, o siguiendo linderos de fincas de propiedad privada.

3. MEDIDAS PREVENTIVAS Y CORRECTORAS

Con el fin de prevenir, minimizar y corregir los efectos negativos que potencialmente se pueden ocasionar en la instalación y el mantenimiento de una línea eléctrica, se definen una serie de medidas protectoras y correctoras de obligado cumplimiento, en función de los impactos definidos en el estudio de impacto ambiental. Hay que destacar la existencia de una sensibilidad reciente y creciente de las empresas eléctricas, que han desarrollado normativas internas para minimizar el impacto ambiental en sus actuaciones, y en donde se incluyen recomendaciones referentes al diseño, construcción y mantenimiento de la línea. La relación de medidas preventivas y correctoras se puede clasificar de la forma siguiente (Mieres *et al.*, 1996; Roig *et al.*, 1996 y Arévalo *et al.*, 2001)¹⁷:

- **Medidas para evitar la electrocución de las aves:**
 - No se colocarán aisladores rígidos ni elementos en tensión por encima de la cabecera del apoyo.

¹⁶ http://www.bde.es/webbde/es/estadis/infoest/si_1_2.pdf

¹⁷ Mieres, J.A.; Palazuelos, E.; 1996: Alternativas para un sistema de gestión medioambiental de líneas eléctricas, II Jornadas sobre líneas eléctricas y medio ambiente. Madrid. 22-23 de mayo de 1996.

Roig, J.; Rodríguez, A.; 1996: Los costes ambientales en la gestión ambiental de la red de transporte de energía eléctrica. II Jornadas sobre líneas eléctricas y medio ambiente. Madrid. 22-23 de mayo de 1996.

Arévalo, J.; Arteta, I.; Bermejo, E.; Camps, S.; Domínguez, F.; Gómez, F.; Maza, J.; Molinero, S.; Moreno, L.; Morla, C.; Roig, J.; 2001. Inventario de la flora ibérica compatible con las líneas de alta tensión. Red Eléctrica de España. 445 pp (14-22).

- Las crucetas serán de tipo bóveda.
- La distancia entre fases será igual o superior a 150 centímetros.
- En los apoyos de amarre, ángulo, derivación y seccionamiento, la distancia aislada entre elementos en tensión y la cruceta será de 80 centímetros.
- En los apoyos con autoválvulas, éstas irán colocadas por debajo de la cabecera del apoyo.
- Se podrán colocar aisladores del apoyo por debajo de la cabecera del apoyo, y la distancia fase-tierra será superior a 50 centímetros, o en caso contrario deberán aislarse en los puntos.

• **Medidas anticolidión de las aves**

Las medidas definidas para evitar los accidentes por colisión de las aves con los cables del tendido eléctrico, principalmente con el cable de tierra (de menor sección que los otros), están encaminadas a mejorar la visibilidad del cable. En las líneas de transporte suele ser suficiente señalar el cable de tierra, ya que es el principal responsable de los accidentes. Esta señalización se realiza generalmente en forma de espiral enrollada sobre el cable o en forma de bolas, también se emplean tiras, abrazaderas negras con plásticos colgantes, siluetas de aves de plástico y otros diseños.

• **Medidas para el mantenimiento de las líneas**

Sobre el suelo

- La siembra de herbáceas y matorral para asegurar la fijación del suelo mediante las raíces y el enriquecimiento por medio del aporte de materia orgánica.
- Construcción de pequeñas terrazas en zonas con pendientes pronunciadas.
- Construcción de pequeñas pedrizas.

Sobre la hidrología

- En los cruces de líneas con los arroyos se respetará la vegetación existente en las márgenes.
- Se evitará el paso de maquinaria sobre el curso de agua.
- Se evitará la alteración y destrucción de los taludes y se plantará vegetación ripícola para asegurar la fijación de los mismos.

Sobre la vegetación

- Se estudiará si es necesario eliminar toda la vegetación existente bajo el tendido o si se puede respetar parte de ésta.
- La anchura de la calle será variable y se adaptará a cada situación dependiendo de la topografía, la altura entre los conductores más bajos y el suelo, y el desarrollo futuro de la masa vegetal.
- Respeto de la diversidad vegetal de la zona.
- Respeto de la vegetación arbórea de crecimiento lento, podando sólo las ramas dirigidas hacia la línea.

- Elección del tipo de apoyo, adoptando un apoyo más alto y estrecho, lo que permite reducir la anchura de la calle, como es el caso de la disposición en tresbolillo.
- Elevación de los apoyos, lo que supone un efecto directo en la reducción de la anchura de la calle, con el fin de salvaguardar al arbolado existente en el vano.

Sobre el paisaje

- Depende directamente del valor intrínseco del mismo; se deberá alterar mínimamente tal que la percepción visual de la calle disminuya y se mantenga prácticamente inalterada la calidad paisajística.

El *Real Decreto 1432/2008¹⁸ de 29 de agosto*, por el que se establecen medidas para la protección de la avifauna contra la colisión y la electrocución en líneas eléctricas de alta tensión, es una herramienta para evitar que se instalen más tendidos de diseño peligroso en las áreas más sensibles para las aves. También obliga a las comunidades autónomas a tener en cuenta a las aves a la hora de instalar y corregir líneas eléctricas. La corrección de líneas eléctricas peligrosas está cofinanciada en un 70 % por fondos europeos. Esta norma será de aplicación en todas las ZEPAs y en las áreas prioritarias de éstas (presencia regular durante los últimos tres años) utilizadas para reproducción, alimentación, dispersión y de concentración local, es decir en las denominadas zonas de protección. Sin embargo, el Real Decreto no impide que se instalen líneas peligrosas fuera de las llamadas “zonas de protección” y además prácticamente ignora el problema de la colisión de las aves contra el cableado. Así, las medidas anti-colisión serán voluntarias para los titulares de las líneas, y solo existirá cierta obligatoriedad para los tendidos de nueva construcción (SEO/BirdLife)¹⁹.

La adopción de criterios para la minimización de los impactos ambientales imputables a las calles está pasando a ser un criterio básico de diseño y explotación de las líneas eléctricas. Por ello, se tendrá en cuenta la idoneidad de la vegetación que conviva con las líneas eléctricas, medida a través de un índice que cuantifica la compatibilidad de la especie con esta infraestructura denominado ICL (Índice de Compatibilidad con las Líneas de alta tensión), resultado de un polinomio que refleja la suma de los valores más positivos para el fin propuesto, de forma que los valores más altos de este índice lo alcanzan especies cuya utilización sería muy recomendable (Arévalo *et al.*, 2001)²⁰. Las características que se han tenido en cuenta para considerar una especie como compatible según el ICL, son:

- Que pertenezcan a la flora propia del área donde se las vaya a potenciar o introducir.

¹⁸ BOE 222, 13.9.2008.

¹⁹ SeoBirdlife. <http://www.seo.org/2012/04/17/tendidos-electricos-y-aves/>

²⁰ Arévalo, J.; Arteta, I.; Bermejo, E.; Camps, S.; Domínguez, F.; Gómez, F.; Maza, J.; Molinero, S.; Moreno, L.; Morla, C.; Roig, J.; 2001. Inventario de la flora ibérica compatible con las líneas de alta tensión. Red Eléctrica de España. 445 pp (23-24).

- Que posean un crecimiento limitado en altura.
- Que sean pirófugas, esto es que ardan mal.
- Que tengan un alto índice de competitividad, es decir que cubran rápidamente el suelo y dificulten el desarrollo de otras especies.
- Que posean al menos en sus primeros estadios un tallo blando, fácil de romper.
- Que sean propias de suelos blandos de forma que no invadan los caminos de obra.

No obstante, el dato obtenido se tomará con cautela puesto que al ser combinación de varios factores, se puede tener una especie con un ICL alto dado que reúne gran parte de las condiciones idóneas para considerarla compatible, pero siempre que la altura libre sea suficiente, no pudiendo utilizarla en otras circunstancias.

4. INCENDIOS FORESTALES Y LÍNEAS ELÉCTRICAS

En España, el 23,31 % de los incendios se originan por negligencias y causas accidentales, y de estos, el 5,46 % se achacan a líneas eléctricas (figura 3). En cambio, la superficie afectada por incendios atribuidos a líneas eléctricas crece hasta el 8,79 % (figura 4), probablemente este hecho es debido, a que por la ubicación de las líneas los incendios, los pueden originar en lugares más apartados y de difícil detección (Cubo, J.E. et al., 2012)²¹.

Los estudios realizados sobre incendios forestales atribuidos a líneas eléctricas demuestran que no es necesario proceder a una eliminación sistemática general del arbolado de la zona de paso del tendido, ya que no es muy probable que se inicie un incendio cuando un conductor de una línea de 20 kV entre en contacto con un árbol. Sin embargo, sí existe una alta probabilidad de que se origine un incendio de pasto y maleza, cuando se produce un cortocircuito entre dos conductores a una altura inferior a seis metros. Los diversos ensayos realizados por Électricité de France (Feintuch, et al.; 1974)²² en masas forestales de pino carrasco, en épocas particularmente secas, calurosas y soleadas, tanto para baja tensión (380 voltios) como para media tensión (20.000 voltios), provocando bien contactos entre un conductor de las líneas experimentales y la vegetación arbórea y arbustiva, cortocircuitos entre conductores y roturas de cables con su caída al suelo produjeron los siguientes resultados.

En líneas de baja tensión, el contacto con un árbol no provocó ninguna manifestación exterior. Los sistemas de control no registraron el paso de la corriente por el árbol, ni ninguna variación de tensión en la línea. El contacto duró varios minutos, sin que se constatará la menor modificación. En consecuencia, el estudio concluye que el contacto eléctrico de una línea de baja tensión con un árbol, no lleva consigo ningún riesgo de incendio. El contacto

entre dos conductores de baja tensión, provocó un cortocircuito de más de 1.000 amperios, que fue eliminado por el disyuntor de baja tensión en un tiempo de 4 segundos. El contacto provocó una gavilla de chispas, debidas al metal en fusión o a los óxidos incandescentes (los conductores eran de *almelec*, aleación de aluminio y magnesio, de 34 mm² de sección). En el curso de un primer ensayo, el metal en fusión que cayó sobre tierra con restos forestales no provocó ningún incendio. En un segundo ensayo, algunas partículas de metal inflamaron la hierba seca mezclada con acículas secas de pinos. El fuego comenzó suavemente. Estos ensayos de contacto entre dos conductores se repitieron un total de diez veces, y el fuego sólo se declaró en el ensayo citado anteriormente, por lo que se puede deducir que el riesgo de incendio es muy bajo, aunque no nulo. La caída de un conductor de baja tensión al suelo no lleva consigo ningún incendio. Las protecciones que lleva hacen que el conductor estando en contacto con el suelo, no provoque ninguna chispa. Por el contrario, el contacto de un conductor de baja tensión con una pieza metálica puesta a tierra, es susceptible de originar chispas.

En líneas de alta tensión, los mismos ensayos anteriores se repitieron con la línea de 20.000 voltios, obteniéndose los siguientes resultados:

- Contactos intermitentes de la línea de alta tensión con un árbol no crean ningún tipo de alteración. Es preciso un contacto prolongado de una parte del árbol para llegar a calentarlo suficientemente y provocar, parece ser, la emisión de sustancias inflamables cuya actividad cesa con la desaparición de la tensión. Es sólo después de una duración de alrededor de cinco minutos, que el calentamiento puede llevar a la incandescencia a algunas ramas. En el transcurso de uno de los ensayos realizados, una de las ramas se ha quebrado y caído al suelo produciendo la inflamación del tapiz vegetal, como habría podido hacerlo un cigarrillo encendido. Se puede, pues, concluir que el contacto intermitente de una línea de 20.000 voltios con un árbol no provoca incendios, pero que es preciso evitar un contacto estable y prolongado, de una duración que sobrepase los 5 minutos.
- El contacto entre dos conductores de 20.000 voltios fue menos espectacular que el correspondiente al contacto entre dos conductores de baja tensión. La caída de tensión fue del mismo orden, pero los sistemas de protección normales de la red, más complejos que los de baja tensión, han llevado a la desconexión (disparo) en 0,5 segundos. Se ha detectado un haz de chispas pero relativamente poco numeroso. Durante los ensayos realizados, ninguna partícula de metal pudo incendiar la hierba seca. Aunque no se puede concluir con total certeza que el riesgo de incendio esté excluido, sí se puede afirmar que el riesgo de incendio, si es que existe, es muy poco probable.
- La ruptura de un conductor de 20.000 voltios tiene consecuencias inmediatas. Desde el contacto con el suelo, un arco ha brotado entre el conductor y el suelo. Este arco evidentemente provocó el incendio de las hierbas del suelo: al cabo de siete segundos han comenzado a echar humo, después de 15 segundos han aparecido llamas bastante altas. En conse-

²¹ Cubo, J.E.; Enríquez, E.; Gallar, J.J.; Jemes, V.; López, M.; Mateo, M.L.; Muñoz, A.; Parra, P.J.; 2012. Los incendios forestales en España. Decenio 2001-2010. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Madrid. 138 pp (17-19, 48-50, 67-70). http://www.magrama.gob.es/es/biodiversidad/estadisticas/incendios_forestales_espa%C3%B1a_decenio_2001_2010_tcm7-235361.pdf

²² Feintuch, P.; Lenci, C.; 1974. Lignes électriques et incendies de forêts. Revue Forestière Française. Número especial, pp. 99 – 104.

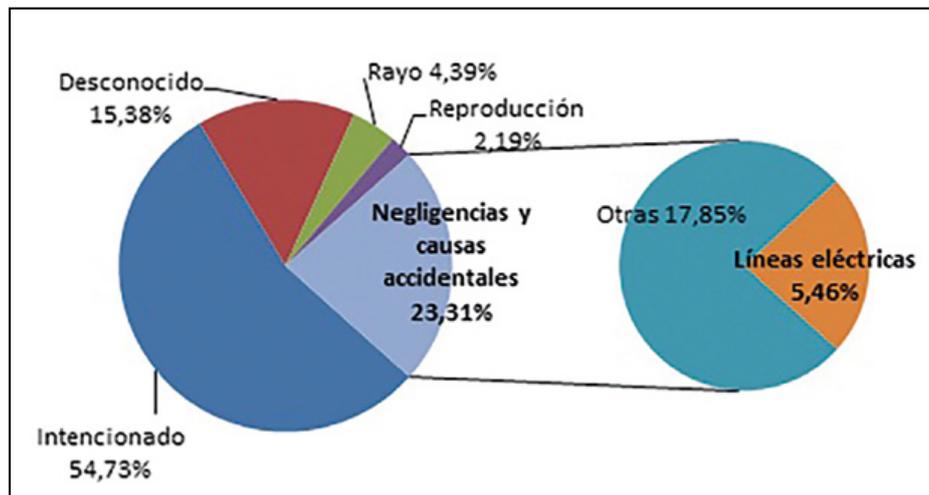


Figura 3. Causas de los incendios forestales en España (elaboración propia).

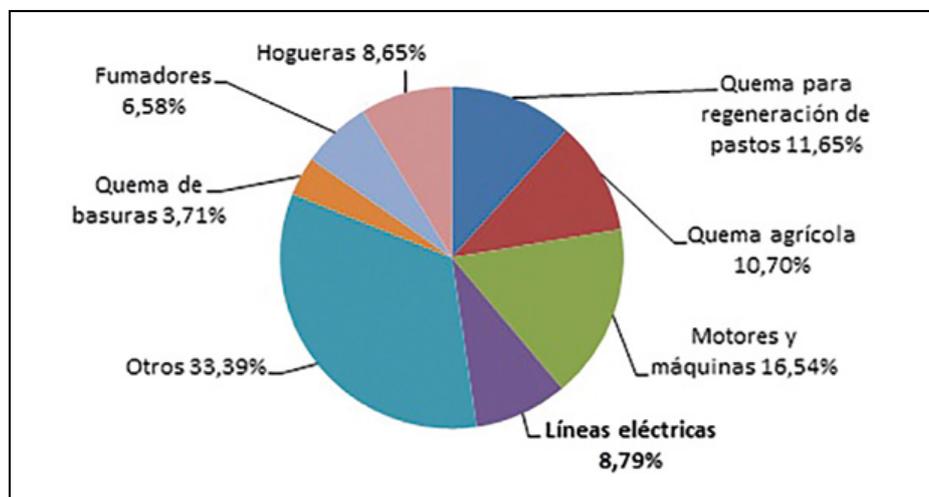


Figura 4. Superficie afectada por causa en España (elaboración propia).

cuencia, la ruptura de un conductor de una línea de 20.000 voltios es un hecho que provoca, con una gran probabilidad, la combustión de hierbas, ramillas, agujas de pinos, etc., que se encuentran en el punto de caída del conductor.

Al mismo tiempo, los ensayos realizados con las líneas de 20.000 voltios demostraron que las afirmaciones realizadas por algunas personas de haber observado arcos entre líneas eléctricas y árboles no corresponden a la realidad, ya que como se ha comentado anteriormente no se produce ningún arco. La explicación del fenómeno es que los arcos se producen después del inicio del incendio debido a los vapores, humos y partículas emitidas por los árboles y matorral en combustión.

En ensayos realizados en el Laboratorio de Alta Tensión de Électricité de France en Clamart, con tubos de acero de 15 mm de diámetro, separados entre sí 17 cm y a una distancia de un hogar de 10 cm y por los que pasaba una corriente de 50.000 voltios, no se provocaba ningún arco ni entre los dos tubos, ni entre un tubo y la tierra. Con llamas de propano de 50 cm de alto, el arco se producía para las mismas distancias anteriores para una tensión de 18.500 voltios. Con distancias al hogar dos veces superiores, el arco se producía con tensiones de 26.000 a 49.000 voltios. Reemplazando el propano por madera ardiendo (y

consecuentemente produciendo sustancias volátiles), los arcos se producían con mayor facilidad. Con una distancia a la madera de 100 cm, se ha constatado un arco para una tensión de 10.000 voltios. La altura de la llama alcanzaba 1,50 m y una humareda importante se desprendía de la madera en combustión. La madera ardiendo provocaba un fuerte viento que desviaba a menudo las llamas y el humo de los tubos de acero puestos en tensión. Estos ensayos se han confirmado por observaciones reales sobre el terreno. Así en Septèmes (cerca de Marsella), cerca de una torre de 225.000 voltios, se constató un incendio de matorral que provocó el abrasamiento de algunos pinos, y estos pinos aunque estaban a una distancia muy superior a la reglamentaria a la línea de alta tensión, interconexiónaron con el conductor más próximo de la línea. Es pues incuestionable, que un fuego favorece de manera muy importante los arcos. Los ensayos han puesto, no solamente de manifiesto el papel de la temperatura del incendio previo, sino también el del humo, que se manifiesta como un parámetro determinante. Las partículas conductoras de carbono y los vapores desprendidos, son sin duda el origen de este fenómeno. Es preciso igualmente notar, que la violencia de un incendio provoca una dilatación de los conductores por recalentamiento, que puede en determinadas circunstancias reducir de manera sustancial las distancias al suelo o a la vegetación.

Tabla 2. Causas de los incendios provocados por líneas eléctricas (elaboración propia)

Rotura del cableado	Debida a una tensión mecánica excesiva a la que esté sometida, superior a la de su carga de rotura. Se puede producir por: <ul style="list-style-type: none"> – Un mal cálculo del esfuerzo a soportar por el cable a la hora de realizar el tendido y este sea superior a su carga de rotura – Movimiento de una de las torres debido a una mala cimentación o un mal asentamiento del terreno, provocando sobre el cable un mayor esfuerzo – Se haya ajustado mucho el esfuerzo que soporta el cable a su carga de rotura y en días de condiciones desfavorables con viento, hielo, altas temperaturas, etc., este esfuerzo aumenta pudiendo superar la carga de rotura del cable
Meteorológicas	<ul style="list-style-type: none"> – Rayos que puedan caer sobre la línea. El rayo al caer sobre la línea puede producir la rotura del cable. También puede producir una sobre tensión en la línea, que, en el caso de que las tierras de los apoyos no estén bien hechas, puede producir un incendio – Fuertes vientos en forma de remolinos que provocan el levantamiento de objetos que se pueden encontrar en el campo como fajos de paja, que puedan terminar sobre la línea y con la humedad de la noche si están en contacto con dos de los cables hagan que la línea salte
Pérdida de aislamiento	<ul style="list-style-type: none"> – Puede ser debido a que los platos de la cadena de aisladores se hayan estropeado con el paso del tiempo y por las inclemencias del tiempo, produciendo derivaciones de tensión a tierra o bien que se rompan los platos aisladores y se caiga el cable. También puede ser producido en zonas de cotos de caza por disparos que se hayan producido sobre los mismos, rompiéndose y perdiendo su propiedad de aisladores. De acuerdo al artículo 29º del reglamento de líneas aéreas eléctricas el criterio de ruina será la rotura o pérdida de sus cualidades aislantes, al ser sometidos simultáneamente a tensión eléctrica y sollicitación mecánica del tipo al que realmente vayan a encontrarse sometidos
Contacto indirecto de ramas de árboles	<ul style="list-style-type: none"> – Se produce cuando una rama toca dos de las fases, produciéndose una descarga sobre la rama, la cual provocará el incendio de la misma. Para evitarlo se debe cumplir la normativa de distancia que se debe guardar, ya descrita anteriormente – Igualmente deberán ser cortados todos aquellos árboles que constituyen un peligro para la conservación de la línea, entendiéndose como tales los que, por inclinación o caída fortuita o provocada, puedan alcanzar los conductores en su posición normal. El concesionario de la línea está obligado a exigir periódicamente que se efectúen las operaciones de corta y poda necesarias en la zona de protección señalada (Reglamento Técnico de Líneas Eléctricas Aéreas de Alta Tensión 223/2008 de 19 de marzo y Reglamento electrotécnico de Baja Tensión aprobado por Real Decreto 842/2002, de 2 de agosto)¹
Nidos de cigüeñas	<ul style="list-style-type: none"> – Los nidos de las cigüeñas, se deben evitar en la medida de lo posible ya que son uno de los principales motivos de que la línea pueda saltar o se pueda producir un incendio, causado por: <ul style="list-style-type: none"> – Que se desprenda un palo del nido y toque una parte en tensión – Que la cigüeña se encuentre en el nido y al tocar los cables en tensión sus excrementos se hacen conductores, produciendo una descarga sobre la cigüeña la cual además de morir puede incendiar el nido – Que la cigüeña toque con las alas los dos cables al posarse en el nido – Para evitar el problema de los nidos de las cigüeñas, lo que se hace es poner otro apoyo al lado de la línea sin cables y sin nada, sólo para que la cigüeña haga ahí su nido y no utilice el apoyo de la línea eléctrica

En el caso de contacto entre conductores se produce un cortocircuito, después de la separación de los conductores aparecerá un arco eléctrico inestable. En los puntos de anclaje del citado arco se alcanza una temperatura muy elevada, comprendida entre 2.500-2.800 °C, muy superiores a los puntos de vaporización de los metales constructivos del conductor. La erosión del material debido a este arco eléctrico es variable según la potencia disipada en los puntos de anclaje. Ensayos realizados, manifiestan que casi un 60 % del material erosionado se convierte en vapor y el resto son partículas de metal fundido a alta temperatura que caen al suelo. El tamaño de estas partículas suele oscilar entre los 0,3 mm y 1 mm, siendo mucho más abundantes las primeras (Porrero, 2001)²³.

Para una altura reglamentaria de las líneas aéreas de alta tensión menores de 25 kV y de baja tensión, las partículas de diámetro inicial inferior a 0,5 mm se apagarán antes de llegar al suelo. Sólo tienen la posibilidad de alcanzar el suelo encendidas las partículas con diámetro inicial superior a 0,75 mm. En líneas de baja tensión el contacto entre conductores (suceso raro) puede producirse bajo la acción de ráfagas de viento. En líneas de alta tensión sólo puede darse en caso de incendio ya iniciado, cuando el humo o bien el aire caliente del incendio ioniza el aire, provocando cortocircuito entre las fases. En definitiva, resulta francamente difícil que se produzca un incendio por este motivo en una instalación en buenas condiciones, pudiendo darse en tendidos de baja tensión defectuosos o mal conservados.

Un incendio forestal se puede producir por varias causas a partir de una línea eléctrica, aunque como se ha comentado anteriormente las probabilidades son bajas, las principales quedan descritas en la tabla 2.

Conclusiones

Las conclusiones que se pueden obtener de este apartado correspondiente al análisis de incendios forestales y tendidos eléctricos son las siguientes:

- En un gran porcentaje los incendios atribuibles a líneas eléctricas, no han sido causados por ellas, sino que por el contrario han sido afectadas por los mismos.
- El mero contacto puntual no continuado entre un árbol y un conductor de una línea de alta tensión, sólo en circunstancias particulares puede provocar un incendio de copa.
- Los ensayos realizados demuestran, en líneas de alta tensión, que no se producen arcos entre líneas eléctricas y árboles. Los arcos se producen después del inicio del incendio debido a los vapores, humos y partículas emitidas por los árboles y matorral en combustión.

5. APLICACIÓN PARA LA VALORACIÓN DE IMPACTOS DE TENDIDOS ELÉCTRICOS

En este apartado, se desarrollará de forma teórica y a título únicamente ilustrativo, la valoración por la afectación que supone la existencia de tendidos eléctricos en un monte periurbano sin función productiva y de uso social en la

²³ Porrero, M.A.; 2001. Incendios forestales. I. Investigación de causas. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, (93-102) 158 pp.

Comunidad de Madrid, que se supone atravesado por una línea de alto voltaje de 881 m de longitud y una anchura de la traza de 12 m, con una ocupación de 1,0576 ha.

Indemnización por pérdida de renta forestal potencial

Para valorar la pérdida de renta forestal potencial, se considera una masa de *Pinus pinea*, con una producción de $4,5 \text{ m}^3/(\text{ha} \times \text{año})^{24}$, con un precio de 8 €/m^3^{25} . Por otro lado, se ha tenido en cuenta el coeficiente que según el Anexo 1 del RD 1492/2011, es preciso ponderar la tasa de descuento procedente del tipo de interés medio de la rentabilidad de las obligaciones del Estado a 30 años²⁶, que es del 3,67 % (año 2013, 5,03 %; año 2014, 3,13 %; año 2015, 2,85 %). Para el caso de explotaciones forestales, el citado Anexo 1 fija un coeficiente corrector de 0,58, luego la tasa de descuento r_2 a emplear en esta hoja de aprecio sería la siguiente:

$$r_2 = r_1 \times 0,58 = 0,0367 \times 0,58 = 0,021286$$

Con estos datos el valor por hectárea que se obtendría sería el siguiente:

$$\text{Valor} \left(\frac{\text{€}}{\text{ha}} \right) = \frac{4,5 \times 8}{0,021286} = 1.691,25 \text{ €/ha}$$

Complementariamente, se puede tener en cuenta el factor global de localización, que se calcula a través del producto de tres factores y no puede ser superior a 2:

Factor de corrección por accesibilidad a núcleos urbanos (u_1), donde P_1 es el número de habitantes de poblaciones situadas a menos de 4 km y P_2 , el de poblaciones situadas a menos de 40 km:

$$u_1 = 1 + \left[P_1 + \frac{P_2}{3} \right] \cdot \frac{1}{1.000.000}$$

$$u_1 = 1 + \left[3.234.000 + \frac{5.500.000}{3} \right] \cdot \frac{1}{1.000.000} = 6,067$$

Factor de corrección por accesibilidad a centros de actividad económica (u_2), siendo d la distancia kilométrica a vías de transporte:

$$u_2 = 1,6 - 0,01 \times d = 1,6 - 0,01 \times 0 = 1,6$$

Factor de corrección por ubicación en entornos de singular valor ambiental o paisajístico (u_3), donde p es el coeficiente de ponderación según la calidad ambiental o paisajística (evaluado de 0 a 2) y t , el coeficiente de ponderación según el régimen de usos y actividades (0 a 7):

$$u_3 = 1,1 + 0,1 \times (p + t) = 1,1 + 0,1 \times (2 + 0) = 1,3$$

El factor global de localización será:

$$Fl = u_1 \times u_2 \times u_3 \quad ! Fl = 2$$

²⁴ Gandullo, J. M.; Serrada, R.; 1987. Mapa de Productividad Potencial Forestal de la España Peninsular. En: Rivas-Martínez, 1987: Memoria del mapa de series de vegetación de España. MAPA, ICONA.

²⁵ Servicios Forestales de la Comunidad de Madrid.

²⁶ http://www.bde.es/webbde/es/estadis/infoest/si_1_2.pdf

Por lo que el valor final obtenido es:

$$Vf = V \times Fl = 1.691,25 \times 2 = 3.382,50 \text{ €/ha}$$

Para el tendido de 881 m, total:

$$Vf = 3.382,50 \times 1,06 = 3.585,45 \text{ €}$$

La cifra anterior correspondería al caso en que se expropiase toda la traza y debajo de la misma no pudiera haber árboles.

Valoración medioambiental

El paso de una línea eléctrica por un monte provoca, además de la pérdida de renta, otros perjuicios entre los que se pueden destacar los siguientes: limitaciones para los usos tradicionales; impacto visual (prejuicio estético); peligro de mortandad para las aves; aumento del peligro de incendio por rotura de cables o cortocircuito, aumento de la erosión, riesgo de derribos del arbolado por el viento por efecto de borde, aumento de problemas de necrosis de corteza de los árboles por insolación lateral, depreciación del resto de la propiedad, etc. Para determinar la indemnización por estos inconvenientes, se pueden considerar los procedimientos siguientes: indemnización por metro lineal de tendido, indemnización por los impactos al medio natural e indemnización por valores de no uso. A continuación se desarrollará cada uno de estos aspectos.

Indemnización por longitud de tendido

La indemnización establecida, en algunos países como por ejemplo en Francia (Électricité de France, 2008)²⁷, oscila entre 4 y 8 € por metro lineal de tendido. En España hay precedente de valoraciones por metro lineal de tendido entre 3 y 9 €, llevadas a cabo por Endesa Sevilla²⁸ en el año 2006. Por ello, se ha considerado un importe medio por metro lineal de tendido de 6 €/metro, tomado como importe medio de las cifras que se han tomado como referencia:

$$\text{indemnización (€)} = 881 \text{ m} \cdot 6 \text{ €/m} = 5.286 \text{ €}$$

Indemnización del impacto ambiental

En los montes, de todas las infraestructuras creadas por el hombre, las líneas aéreas de transporte de energía son la que producen un mayor impacto sobre el medio (superior a la urbanización, pistas de esquí o carreteras), debido a los siguientes factores (Courtin, 1971)²⁹:

- Introduce la línea recta en un medio en el que no existe.

²⁷ Électricité de France, 2008. <http://entreprises.edf.com/electricite/basse-tension-et-puissance-inferieure-a-36-kva-205068.html>

²⁸ Ruiz, P.; 2006. Endesa niega que la línea eléctrica de alta tensión tenga interés urbanístico. El Mundo, 8 de junio de 2006.

²⁹ Courtin, J.P.; 1971. Vers l'indemnisation du prejudice esthétique? Application aux lignes de transport d'énergie en zone de montagne. Revue Forestière Française, pp. 554 – 558.

- Desorganiza un paisaje estructurado por fenómenos geológicos y la acción secular del ser humano.
- Fragmenta los espacios naturales y limita la conexión entre los diferentes ecosistemas, pudiéndose convertir en una barrera a los movimientos de la vida silvestre.
- Implanta obligatoriamente a la contemplación humana la presencia demasiado artificial de estructuras metálicas totalmente incongruentes y extrañas al paisaje.

Para la valoración del perjuicio que causan a la propiedad las líneas aéreas eléctricas, se deben considerar los seis elementos siguientes:

- Longitud de la línea (elemento a).
- Situación de la línea con respecto a la topografía del terreno (elemento b). Si se trata de una cresta, b = 3; valle o zona llana, b = 2; y vaguada, b = 1.
- Anchura de la traza (elemento c). Más de 50 m de anchura, c = 3; de 20 a 50 m, c = 2; y menos de 20 m, c = 1.
- Visibilidad de la traza por la propiedad (elemento d). Elevada, d = 3; media, d = 2; baja, d = 1.

- Protección de territorio (elemento e): con figura de protección estatal o autonómica, e = 2; sin figura de protección, e = 1.
- Valor unitario de indemnización (elemento f), que se establece en 3,00 €

La indemnización (I) se obtiene multiplicando la longitud de la línea (a), por la suma de los factores correspondientes a la situación de la línea con respecto a la topografía del terreno (b), la anchura de la traza (c), la visibilidad de la traza por la propiedad (d), la protección de territorio (e) y por el valor unitario de indemnización (f):

$$I (\text{€}) = a \cdot (b + c + d + e) \cdot f$$

En el tendido, su longitud a = 881 m; según la topografía de la zona b = 2; según la anchura de la línea c = 1; según la visibilidad de la traza d = 2; según el nivel de protección del territorio e = 2; y el valor unitario de la indemnización f = 3,00 €, por consiguiente, la indemnización según este concepto, será: Indemnización (€) = 881 · (2 + 1 + 2 + 2) · 3 = 18.501 €. Esta cantidad, de manera semejante al caso anterior, habría que añadirla a la valoración de la pérdida de renta.

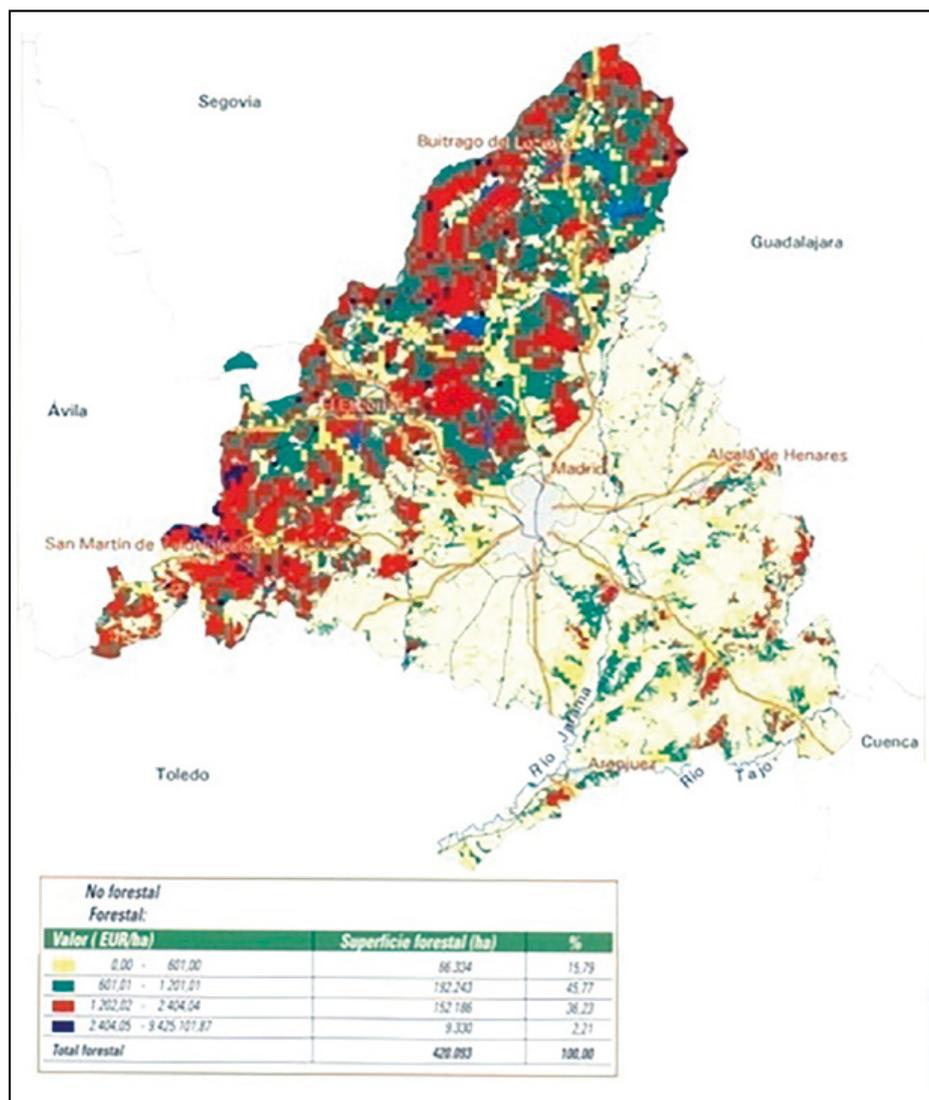


Figura 5. Valor económico del aspecto recreativo de la Comunidad de Madrid (Tercer Inventario Forestal de la Comunidad de Madrid).

Indemnización por pérdida de valores de uso social (aspecto recreativo)

La valoración del uso social, se determina capitalizando un flujo infinito de rentas iguales. Las rentas futuras son iguales a la presente e infinitas porque se asume la persistencia del activo natural en el estado actual (renta sostenible). La tasa de descuento que se debe emplear es del tipo STPR (*Social Time Preference Rate*), una tasa social que recoge las preferencias temporales de la comunidad que valora. El valor de la función de uso social, de acuerdo con lo establecido en el Tercer Inventario Forestal Nacional del Ministerio de Medio Ambiente, para la provincia de Madrid (Gil *et al.*, 2004)³⁰ está representado en la figura 5.

El valor medio escogido por semejanza con el monte de El Pardo por el tipo de vegetación, es de 5.914,57 €/ha, obteniéndose los valores de la tabla 3.

Tabla 3. Valor potencial recreativo de los sistemas forestales de la superficie del parque teórico afectado por los tendidos eléctricos

Tendido	Medio (€/ha)	Superficie (ha)	Total (€)
Tendido de 881 m	5.914,57	1,0576	6.255,25

6. PROPUESTA DE MEDIDAS CORRECTORAS

Siguiendo lo establecido por Arévalo *et al.* (2001)³¹, la estructura considerada como ideal para una calle de la traza de una línea eléctrica, viene determinada por las siguientes características:

- Que tenga el ancho preciso, para que los árboles que puedan constituir un riesgo para la línea cumplan sobradamente las distancias de seguridad, aunque ello implique una calle más ancha de las habituales en el presente (figura 6).
- Que posea unos bordes irregulares que le proporcionen un aspecto lo más naturalizado posible, con una disminución progresiva hacia el interior de la altura del arbolado, evitando cambios bruscos en la fisonomía de la formación vegetal (figuras 7, 8 y 9).
- Que posea un camino de servicio, que permita las labores de inspección y la entrada de los efectivos de extinción de incendios.
- Que se encuentre cubierta por especies forestales idóneas:
 - Especies pertenecientes a la flora autóctona y sobre todo climática (sin mantenimiento).
 - Especies pertenecientes a todos los estratos: arbóreo, arbustivo, subarbustivo y herbáceo.
 - Especies arbóreas con crecimiento en altura limitado.

³⁰ Gil, L.; Pardo, F.; Velasco, A.; López Santalla, A.; 2004, La transformación histórica del paisaje forestal en Madrid. Tercer Inventario Forestal Nacional 1997 – 2007. Ministerio de Medio Ambiente. Madrid, 219 pp.

³¹ Arévalo, J.; Arteta, I.; Bermejo, E.; Camps, S.; Domínguez, F.; Gómez, F.; Maza, J.; Molinero, S.; Moreno, L.; Morla, C.; Roig, J.; 2001. Inventario de la flora ibérica compatible con las líneas de alta tensión. Red Eléctrica de España. 445 pp (23-24).

- Especies con un marcado carácter pirófuco o ignífugo.
- Especies de los estratos inferiores con tallos blandos, fáciles de romper, no pringosos y sin espinas.
- Especies que posean un alto índice de concurrencia, muy competitivas y colonizadoras.
- Especies propias de suelos sueltos, que no invadan el camino o acceso practicado.

Para conseguir que las calles de las trazas de los tendidos eléctricos tengan la estructura considerada como ideal, se propone la revegetación de los árboles a extraer con especies arbustivas y arbóreas, que por su talla no interfieran en el futuro con los conductores y posea una estructura naturalizada de la vegetación a introducir, que se va a representar mediante mosaicos específicos.

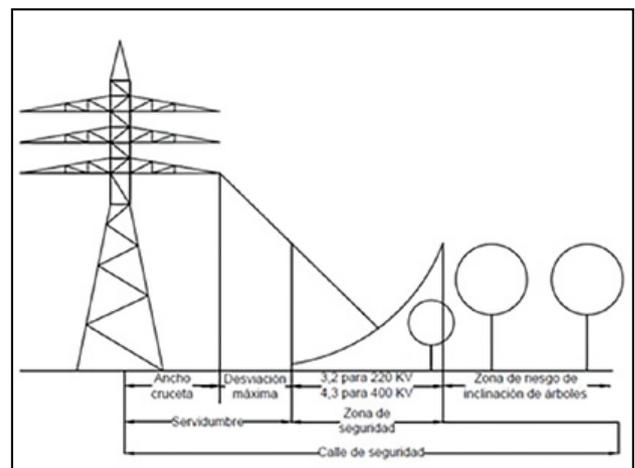


Figura 6. Estructura de una calle (elaboración propia).

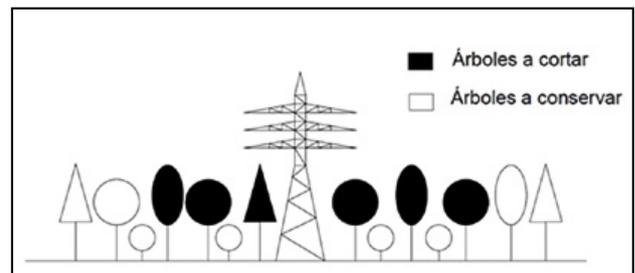


Figura 7. Perfil transversal de una calle de ancho variable (elaboración propia).

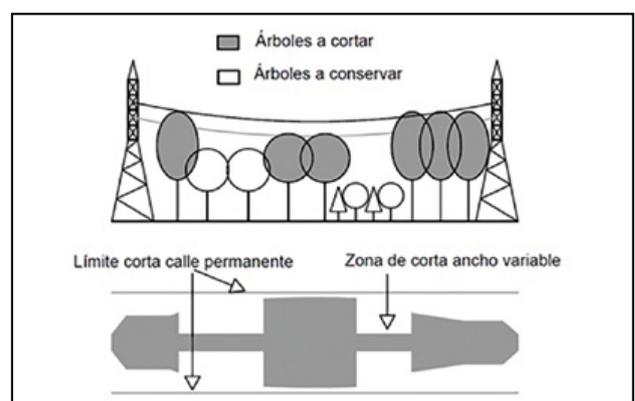


Figura 8. Perfil longitudinal de una línea con calle de ancho variable en terreno llano (elaboración propia).

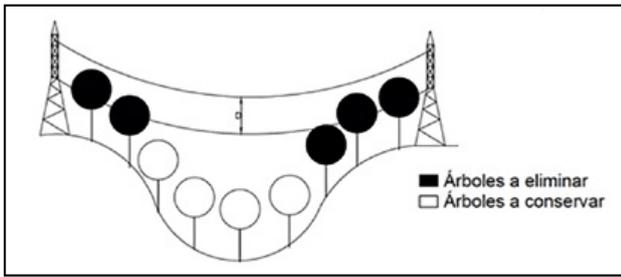


Figura 9. Perfil longitudinal de una línea con calle de ancho variable en vaguada (elaboración propia).

Las especies arbustivas y arbóreas que por su distribución, talla, combustibilidad e ICL (Índice de Compatibilidad con las Líneas de alta tensión), potencialmente se pueden utilizar para sustituir la vegetación que se elimine en las trazas de los tendidos eléctricos, se debe procurar que estén presentes en la zona de intervención o en su misma provincia corológica. Por ejemplo, para la Región Centro son las recogidas en la tabla 4.

La estructura horizontal que se presenta en los bosques mediterráneos, se compone de bosquetes de distintas especies, aunque dominadas por la presencia de *Pinus pinea*

Tabla 4. Especies seleccionadas para revegetar las zonas de los tendidos eléctricos de la Región Centro (elaboración propia)

Especie	Nombre común	Alt. máx. (m)	Diám. copa máx. (m)	ICL
Árboles				
<i>Arbutus unedo</i>	Madroño	5	4	11
<i>Acer monspessulanum</i>	Arce	6	4,5	12
<i>Cornus sanguinea</i>	Cornizo	4	2	10
<i>Corylus avellana</i>	Avellano	8	3,5	10
<i>Crataegus monogyna</i>	Majuelo	4	2,5	9
<i>Eleagnus angustifolia</i>	Árbol del paraíso	10	3,5	11
<i>Malus sylvestris</i>	Manzano silvestre	12	3,5	8
<i>Pistacia terebinthus</i>	Cornicabra	5	2	8
<i>Pyrus pyraister</i>	Peral silvestre	7	3	8
<i>Salix atrocinerea</i>	Sauce	10	3,5	13
<i>Salix purpurea</i>	Sargatillo	6	2,5	13
Arbustos				
<i>Adenocarpus hispanicus</i>	Cambrño	1,5	1,5	11
<i>Amelanchier ovalis</i>	Guillomo	3	2	11
<i>Arctostaphylos uva-ursi</i>	Gayuba	0,3	1	12
<i>Artemisia campestris</i>	Artemisia campestre	1	0,5	15
<i>Arthrocnemum macrostachyum</i>	Solicuernos	1,5	1	15
<i>Arundo donax</i>	Caña común	4	1,5	10
<i>Artiplex halimus</i>	Orzaga	2,5	1,5	15
<i>Calluna vulgaris</i>	Brecina	0,8	0,5	12
<i>Cistus albidus</i>	Estepa blanca	1,2	1	9
<i>Colutea arborescens</i>	Espantalobos	5	2	11
<i>Coronilla juncea</i>	Coronilla verde	1,2	0,75	13
<i>Daphne gnidium</i>	Torvisco	1,5	1	15
<i>Dorycnium pentaphyllum</i>	Mijediega	1	0,5	14
<i>Erica arborea</i>	Brezo blanco	7	3	11
<i>Euonymus europaeus</i>	Bonetero	6	3	12
<i>Frangula alnus</i>	Arraclán	3	2,5	10
<i>Genista cinerascens</i>	Hiniesta	1,5	1	11
<i>Genista florida</i>	Escobón	2,5	1,5	8
<i>Genista hirsuta</i>	Tojo	1	0,5	8
<i>Ilex aquifolium</i>	Acebo	5	3	10
<i>Juniperus comunis</i>	Enebro común	6	2,5	8
<i>Ligustrum vulgare</i>	Aligustre	2	2,5	11
<i>Prunus spinosa</i>	Endrino	2	3,5	9
<i>Quercus coccifera</i>	Coscoja	2	2	11

Continúa en la página siguiente

Especie	Nombre común	Alt. máx. (m)	Diám. copa máx. (m)	ICL
<i>Rhamnus alaternus</i>	Aladierno	4	2,5	8
<i>Ruscus aculeatus</i>	Acebillo	0,8	0,5	
<i>Rubia peregrina</i>	-	1	1	14
<i>Rosmarinus officinalis</i>	Romero	1,5	0,75	13
<i>Sambucus nigra</i>	Sauco	5	3	12
<i>Tamarix africana</i>	Taray	3	2,5	12
<i>Thymus sp.</i>	Tomillo	0,5	0,5	14

y *Quercus ilex*. Además, suelen existir algunos claros y zonas de vegetación de ribera en torno a los arroyos que los atraviesan. Esta es la estructura que se va a utilizar en las repoblaciones destinadas a la restauración de las zonas de influencia de las líneas eléctricas. Desde el punto de vista de la estructura vertical de la vegetación, el conjunto que se formará estará compuesto fundamentalmente por árboles y arbustos, aunque el árbol como elemento organizador del espacio constituirá la parte fundamental de los bosquetes creados, tanto por su proporción como por su distribución.

La forma de los árboles es fundamental para su percepción en el conjunto del paisaje, y dentro de este apartado se consideran tres aspectos: estructura, se refiere a la silueta, que viene dado por el porte final del individuo; textura, que depende fundamentalmente de las hojas, en este caso se están usando especies en su mayoría caducifolias, lo que hace que la textura varíe sustancialmente a lo largo del año; también existe una variación importante en la forma, color, abundancia, inserción, etc. entre las especies seleccionadas. El color, que es la cualidad visual más importante, será básicamente el verde, pero como se producen variaciones a lo largo del año, y además los tonos son diferentes en las distintas especies, se producirán diversas sensaciones. En lo que se refiere a la vegetación arbustiva, sus funciones son utilitarias y estéticas, aunque no funcionan como organizadores del espacio, sino sólo como plantas acompañantes, serán parte de los bosquetes creados.

Para conseguir el objetivo de revegetación de la superficie afectada por las cortas, se van a diseñar una serie de teselas, que son modelos de distribución de vegetación que usando las especies elegidas anteriormente se asignarán a diversas partes de las zonas que se quiere recuperar. Para el diseño de estas teselas se han tenido en cuenta los espaciamientos asignados a cada una de las especies, teniendo en cuenta la altura, la forma y distribución de las raíces, el temperamento (en su mayoría se trata de especies de luz) y fundamentalmente el diámetro de la copa y por lo tanto su superficie proyectada. Complementariamente, los diseños se han pensado para el porte final de las especies, considerando un árbol medio, por ello, aunque a la hora de la plantación los espaciamientos parezcan excesivos deben ser así para evitar una superposición de las copas en el futuro o un mal desarrollo de los pies plantados.

Para el diseño de los modelos se evita la tangencia de copas, así como que los arbustos queden bajo la proyección de la copa de los árboles. También se busca una mezcla específica en cada una de las teselas. Por otra parte, se busca una distribución irregular de los pies, que aunque complica las tareas de plantación se asemeja más a la estructura de bosque natural. Estas teselas variarán, tanto en su composición específica como en superficie y en forma, para ir adaptando al espacio disponible y proporcionen la estructura irregular, también irán acompañadas de una tabla explicativa que contará con los siguientes parámetros:

- Superficie total aproximando a un polígono para facilitar el diseño final.
- Especies utilizadas, tanto arbóreas como arbustivas.
- Superficie ocupada por cada uno de los individuos.

En la tabla 5 y en la figura 10, se pueden ver las características de un modelo de tesela de 76,48 m² de superficie, con dos ejemplares de *Arbutus unedo*, uno de *Juniperus comunis* y otro de *Adenocarpus hispanicus* que ocupan 44,84 m².

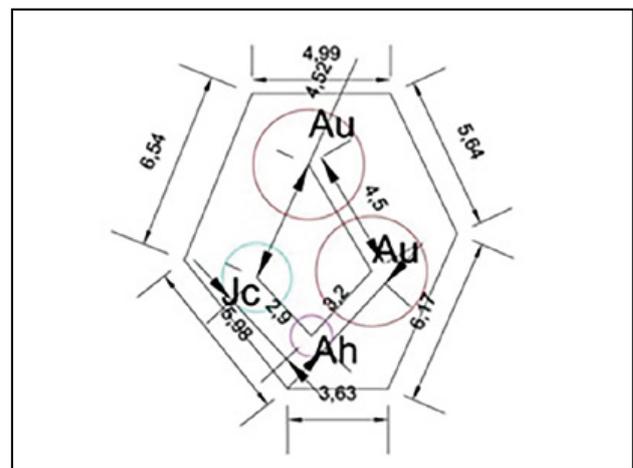


Figura 10. Modelo 1 de tesela (elaboración propia).

Tras seleccionar los modelos de teselas apropiados, se presenta en la figura 11 una simulación de cómo se pueden ubicar en una traza de tendido eléctrico, en la cual se establece una restauración completa del vano y en el que

Tabla 5. Características del modelo 1 de tesela

Especies	Número	Superficie ocupada por individuo (m ²)	Superficie ocupada por especie (m ²)	Superficie total ocupada (m ²)	Superficie total (m ²)
<i>Arbutus unedo</i> (Au)	2	12,56	25,12		
<i>Adenocarpus hispanicus</i> (ah)	1	1,77	7,39	44,84	76,48
<i>Juniperus comunis</i> (Jc)	1	4,91	12,32		

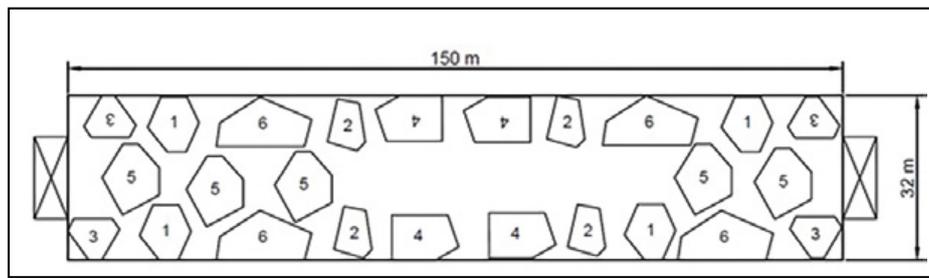


Figura 11. Modelo de restauración de un vano de una línea eléctrica con teselas de vegetación (elaboración propia).

la influencia de la línea eléctrica entre dos torres es de 150 m x 32 m, ocupando una superficie total de 0,48 hectáreas. Para ello, se han colocado las teselas con especies de mayor crecimiento cercanas a las torres, y las de menor crecimiento, más próximas al centro del vano. No existe en ningún caso convergencia entre las teselas, de tal modo que se favorece que exista un mayor espaciamiento y por tanto menor cantidad de combustible, algo que se acentúa hacia el centro del vano.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Arévalo, J., Arteta, I., Bermejo, E.; Camps, S., Domínguez, F., Gómez, F., Maza, J., Molinero, S., Moreno, L., Morla, C., y Roig, J. (2001). *Inventario de la flora ibérica compatible con las líneas de alta tensión*. Red Eléctrica de España, pp. 6-24.
http://www.bde.es/webbde/es/estadis/infoest/si_1_2.pdf
 BOE 224, de 18 de septiembre de 2002.
 BOE 68, de 19 de marzo de 2008.
 BOE 285, de 28 de noviembre de 1997.
 BOE 68, de 19 de marzo de 2008.
 BOE 224, de 18 de septiembre de 2002.
 BOE 222, de 13 de septiembre de 2008.
 BOE 261, de 31 de octubre de 2015.
 BOE 270, de 9 de noviembre de 2011.
 Comunidad de Madrid (2014). *Plan energético de la Consejería de Economía y Hacienda*, capítulo 2, pp. 7-16. En http://www.madrid.org/cs/Satellite?c=CM_Planes_FA&cid=1142427447856&idConsejeria=1109266187242&idListConsj=1109265444710&language=es&pagename=ComunidadMadrid%2FEstructura&sm=1109265843983
 Courtin, J. P. (1971). Vers l'indemnisation du préjudice esthétique? Application aux lignes de transport d'énergie en zone de montagne. *Revue Forestière Française*, 5, pp. 554-558.
 Cubo, J. E., Enríquez, E., Gallar, J. J., Jemes, V., López, M., Mateo, M. L., Muñoz, A., y Parra, P. J. (2012). *Los incendios forestales en España. Decenio 2001-2010*. Madrid: Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, pp. 17-19, 48-50, 67-70.
 Électricité de France (2008). <http://entreprises.edf.com/electricite/basse-tension-et-puissance-inferieure-a-36-kva-205068.html>
 Feintuch, P., y Lenci, C. (1974). Lignes électriques et incendies de forêts. *Revue Forestière Française*. Número especial, pp. 99-104.
 Ferrer, M., de la Riva, M., y Castroviejo, J. (1991). Electrocutation of raptors on power lines in southwestern Spain. *Journal of Field Ornithology*, 62, pp. 181-190.
 Gandullo, J. M., y Serrada, R. (1987). Mapa de Productividad Potencial Forestal de la España Peninsular. En Rivas Martínez, S. (1987). *Memoria del mapa de series de vegetación de España*. MAPA, ICONA.
 Gil, L., Pardo, F., Velasco, A., y López Santalla, A. (2004). *La transformación histórica del paisaje forestal en Madrid. Tercer Inventario Forestal Nacional 1997 - 2007*. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente.
 Haas, D. (1980). Endangerment of four large birds by electrocution: a documentation. *Ecology of Birds. Ökolgle der Vögel*, 2, pp. 7-57.
 Heijnis, R. (1980). Bird mortality from collision with conductors for maximum tension. *Ecology of Birds. Ökolgle der Vögel*, 2, pp. 111-129.
 Lorenzo, J. A., y Ginovés J. (2007). *Mortalidad de aves en los tendidos eléctricos de los ambientes esteparios de Lanzarote y Fuerteventura, con especial referencia a la avutarda hubara*. SEO/Bird-Life. La Laguna, Tenerife, pp. 19-24.
 Luna, J. P. (2004). La energía y el territorio. Análisis y evaluación de las interrelaciones. Caso de la Comunidad de Madrid. *Cuadernos de Investigación Urbanística*, 39, pp. 52-54.
 Michener, H. (1928). Where engineer and ornithologist meet: Transmission line troubles caused by birds. *The Condor*, 30 (3), pp. 169-175.
 Mieres, J. A., y Palazuelos, E. (1996). Alternativas para un sistema de gestión medioambiental de líneas eléctricas. *II Jornadas sobre líneas eléctricas y medio ambiente, Madrid, 22-23 de mayo de 1996*.
 Olendorff, R. R., Miller, A. D., y Lehman, R. N. (1981). Suggested Practices for Raptor Protection on Power Lines. The State of the Art in 1981. *Journal of Raptor Research*, 4, pp. 159-170.
 Porrero, M. A. (2001). *Incendios forestales. I. Investigación de causas*. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa, pp. 93-102.
 Red Eléctrica de España S.A. (2014). *Comunicación personal*.
 Roig, J., y Rodríguez, A. (1996). Los costes ambientales en la gestión ambiental de la red de transporte de energía eléctrica. *II Jornadas sobre líneas eléctricas y medio ambiente, Madrid, 22-23 de mayo de 1996*.
 Ruiz, P. (2006). Endesa niega que la línea eléctrica de alta tensión tenga interés urbanístico. *El Mundo* (08.06.06).
 SEOBirdlife. <http://www.seo.org/2012/07/05/legislacion-nacional-lineas-electricas/>
 SEOBirdlife. <http://www.seo.org/2012/04/17/tendidos-electricos-y-aves/>
 Servicios Forestales de la Comunidad de Madrid.
 Turcek, F. J. (1960). On the damage by birds to power and communication lines. *Bird Study*, 7 (4), pp. 231-236.