



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA
(ICAI)

GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS
INDUSTRIALES

Especialidad Eléctrica

**ESTUDIO Y COMPARATIVA
ECONÓMICA DE 3 TIPOS DE APOYOS
Y DISEÑO DE 2 DE ELLOS PARA LOS
APOYOS 510 Y 519 DE LA LAT SS
HIBRIDACIÓN TERMOSOLAR – STR
VILLAFRANCA**

Autor: Javier Ochoa de Aspuru Aguilar

Director: María Inmaculada Blázquez García

Madrid

Junio y 2019

AUTORIZACIÓN PARA LA DIGITALIZACIÓN, DEPÓSITO Y DIVULGACIÓN EN RED DE PROYECTOS FIN DE GRADO, FIN DE MÁSTER, TESIS O MEMORIAS DE BACHILLERATO

1º. Declaración de la autoría y acreditación de la misma.

El autor D. Javier Ochoa de Aspuru Aguilar

DECLARA ser el titular de los derechos de propiedad intelectual de la obra: ESTUDIO Y COMPARATIVA ECONÓMICA DE 3 TIPOS DE APOYOS Y DISEÑO DE 2 DE ELLOS PARA LOS APOYOS 510 Y 519 DE LA LAT SS HIBRIDACIÓN TERMOSOLAR – STR VILLAFRANCA, que ésta es una obra original, y que ostenta la condición de autor en el sentido que otorga la Ley de Propiedad Intelectual.

2º. Objeto y fines de la cesión.

Con el fin de dar la máxima difusión a la obra citada a través del Repositorio institucional de la Universidad, el autor **CEDE** a la Universidad Pontificia Comillas, de forma gratuita y no exclusiva, por el máximo plazo legal y con ámbito universal, los derechos de digitalización, de archivo, de reproducción, de distribución y de comunicación pública, incluido el derecho de puesta a disposición electrónica, tal y como se describen en la Ley de Propiedad Intelectual. El derecho de transformación se cede a los únicos efectos de lo dispuesto en la letra a) del apartado siguiente.

3º. Condiciones de la cesión y acceso

Sin perjuicio de la titularidad de la obra, que sigue correspondiendo a su autor, la cesión de derechos contemplada en esta licencia habilita para:

- a) Transformarla con el fin de adaptarla a cualquier tecnología que permita incorporarla a internet y hacerla accesible; incorporar metadatos para realizar el registro de la obra e incorporar “marcas de agua” o cualquier otro sistema de seguridad o de protección.
- b) Reproducirla en un soporte digital para su incorporación a una base de datos electrónica, incluyendo el derecho de reproducir y almacenar la obra en servidores, a los efectos de garantizar su seguridad, conservación y preservar el formato.
- c) Comunicarla, por defecto, a través de un archivo institucional abierto, accesible de modo libre y gratuito a través de internet.
- d) Cualquier otra forma de acceso (restringido, embargado, cerrado) deberá solicitarse expresamente y obedecer a causas justificadas.
- e) Asignar por defecto a estos trabajos una licencia Creative Commons.
- f) Asignar por defecto a estos trabajos un HANDLE (URL *persistente*).

4º. Derechos del autor.

El autor, en tanto que titular de una obra tiene derecho a:

- a) Que la Universidad identifique claramente su nombre como autor de la misma
- b) Comunicar y dar publicidad a la obra en la versión que ceda y en otras posteriores a través de cualquier medio.
- c) Solicitar la retirada de la obra del repositorio por causa justificada.
- d) Recibir notificación fehaciente de cualquier reclamación que puedan formular terceras personas en relación con la obra y, en particular, de reclamaciones relativas a los derechos de propiedad intelectual sobre ella.

5º. Deberes del autor.

El autor se compromete a:

- a) Garantizar que el compromiso que adquiere mediante el presente escrito no infringe ningún derecho de terceros, ya sean de propiedad industrial, intelectual o cualquier otro.
- b) Garantizar que el contenido de las obras no atenta contra los derechos al honor, a la intimidad y a la imagen de terceros.
- c) Asumir toda reclamación o responsabilidad, incluyendo las indemnizaciones por daños, que

podieran ejercitarse contra la Universidad por terceros que vieran infringidos sus derechos e intereses a causa de la cesión.

- d) Asumir la responsabilidad en el caso de que las instituciones fueran condenadas por infracción de derechos derivada de las obras objeto de la cesión.

6º. Fines y funcionamiento del Repositorio Institucional.

La obra se pondrá a disposición de los usuarios para que hagan de ella un uso justo y respetuoso con los derechos del autor, según lo permitido por la legislación aplicable, y con fines de estudio, investigación, o cualquier otro fin lícito. Con dicha finalidad, la Universidad asume los siguientes deberes y se reserva las siguientes facultades:

- La Universidad informará a los usuarios del archivo sobre los usos permitidos, y no garantiza ni asume responsabilidad alguna por otras formas en que los usuarios hagan un uso posterior de las obras no conforme con la legislación vigente. El uso posterior, más allá de la copia privada, requerirá que se cite la fuente y se reconozca la autoría, que no se obtenga beneficio comercial, y que no se realicen obras derivadas.
- La Universidad no revisará el contenido de las obras, que en todo caso permanecerá bajo la responsabilidad exclusiva del autor y no estará obligada a ejercitar acciones legales en nombre del autor en el supuesto de infracciones a derechos de propiedad intelectual derivados del depósito y archivo de las obras. El autor renuncia a cualquier reclamación frente a la Universidad por las formas no ajustadas a la legislación vigente en que los usuarios hagan uso de las obras.
- La Universidad adoptará las medidas necesarias para la preservación de la obra en un futuro.
- La Universidad se reserva la facultad de retirar la obra, previa notificación al autor, en supuestos suficientemente justificados, o en caso de reclamaciones de terceros.

Madrid, a 10 de Junio de 2019

ACEPTA



Fdo. Javier Ochoa de Aspuru Aguilar

Motivos para solicitar el acceso restringido, cerrado o embargado del trabajo en el Repositorio Institucional:

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título
ESTUDIO Y COMPARATIVA ECONÓMICA DE 3 TIPOS DE APOYOS Y
DISEÑO DE 2 DE ELLOS PARA LOS APOYOS 510 Y 519 DE LA LAT SS
HIBRIDACIÓN TERMOSOLAR – STR VILAFRANCA

en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el
curso académico 2018-2019 es de mi autoría, original e inédito y
no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos. El Proyecto no es
plagio de otro, ni total ni parcialmente y la información que ha sido tomada
de otros documentos está debidamente referenciada.

Fdo.: Javier Ochoa de Aspuru Aguilar

Fecha: 10/06/2019



Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO

BLAZQUEZ
GARCIA
MARIA

Firmado
digitalmente por
BLAZQUEZ GARCIA
MARIA
INMACULADA -

Fdo.: ~~MARIA GARCIA~~ Inmaculada Blazquez García

Fecha: 10/06/2019

- 46885278P

Fecha: 2019.06.10
19:02:44 +02'00'



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA
(ICAI)

GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS
INDUSTRIALES

Especialidad Eléctrica

**ESTUDIO Y COMPARATIVA
ECONÓMICA DE 3 TIPOS DE APOYOS Y
DISEÑO DE 2 DE ELLOS PARA LOS
APOYOS 510 Y 519 DE LA LAT SS
HIBRIDACIÓN TERMOSOLAR – STR
VILLAFRANCA**

Autor: Javier Ochoa de Aspuru Aguilar

Director: María Inmaculada Blázquez García

Madrid

Junio y 2019

Índice

DOCUMENTO N°1 - MEMORIA.....	11
Abreviaturas empleadas	13
Índice de Figuras	15
Índice de Tablas	17
Resumen	19
Abstract	21
1. Contexto	23
1.1. Historia de las telecomunicaciones asociadas al sector eléctrico.....	23
1.2. Tipos de cables de telecomunicaciones	28
1.3. Clasificaciones de apoyos	33
1.4. Contexto del proyecto	46
2. Estado de la cuestión.....	49
3. Justificación de la elección del cable de fibra	51
4. Cálculos justificativos	53
4.1. Cálculos de las distancias de seguridad para el apoyo 510	53
4.2. Cálculos de las distancias de seguridad para el apoyo 519	57
5. Comparativa económica.....	63
5.1. Apoyo 510.....	63
5.2. Apoyo 519.....	65
5.3. Análisis de los resultados	66
DOCUMENTO N°2 - ANEXOS.....	71
Anexo I – Diseño de los apoyos.....	73
1.1. Librerías	73
1.2. Geometría.....	75
1.3. Geometría.....	76
DOCUMENTO N°3 - PLANOS	81
BIBLIOGRAFÍA.....	91

DOCUMENTO N°1 - MEMORIA

Abreviaturas empleadas

- LAT Línea de Alta Tensión
- kV Kilovoltios
- RLAT Reglamento de Líneas de Alta Tensión
- RTU unidades remotas de adquisición de datos y control en campo
- CEI Comité Electrotécnico Internacional
- ETSI Instituto Europeo de Estandarización de Telecomunicaciones
- OPGW Cable Óptico de Tierra
- REE Red Eléctrica de España
- PLC Power Line Communications
- FOADK Cable de Fibra Óptica Autosoportado Dieléctrico con refuerzo de Aramida
- m Metros
- km Kilómetros
- h Hora

Índice de Figuras

Ilustración 1. Constitución del cable OPGW	29
Ilustración 2. Constitución del cable FOADK	31
Ilustración 3. Apoyo autosoportado.....	34
Ilustración 4. Torre en V atirantada.....	34
Ilustración 5. Cadenas de suspensión	35
Ilustración 6. Cadena de amarre	36
Ilustración 7. Apoyo de alineación	36
Ilustración 8. Apoyo de ángulo	37
Ilustración 9. Apoyo de anclaje	37
Ilustración 10. Apoyo fin de línea	38
Ilustración 11. Apoyo especial con derivación.....	38
Ilustración 12. Apoyo de presilla.....	39
Ilustración 13. Apoyo de celosía	40
Ilustración 14. Apoyo tubular de chapa plegada	41
Ilustración 15. Poste de hormigón	42
Ilustración 16. Apoyo tubular de hormigón	43
Ilustración 17. Poste de madera.....	43
Ilustración 18. Apoyo tubular de madera laminada.....	44
Ilustración 19. Línea de apoyos de fibra de vidrio	45
Ilustración 20. Modelo de apoyo tubular de fibra de vidrio	46
Ilustración 21. Tendido de cable OPGW.....	51
Ilustración 22. Tendido de cable FOADK.....	51
Ilustración 23. Cabeza del apoyo 510.....	53
Ilustración 24. Cabeza del apoyo 519.....	58
Ilustración 25. Esquema de distancias mínimas para el balanceo del aislador.....	60
Ilustración 26. Porcentajes de uso de los apoyos.....	76
Ilustración 27. Porcentaje de uso del apoyo 510 de hormigón.....	77
Ilustración 28. Porcentaje de uso del apoyo 510 de chapa plegada.....	77
Ilustración 29. Porcentaje de uso del apoyo 519 de hormigón.....	78
Ilustración 30. Porcentaje de uso del apoyo 519 de chapa plegada.....	78

Índice de Tablas

Tabla 1. Tipos normalizados. Características esenciales, designación y códigos de cables OPGW	29
Tabla 2. Composición del núcleo óptico del OPGW.....	30
Tabla 3. Tipos normalizados. Características esenciales, designación y código de cables FOADK	31
Tabla 4. Composición del núcleo óptico del FOADK.....	32
Tabla 5. Coeficiente K en función del ángulo de oscilación	54
Tabla 6. Distancias entre conductores en el apoyo 510.....	55
Tabla 7. Tensiones de las líneas	57
Tabla 8. Distancias de aislamiento eléctrico para evitar descargas	57
Tabla 9. Distancias entre conductores en el apoyo 519.....	58
Tabla 10. Comparativa económica del apoyo 510. Obra civil, montaje y desmontaje ..	64
Tabla 11. Comparativa económica del apoyo 510. Materiales.....	64
Tabla 12. Comparativa económica del apoyo 510. Precios totales	64
Tabla 13. Comparativa económica del apoyo 519. Obra civil, montaje y mano de obra	65
Tabla 14. Comparativa económica del apoyo 519. Materiales.....	66
Tabla 15. Comparativa económica del apoyo 519. Precios totales	66

Resumen

En este proyecto se quiere realizar una comparativa económica entre tres tipos diferentes de apoyos para líneas eléctricas aéreas, atendiendo al material y a la forma, con el objetivo de determinar cuál de los tres es más económico y se debe instalar.

Para la ejecución de este estudio económico se va a utilizar la LAT 66 kV SS HIBRIDACIÓN TERMOSOLAR – STR VILLAFRANCA. Se ha seleccionado esta línea porque se ha realizado un proyecto de tendido de cable de fibra óptica mediante cable dieléctrico autosoportado y eso ha provocado unos sobreesfuerzos en los apoyos y se necesita inspeccionar cada uno de los apoyos y ver cuáles se pueden mantener y cuáles hay que cambiar por otros más resistentes.

En primer lugar, se realiza el tendido del cable de fibra óptica mediante el software PLS-CADD. Este programa permite realizar tendidos de líneas eléctricas (tanto de los conductores como de los cables de tierra y de fibra). Además de realizar el complejo trabajo del tendido de cables, este programa permite ver las cargas mecánicas a las que se van a ver sometidos los apoyos.

Una vez que se ha realizado el tendido se observa uno a uno cada apoyo de la línea y se obtiene si se tiene que cambiar o se puede mantener. Esto dependerá de la carga nueva que debe soportar el apoyo debido al tendido de la fibra óptica. En algunos casos se observa que los apoyos aguantan, pero hay otros que no y serán estos los que sean objeto de estudio.

En este proyecto se han seleccionado los apoyos 510 y 519 debido a que es necesario cambiarlos por unos más resistentes puesto que los apoyos existentes no aguantan las nuevas cargas a las que se van a ver sometidos. El primero se trata de un amarre en ángulo y el segundo se trata de una suspensión en alineación. Con esto se quiere ver, además de cuál de los tres tipos que se va a estudiar es más económico, cómo afecta la función que realiza el apoyo en la línea al precio del apoyo y si esto puede determinar que se seleccione un tipo u otro de apoyo según la función que se quiera que el apoyo realice en la línea.

Una vez se han elegido los apoyos que se van a estudiar, se procede al diseño de los nuevos apoyos. En el proyecto se van a comparar los apoyos de celosía, los de chapa plegada y los tubulares de hormigón. Debido a que se trata de una línea de media tensión, en la que todo está normalizado, se ha considerado poco relevante realizar el diseño de los apoyos de celosía, que por otra parte son los más empleados en España. Por tanto el proyecto se va a centrar en el diseño del apoyo tubular de chapa plegada y en el apoyo tubular de hormigón, tanto para el caso del apoyo de amarre (apoyo 510) como para el caso del apoyo de suspensión (apoyo 519).

Para el diseño de estos apoyos se ha empleado el software PLS-POLE. Este programa permite realizar el diseño de apoyos tubulares de todos los materiales que se emplean hoy en día para la fabricación de estos apoyos. Dado que los más comunes son los de chapa plegada y los de hormigón, son los que se van a diseñar.

Antes de realizar el diseño se ha calculado, para la tensión de la línea, las distancias de seguridad que se tienen que cumplir por norma para proporcionar al entorno de la línea la seguridad necesaria. Por ello se deben guardar unas distancias mínimas a los elementos

que están puestos a tierra y unas distancias mínimas de los conductores con respecto al suelo.

Tras el cálculo de las distancias de seguridad necesarias para diseñar el apoyo, se ha tomado como referencia las medidas del apoyo C-9000-22 del tipo T del catálogo del fabricante de apoyos de celosía Imedexsa para el apoyo 510. Para el apoyo 519 se ha utilizado como modelo el apoyo definido por Iberdrola en su regla MT 2.23.50, 61T150 del tipo 4.5TA.

Para asegurarse de que se cumplen las distancias mínimas que se ha mencionado antes se comprueba si dichas distancias de seguridad se respetan en los apoyos que se han elegido como modelo. Siempre se deberá diseñar con unas dimensiones que permitan tener cierto margen respecto a estas medidas de seguridad, para que ante cualquier problema no se produzca ninguna incidencia en la que estas distancias no se cumplan.

Tras las pertinentes comprobaciones se procede al diseño de los apoyos con el POLE. En primer lugar se diseñan los dos modelos de chapa plegada (el que se va a emplear para el apoyo 510 y el que se va a utilizar en el 519) y posteriormente los dos de hormigón (el del 510 y el del 519).

Una vez se tienen los modelos en POLE es necesario someterlos a las cargas a las que se van a ver sometidos para comprobar que estos apoyos que se han modelado se ajustan a las exigencias que se quiere. Para ello cada uno de los apoyos se coloca en su posición en la línea (que se tiene modelada en PLS-CADD) y se comprueba que aguantan los esfuerzos de manera que se optimice el apoyo, empleando la menor cantidad posible de material para reducir costes, pero que a su vez resista lo que se quiere. Los apoyos en este caso se han ajustado para que estén exigidos entre un 80 y un 90% de su capacidad total, a excepción del apoyo de hormigón para el 519, que se ha dejado en un 57.3% de carga porque la estructura no se podía reducir más ya que colapsaría y se vendría abajo debido a su excesiva esbeltez.

Tras el modelado de los apoyos se procede a hacer la comparativa económica para las dos posiciones de la línea. Se han tenido en cuenta los aspectos de la obra civil, de mano de obra, del desmontaje de los apoyos que se van a sustituir y de sus elementos, del montaje del nuevo apoyo y sus elementos y el coste de los materiales que se van a emplear.

Una vez se ha realizado el estudio económico se concluye qué tipo de apoyo es el más económico y cuál interesa más utilizar. Se puede ver que si se quiere cambiar sólo un apoyo es más económico utilizar el de hormigón, después el de chapa plegada y por último el de celosía que es el que tiene un coste unitario mayor. Sin embargo, si se quiere construir una línea desde cero, los vanos que se pueden hacer con los de celosía son más largos que con los tubulares (tanto con los de chapa como con los de hormigón). Esto provoca que haya que emplear un número mayor de apoyos si la línea se hace con apoyos tubulares que si se hiciera con los de celosía. Asimismo supondría hacer mayor número de accesos a los apoyos y finalmente supondría un coste mayor de la línea que si se emplearan los apoyos de celosía. Por tanto, dependiendo de en qué situación se encuentre el proyectista, se recomienda emplear un tipo u otro de apoyo.

Abstract

In this project it is going to be done an economic comparison among three different types of towers for high voltage transmission lines. This comparison is going to be done depending on the material that composes the tower and its shape. The aim of this project is to conclude which type is cheaper and in consequence, has to be built.

For this project it has been selected the transmission line called LAT 66 kV SS HIBRIDACIÓN TERMOSOLAR – STR VILAFRANCA. This line has been chosen because it has been done a project for hanging an optic fibre cable that contains no metallic components. This new cable produces new tensions on the towers, and it is necessary to make an inspection so it can be determined which towers need to be changed and which can be maintained.

First of all, it is modelled the overhead wires of the line, including the optic cable. This is made with PLS-CADD, an specific software that allows to model the overhead cables of a line. In addition, this software calculates the loads that each tower has to support.

When the electric line is modelled, it is necessary to see one by one if the old towers are capable to support the new loads. If not, the towers have to be changed and those are the ones that are going to be studied.

In this project there have been chosen towers 510 and 519 because they have to be substituted due to the loads that the optic wire produces on the towers. Tower number 510 is an strained tower that makes an angle in the line and tower 519 is a suspension tower which is located on a straight path of the line. In this two cases it is going to be studied which of the three types of tower is cheaper and if the function that they have on the line has influence on the price of the tower.

Now that it is known the towers that are going to be studied, two of the tree types of towers that are going to be compared are designed. In this project there are going to be studied and compared lattice towers, metal poles and concrete poles. Because everything is normalized in distribution lines, it is considered not relevant to design lattice towers for this project, so there have been designed metal poles and concrete poles for towers 510 and 519.

For the design of the poles it has been used an specific software called PLS-POLE. This program permits the user to model every kind of pole made of every material that is used nowadays for building poles. Because the most common materials are metal and concrete, it is going to be designed one pole of each material for tower 510 and for tower 519.

Before making each model, it is necessary to ensure that security distances are respected. These distances have to be respected compulsory due to RLAT. It is needed to calculate distances to ground elements (voltage equal to 0) and the height that conductors have to the ground.

After these calculations, for designing the poles, there have been taken two lattice towers as guide to design the poles. For tower 510 it has been taken model C-9000-22 type T from the catalogue of Imedexsa and for tower 519 it has been chosen model 61T150 TA4.5 from Iberdrola's catalogue MT 2.23.50.

To make sure that these models accomplish with the security distance, are done the calculations that are necessary to prove that distances are enough. Although the distances are respected, is always needed to design with a little bigger distance. This has to be this way because distances have to be respected even if there is any problem that makes that the distance to critic elements is reduced.

After making sure that everything is respected, the design is maken. Firstly, are done metallic pole models for tower 510 and 519 and then are designed concrete model poles for towers 510 and 519.

When the models are done it is necessary to see if they are able to support the loads. Each model is introduced in the distribution line model that was made in PLS-CADD and it is proven that the model is properly designed. Each pole is optimized to use the less material possible to reduce costs but making sure that the pole support the loads. Each model is adjusted between 80 and 90% of usage, excepting the concrete pole for tower 519 that it has a usage of 57.3% because the structure couldn't be thinner due to the model would collapse in case that it is made thinner.

After modelling, it is done the economic comparison for each position in the line (towers 510 and 519). For this study it has been taken into account the civil construction, the set up, and the dismantling of the older towers and its elements and also the materials that are needed for each tower.

When the economic study is ended it is concluded that the choice of the tower depends on the context of the project. Lattice towers have the more expensive unitary cost, then the steel pole and then the concrete pole. However, if the line has to be constructed from the beginning, are needed more poles than lattice towers because the distance between two poles are smaller than the distance between two lattice towers, so in the end is cheaper to take lattice towers than poles in this case.

1. Contexto

1.1. Historia de las telecomunicaciones asociadas al sector eléctrico

Se puede considerar que la actividad eléctrica en España data del año 1852 cuando el farmacéutico Domenech fue capaz de iluminar su botica en Barcelona empleando un método propio para generar electricidad. Ese mismo año se hicieron pruebas de iluminación en Madrid con una pila galvánica. Sin embargo, hasta el último cuarto del siglo XIX no se puede considerar que en España se estuviera produciendo el desarrollo de la energía eléctrica.

Los primeros avances se produjeron en Barcelona gracias a la Escuela de Ingenieros Industriales de Barcelona que fueron los precursores en este campo, haciendo varias pruebas de iluminación de varias calles mediante máquinas de vapor y algunas demostraciones de arcos voltaicos ante el rey Alfonso XII.

Estas pruebas fueron un éxito y supusieron la implantación de la energía eléctrica en el ámbito industrial para iluminación y producción de energía electromotriz. Todo este desarrollo se aceleró todavía más a partir de 1881 con la invención de la lámpara incandescente por Thomas Edison en 1879.

El éxito y la buena aceptación que tenía el desarrollo de esta nueva tecnología hace que diversos industriales e inversores lleven a cabo la construcción de centrales de generación para producir energía eléctrica.

En el año 1881 se constituye la Sociedad Española de Electricidad y en 1885 se publica el primer Decreto que rige el funcionamiento de las instalaciones eléctricas. A raíz de esto, durante los últimos años del XIX se crean numerosas empresas como La Compañía Barcelona de Electricidad y la Compañía Sevillana de Electricidad.

Sin embargo, toda la electricidad que se producía se hacía en continua a lo que se sumaba el inexistente desarrollo de los transformadores de tensión de potencia a voltajes elevados que impedía su transporte a largas distancias. Esto hacía que las centrales se instalaran en las proximidades de los grandes centros de consumo.

A principios del siglo XX se desarrollan los transformadores que se necesitaban para transportar la energía eléctrica a largas distancias. Esto permite el desarrollo de las centrales hidráulicas en los ríos de España, que normalmente estaban alejadas de los núcleos urbanos.

Con el desarrollo de la tecnología necesaria para el transporte, a principios del siglo XX, surgen nuevas empresas como Hidroeléctrica Española, que se convertiría entre 1991 y 1992 en Iberdrola tras la fusión con la compañía eléctrica Iberduero. Tras esta fusión Iberdrola pasará a ser la compañía eléctrica privada más grande de España en la actualidad, además de estar presente en Brasil, Escocia y Estados Unidos.

También a principios del XX surgiría Unión Eléctrica Madrileña, que daría lugar a Unión Eléctrica-Fenosa años más tarde. Está presente en el negocio eléctrico además de en España, en algunos países de Latinoamérica. También tiene presencia en el del gas a raíz de entrar en el de la energía mediante el sector eléctrico y en el de telecomunicaciones como socio de AUNA, hasta que esta es vendida en 2005 a France Telecom y a ONO.

La otra empresa importante en el sector eléctrico español no se consolidó hasta finales de 1998 tras integrar progresivamente numerosas empresas entre las que se encuentran ENHERZ, ERZ, FECSA, GESA, NANSÁ, SEVILLANA, UNELCO Y VIESGO.

En los primeros años del siglo XX, además de la creación de nuevas empresas, en 1924 se promulga un Real Decreto Ley que declara el suministro eléctrico como servicio público y que da a las Administraciones Públicas las competencias para exigir la obligatoriedad y regularidad del servicio eléctrico además de para fijar las tarifas máximas de consumo. De esta manera se les obliga a las empresas a tener un mayor control sobre las líneas eléctricas y a vigilarlas periódicamente. Así es como surge la necesidad de utilizar las telecomunicaciones en estas empresas.

Se instalan casetas de vigilancias a lo largo de las líneas y a su vez en paralelo a la línea eléctrica, una línea de telefonía que usaba cable metálico que iba apoyado sobre postes de madera para transmitir las comunicaciones. Este método también se emplea para dar las ordenes de regulación a la generación.

Durante los años treinta y cuarenta con la Guerra Civil y el estallido de la Primera Guerra Mundial se hace imposible la importación de tecnología y se paraliza todo el desarrollo del sector eléctrico. Pero una vez que acaba la guerra y se acaban los problemas para importar, las grandes compañías eléctricas (Hidroeléctrica Española, Iberduero, Unión Eléctrica-Fenosa y Endesa) empiezan a construir centrales térmicas.

En la década de los cincuenta se introduce un nuevo sistema de comunicación que sustituye al de la línea física y que se conoce con el nombre de onda portadora. Este sistema utiliza las líneas eléctricas como medio para las comunicaciones y permite así conectar los extremos de las líneas. Para llevar a cabo la comunicación, se superpone una señal que oscila desde los 40 hasta los 500 kHz a la frecuencia eléctrica de 50 Hz. De esta manera se pueden transmitir frecuencias entre 0 y 4 kHz, consiguiendo dividir en tres canales según la frecuencia utilizada:

- 0-2 kHz para uso vocal de órdenes
- 2-3.6 kHz para transmisión de datos
- 3.6-4 kHz para protección de las líneas eléctricas lo que da lugar a las protecciones de teleprotección y telebloqueo.

Unos pocos años más tarde, surge el servicio de teleprotección y telebloqueo, gracias al sistema de onda portadora. Esto permitió que se desarrollase el sector de las protecciones eléctricas. Surgen las protecciones de comparación de fase (compara la señal que le llega con la de 50 Hz y comprueba que no haya ningún desfase que indique que se haya producido una falta), de distancia (miden la impedancia de la línea y ven si la falta está dentro o fuera de la línea).

A medida que se desarrolla el sistema eléctrico español se hace cada vez más complejo y se necesita tener un control mayor sobre él, lo que da lugar a los Despachos Centrales de control de la energía. Estos permiten dar las ordenes de regulación de las centrales en función de la demanda y los incidentes de la red.

Los primeros despachos daban las órdenes mediante comunicaciones de voz, pero con el desarrollo de los ordenadores, del telecontrol (permite saber el estado de los elementos eléctricos) y del telemando (permite dar instrucciones y maniobrar los elementos del sistema a distancia) se consigue automatizar los procesos. Esta automatización se hizo posible con el desarrollo de las RTU. La utilización de las RTU permite tener la información

en los ordenadores entre 1 y 2 segundos después de la toma de medida. Esto permite empezar a tomar decisiones con mayor rapidez y a anticiparse a los cambios de la demanda y así poder ajustar con antelación la generación. De esta manera se consiguió que el sistema eléctrico fuera mucho más estable que antes, por lo que se puede afirmar que, sin un buen sistema de telecomunicaciones el sistema eléctrico no sería como lo conocemos hoy día.

La demanda de este nuevo sistema aumenta y obliga a desarrollar unos sistemas de transmisión analógicos que permitan cubrir las exigencias. Se desarrollan unas redes de radioenlaces en forma de árboles. Junto con la tecnología de onda portadora, los radioenlaces hicieron posible el desarrollo e implantación de los despachos, puesto que estos se ubicaban cerca de los núcleos urbanos y las centrales de generación no.

Entre 1978 y 1980 se ponen en marcha las redes que unen Madrid con Valencia, Castellón, Alicante y Cartagena, y la red del País Vasco para que estuvieran todas sus regiones interconectadas. Durante los años ochenta se siguen construyendo redes de radioenlace, algunas de ellas ya digitales como el radioenlace del Tajo, que permitió unir la central nuclear de Almaraz y los grandes grupos de generación hidráulica del Tajo con Madrid.

Las redes troncales de radioenlace permitieron hacer comunicaciones por voz desde los despachos hasta la central, sin necesidad de tener que recurrir al teléfono, como se hacía antes del radioenlace y que sólo se usaba en caso de emergencia. Pero con el radioenlace se consiguen dar órdenes de voz a través de una red interna de comunicación por voz en las empresas que poseían grupos de generación.

Todas estas redes de telecomunicaciones de las empresas eléctricas eran de su propiedad y además estaban apoyadas por el Estado a pesar del monopolio que hubo en España en el sector de las telecomunicaciones hasta el año 1996. Este apoyo de la Administración se debía a que las grandes instalaciones eléctricas solían y suelen estar alejadas de los núcleos urbanos y la inversiones que tendría que haber hecho el operador de telecomunicaciones eran muy poco rentables. Pero a esto hay que añadirle que los servicios que necesitan tener las redes de telecomunicaciones para el sector eléctrico no estaban cubiertos por las redes de telefonía de los operadores de telecomunicación.

En los años noventa se empieza a desarrollar la tecnología de la fibra óptica y se empiezan a reemplazar los radioenlaces por equipos digitales con capacidad para transmitir mayor cantidad de información. A pesar de todo, los radioenlaces siguen teniendo un papel muy importante en los procesos de automatización del sistema eléctrico español.

Tras la implantación exitosa de los despachos de centrales de control de energía, las compañías eléctricas se encontraron con el reto de controlar las redes de distribución. Estas redes están formadas por líneas de 132 kV o tensiones inferiores y los centros de transformación asociados a estas líneas. Las maniobras se hacían manualmente, hasta que se establecieron los despachos de distribución con telemando.

Pero cuando se instalan los primeros despachos de distribución, estos contaban con pocas instalaciones telecontroladas y no disponían de medidas en tiempo real como sí que se tenía en generación y en transporte debido a que la cantidad de información que tenían que manejar era mayor.

Los sistemas que se desarrollaron inicialmente, y que siguen todavía en uso, consisten en utilizar protocolos punto-multipunto a través de cable o de repetidores de radio con cobertura sobre varias RTU, en las que se instalaban una emisora y un módem que les conectaba con los ordenadores de los despachos de distribución.

Las empresas eléctricas intentaban conectar los despachos y centros de control con redes de comunicaciones propias, aunque en ocasiones tenían que alquilar redes de telecomunicación a la Compañía Telefónica Nacional de España. Pero a partir de los años noventa, el aumento de capacidad hace que se cambie la estrategia de las comunicaciones y que se empiecen a desarrollar las redes de transmisión de datos específicas para el sector eléctrico

A pesar de todo este desarrollo de las telecomunicaciones, siempre se tuvo que hacer frente al problema de las perturbaciones electromagnéticas, que provocan el mal funcionamiento de los sistemas de telecomunicaciones y en alguna ocasión su avería. Estas perturbaciones que producen las instalaciones eléctricas en las de telecomunicaciones son debidas, por ejemplo, a la apertura de un interruptor o a una falta en una línea.

En colaboración conjunta entre el CEI y el ETSI, se ha conseguido desarrollar equipos de telecomunicaciones que puedan usar las empresas eléctricas y que reduzcan los efectos de las perturbaciones electromagnéticas.

El desarrollo de la fibra óptica vino de la mano de este trabajo conjunto entre el CEI y el ETSI porque tiene interés tanto para las compañías de telecomunicaciones como para las compañías eléctricas. La fibra óptica es capaz de transmitir millones de comunicaciones simultáneamente y además estas comunicaciones que transmite no se ven afectadas por las perturbaciones electromagnéticas de los elementos del sistema eléctrico.

Esta inmunidad ante las perturbaciones electromagnéticas despertó enseguida el interés de las compañías eléctricas, que empezaron a trabajar con esta tecnología a principio de los años ochenta. La primera red de fibra que se puso en funcionamiento fue en Navarra en 1983 en una línea de 132 kV. El cable de fibra no contaba con ningún tipo de elemento metálico y se tendió apoyado sobre el cable de tierra de la línea. Pasó lo mismo con el segundo cable de fibra que se tendió en España, que además batió récords mundiales al alcanzar una longitud de 40 km.

Debido a la dificultad de instalación del cable de fibra adosado al de tierra, se desarrollan dos tipos de cable diferentes. Uno el OPGW (que actúa como cable de tierra y como cable de telecomunicaciones) y el otro el cable dieléctrico autosoportado y sin elementos metálicos (actúa únicamente como cable de telecomunicaciones). Se hará una definición más en profundidad de estos dos tipos de cable de fibra óptica para líneas eléctricas más adelante.

En 1986 se instala el primer cable OPGW, que sustituyó al cable de tierra de la línea eléctrica en la que se instalaba. El cable fue fabricado por dos empresas. Pirelli fabricó el núcleo de fibra óptica y TYCSA el núcleo metálico que recubría al de fibra óptica. Este cable era robusto y fácil de instalar, lo que hizo que la tecnología de la fibra óptica se desarrollara rápidamente.

Al mismo tiempo, se trabaja en el otro tipo de cables, los cables dieléctricos autosoportados. El objetivo era conseguir un cable de fibra óptica libre de componentes metálicos y que se pudiera instalar en líneas en tensión. El mayor problema de estos cables era el recubrimiento del núcleo óptico ya que tenía que ser lo suficientemente resistente para resistir a las descargas debidas a las tensiones inducidas por los conductores de las líneas (tracking), además de tener protección anticazadores.

En 1988 se instala el primer cable autosoportado en España en una línea de 400 kV y con vanos superiores a 700m. Este cable llevaba una cubierta especial antitracking para aguantar las descargas eléctricas debidas a la inducción de tensiones por la acción de los

conductores. De esta manera se consiguió tener la certeza de que se había dado con un cable que podía ser instalado en cualquier línea.

En 1985 se crea REE como consecuencia de un proceso de nacionalización para controlar la red de transporte de energía eléctrica entre la generación y los centros de consumo. Actualmente sigue operando y se encarga del funcionamiento del mercado de compra-venta de la energía y garantiza la gestión y el equilibrio del sistema.

Además de usar las comunicaciones ya existentes, que habían desarrollado las empresas españolas del sector eléctrico, REE establece nuevas redes de comunicación. Todas las nuevas redes de comunicación que instala se basan en su totalidad en la tecnología de la fibra óptica. Esto fue un factor determinante en el desarrollo de las redes de comunicaciones de fibra óptica para las empresas eléctricas.

En 1987 REE realiza el primer tendido grande de fibra. Tenía una longitud de 80 km y conectaba la subestación de Loeches (Madrid) con la central nuclear de Trillo (Guadalajara).

A finales de los ochenta se empiezan a renovar los despachos de control. Se consigue disminuir el número de despachos, gracias a la tecnología que se había desarrollado y gracias a que Red Eléctrica de España se encargaba de gran parte de las instalaciones de transporte y distribución. Estos nuevos despachos eran de ámbito regional, siendo las regiones que controlaban cada vez más grandes, lo que provoca que los despachos tuvieran que estar conectados entre sí y por tanto se tuvo que aumentar la velocidad de transmisión de datos y de los ordenadores. De este modo se consiguió gestionar más datos desde un único punto, más alejado que antes de los puntos de medida y toma de datos. Esta nueva configuración y distribución de los despachos fue posible gracias a los 800 km que se instalaron en España de redes de fibra óptica.

A partir de 1998 las redes de fibra tuvieron una mayor expansión gracias a la liberalización de las telecomunicaciones y la entrada en el mercado español de nuevas empresas de telecomunicaciones. Estas empresas necesitaban canales para poder dar el servicio que ofertaban y aparece aquí una oportunidad de negocio para las compañías eléctricas, que consiste en alquilar el uso de los cables de fibra óptica a las empresas de telecomunicaciones. En un primer momento la fibra disponible era propiedad de REE, pero con el tiempo otras empresas eléctricas como Iberdrola y Unión Fenosa instalaron fibra para poder así sacar partido a la necesidad del nuevo panorama del sector de las telecomunicaciones en España.

En la actualidad hay un total de 25.000 km de cable de fibra instalados en España, muchos de ellos con capacidad para 48 y 80 fibras. El desarrollo de este sector sigue en crecimiento ya que todavía queda gran parte de la red de distribución para llegar a los consumidores.

Ya a principios del siglo XXI se ha desarrollado una tecnología conocida como PLC, que permite la transmisión de datos a una velocidad muy elevada. Esta tecnología se está implantando en las redes de baja tensión y que llega por tanto hasta los clientes. Esto es posible gracias a unos concentradores de datos que se instalan en los centros de transformación de las redes de distribución de baja tensión.

Los concentradores de datos agrupan los datos en celdas y envían la información a un nodo que se conoce como Pasarela y que guarda la información que recibe de los concentradores. Sin embargo, aunque se trata de un medio muy ventajoso para las compañías eléctricas porque no tienen que invertir en infraestructura para mandar la información

puesto que la infraestructura la conforman las propias redes eléctricas, es un medio complicado en el que se está investigando mucho en la actualidad ya que todavía está en vías de desarrollo.

Gracias a la comunicación mediante PLC los usuarios tienen acceso a la conexión a internet a través de la red eléctrica y las compañías disponen de la información sobre el consumo de los usuarios. Esta tecnología permite una velocidad de navegación similar a la de ADSL. Sin embargo, el éxito de la tecnología del ADSL ha provocado que PLC tenga muchos menos usuarios que el ADSL.

Pero al no ser su único campo de aplicación, PLC está siendo clave en el proceso de automatización de la distribución eléctrica y la telelectura de contadores (contadores inteligentes) que toman lectura constantemente para saber cuánto consume el cliente en cada momento y poder ajustar así mejor a sus necesidades los nuevos servicios y tarifas que se desarrollen.

En consecuencia, las comunicaciones PLC están desempeñando un papel muy relevante en el desarrollo de las redes inteligentes (Smart Grids) que está teniendo lugar en la actualidad ya que permiten una monitorización y control prácticamente en tiempo real de toda la red de distribución. Compañías como Iberdrola están apostando muy fuerte por este nuevo método de obtener información. Esto está permitiendo el desarrollo de nuevas herramientas y nuevos métodos de simulación para reducir costes y ahorrar en la inversión que se está haciendo en este sector.

1.2. Tipos de cables de telecomunicaciones

En el ámbito de las líneas aéreas se emplean dos tipos diferentes de cables de telecomunicaciones, dependiendo de la función que se quiere que realice el cable.

A continuación, se van a describir las dos opciones que se tiene de este tipo de cables y posteriormente se justificará la elección del tipo y del modelo.

Cables OPGW

Este tipo de cables tienen una doble función en la línea. La primera es la de cable de telecomunicaciones mediante la tecnología de la fibra óptica. Y la segunda es la función de cable de tierra gracias al recubrimiento metálico de acero-aluminio que tienen los cables. Por tanto, deben proteger las líneas frente a sobretensiones y servir como canal de comunicaciones.

Designación	N° de FO	Intens de C/C (kA)	Diámetro exterior (mm)	Masa(*) (kg/km)	Carga de rotura (daN)	Módulo de elasticidad (daN/mm ²)	Coef.de dilatación (°C ⁻¹)	Composición núcleo óptico		Código
								G 652	G 655	
OPGW-12-24/0	24	≥12	12,7+13,0	≤480	≥7600	≥10500	15,0x10 ⁻⁶	24	-	3326353
OPGW-16-24/0	24							24	-	3326356
OPGW-16-48/0	48							48	-	3326357
OPGW-16-36/12								36	12	3326358
OPGW-16-80/0	80	≥16	14,7+15,15	≤670	≥9.000	≥11.000	15,0x10 ⁻⁶	80	-	3326363
OPGW-16-64/16										
OPGW-16-90/0	90							90	-	3326365
OPGW-16-72/18								72	18	3326366

(*) Se entiende como valor medio de la bobina

Tabla 1. Tipos normalizados. Características esenciales, designación y códigos de cables OPGW

Para explicar cómo se designa un modelo tal y como vienen en la Tabla 1.1 adjuntada, se tomará un ejemplo de dicha tabla:

OPGW – 12 – 24/0

- En primer lugar, se designa el tipo de cable, que en este caso es del tipo OPGW.
- Después se indica el valor máximo de la corriente admisible por el cable en caso de cortocircuito en kA.
- Por último, se muestran dos números separados por una barra que indican el número de fibras (de fibra óptica) que contiene el cable. El primer número indica el número de fibras G652 y el segundo el número de fibras G655).

El cable OPGW se puede dividir en dos partes, cada una asociada a una de las funciones que tiene el cable.

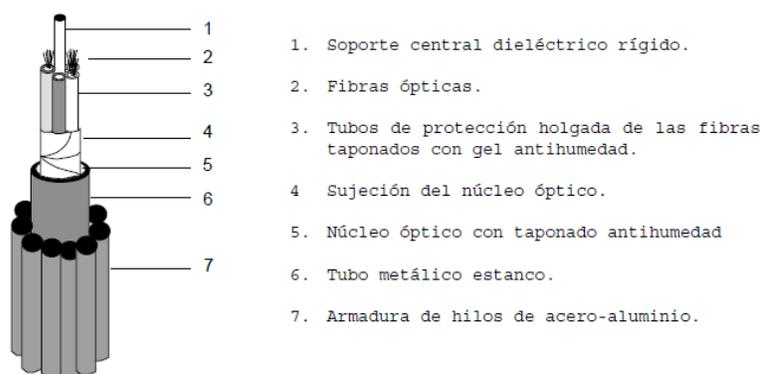


Ilustración 1. Constitución del cable OPGW

Como se ve en la imagen, está la parte interior a la que se denomina núcleo óptico (elementos 1, 2, 3, 4 y 5) que hace las funciones de cable de telecomunicaciones y la parte exterior que se denomina envolvente metálica (elementos 6 y 7) y que hace las funciones de cable de tierra.

- Núcleo Óptico

Se distinguen dos tipos de núcleos. Uno formado en su totalidad por fibras del tipo G652 y otro formado por mezcla de fibras del tipo G652 y G655, pudiendo tener, en total, un máximo de 90 fibras.

El núcleo óptico está formado por un soporte central dieléctrico compuesto de fibra de vidrio reforzado y un grupo de tubos alrededor del soporte central. Cada uno de estos tubos va taponado por un gel hidrófugo.

Los tubos protectores, se diferencian por el color que tienen, siendo el amarillo el reservado para las fibras del tipo G655. En caso de no necesitar estas fibras se añadirán los cables pertinentes, que estarán vacíos y serán de color negro.

Dependiendo del tipo de cable, este tendrá más o menos tubos que alberguen fibras y también tendrán más o menos fibras por tubo.

Designación	Tipos de fibra				N° de relleno
	G652		G655		
	N° de tubos	N° de fibras por tubo	N° de tubos	N° de fibras por tubo	
OPGW-12-24/0	4	6	-	-	-
OPGW-16-24/0	4	6	-	-	1
OPGW-16-48/0	4	12	-	-	1
OPGW-16-36/12	3	12	1	12	1
OPGW-16-80/0	5	16	-	-	-
OPGW-16-64/16	4	16	1	16	-
OPGW-16-90/0	5	18	-	-	-
OPGW-16-72/18	4	18	1	18	-

Tabla 2. Composición del núcleo óptico del OPGW

- **Envoltorio Metálica**

La envoltorio metálica se compone de dos elementos, un tubo estanco y una corona de hilos de acero recubierto de aluminio.

El tubo metálico que envuelve al núcleo óptico debe impedir el paso de la humedad y disminuir la resistencia eléctrica del cable. Encima de este tubo se colocan hilos de acero recubierto de aluminio según la norma UNE EN 61 232 dispuestos helicoidalmente de forma que le den al cable las características mecánicas necesarias.

Cables FOADK

Estos cables no son como los OPGW porque no desempeñan función de cable de tierra, sino que únicamente tienen la función de cable de telecomunicaciones. Además, los cables autoportados no tienen ningún tipo de elemento metálico

Designación	N° de FO	Diámetro exterior mm	Masa kg/km	Carga de rotura kN	Módulo de elasticidad (1) kN	Coef. de dilatación °C ⁻¹	Composición núcleo óptico		Código
							G 652	G 655	
FOADK-24	24	15,9 ≤ D ≤ 16,5	≤ 245	≥ 50	≥ 3.100	≤ 7x10 ⁻⁶	24	-	3326024
FOADK-48/0	48						48	-	3326048
FOADK-36/12							36	12	3326036
FOADK-80/0	80						80	-	3326080
FOADK-64/16							64	16	3326064
FOADK-90/0	90						90	-	3326090
FOADK-72/18		72	18	3326072					

(1) Módulo de elasticidad por sección resistente.

Tabla 3. Tipos normalizados. Características esenciales, designación y código de cables FOADK

Para explicar cómo se designa un modelo tal y como vienen en la Tabla 1.2 adjuntada, se tomará un ejemplo de dicha tabla:

FOADK – 48/0

- En primer lugar, se designa el tipo de cable, que en este caso es del tipo FOADK.
- Después, se muestran dos números separados por una barra que indican el número de fibras (de fibra óptica) que contiene el cable. El primer número indica el número de fibras G652 y el segundo el número de fibras G655).

El cable estará constituido por un núcleo óptico que contendrá como máximo 90 fibras. Este núcleo va recubierto por diversas protecciones de refuerzo que soportan los campos eléctricos y la exposición a la luz solar constantes a los que se ven expuestos estos cables.

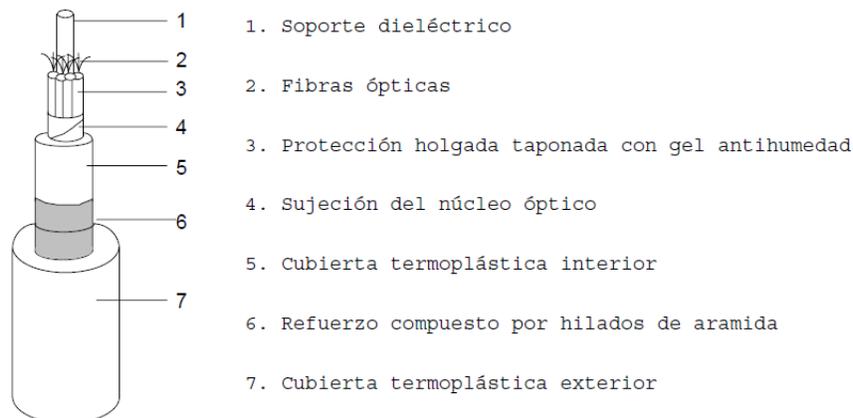


Ilustración 2. Constitución del cable FOADK

Así como en el cable OPGW se distinguían dos partes, una según la función que desempeñaba, para el cable FOADK se hará igual. Se diferencia la parte del núcleo óptico (elementos 1, 2, 3 y 4) que hace la función de canal de comunicaciones. La otra parte que se diferencia es la de los recubrimientos protectores, que se encarga de proteger el núcleo.

- Núcleo Óptico

El núcleo óptico puede estar compuesto, al igual que el OPGW, de dos maneras diferentes. Una composición sería por fibras G652 en su totalidad y la otra sería por fibras G652 y por fibras G655. Pudiendo ser la suma total de las fibras de un máximo de 90.

El núcleo está formado por un soporte central dieléctrico compuesto por fibra de vidrio reforzado y por un grupo de tubos de material termoplástico que reúnen y protegen las fibras. De esta manera se consigue la configuración deseada alrededor del soporte central. Cada uno de estos tubos va taponado con un gel hidrófugo.

Los tubos se diferencian por colores, siendo el amarillo el color reservado para los tubos que llevan fibras G655. En caso de no necesitar todos los tubos del cable, los que no lleven fibras serán de color negro.

Dependiendo del número de fibras que se quieran utilizar, cada tubo llevará más o menos fibras y estas fibras se colorearán de diferentes maneras para así poder distinguirlas.

Configuración de fibras	tipos de fibras				N° de relleno
	G652		G655		
	N° de tubos	N° de fibras por tubo	N° de tubos	N° de fibras por tubo	
24 - 24/0	4	6	-	-	1
48 - 48/0	4	12	-	-	1
48 - 36/12	3	12	1	12	1
80 - 80/0	5	16	-	-	-
80 - 64/16	4	16	1	16	-
90 - 90/0	5	18	-	-	-
90 - 72/18	4	18	1	18	-

Tabla 4. Composición del núcleo óptico del FOADK

- Recubrimientos Protectores

Los recubrimientos protectores están formados por una cubierta interior termoplástica, seguida de un refuerzo mecánico que llevará encima una cubierta exterior termoplástica. El conjunto de los recubrimientos protectores debe tener protección anticazadores.

La cubierta interior tiene que ser de color negro, tipo LLD, según la norma UNE HD 624-4.

El refuerzo mecánico está formado por hilos de fibras de aramida (fibras aromáticas de poliamida) en doble capa. La aramida es una fibra de alta resistencia térmica y altas prestaciones mecánicas debido a su elevado módulo de elasticidad y a su rotura dúctil y no frágil. Estas propiedades de la aramida se deben a que las cadenas de moléculas están orientadas a lo largo del eje de la fibra.

La cubierta exterior será de color negro, especial antitracking para poder hacer frente a las descargas superficiales producidas por las tensiones inducidas en las

cubiertas por las líneas eléctricas. También resisten los rayos UV debido a la exposición constante a la que están sometidos estos cables.

1.3. Clasificaciones de apoyos

Los apoyos de las líneas eléctricas son los elementos encargados de soportar la línea en su conjunto (conductores, aisladores, cables de tierra, de telecomunicaciones y demás elementos que componen la línea). Por ello, han de ser el elemento más fiable de todos, ya que deben soportar los esfuerzos a los que se ven sometidos los cables debido a la acción del viento y el hielo (dependerá de la localización de la línea) y los propios esfuerzos que se ejercen sobre los propios apoyos. Como tienen que ser los elementos más seguros, se diseñan con coeficientes de seguridad de valor 1,5 como mínimo, para que no se desmorone la línea ante alguna situación comprometida.

Para su diseño se tiene en cuenta la tensión, el número de circuitos, el terreno, la zona geográfica y el clima por el que discurre la línea, etc. De esta manera se estudia, para unas hipótesis establecidas, en qué circunstancias el apoyo se ve más exigido, es decir, qué condiciones son las más restrictivas. Una vez que se tienen los esfuerzos más restrictivos a los que se verá sometido el apoyo, se procede a su diseño. Todos estos aspectos a tener en cuenta determinarán el material que se empleará para la fabricación de los apoyos además del tipo de cadena que se empleará y la función que tendrá en el conjunto de la línea.

Se van a ir exponiendo las diferentes clasificaciones que se pueden hacer de los apoyos, para llegar por último a la clasificación según el material empleado en la fabricación, que es en la que más en detalle se va a entrar. Se verán los tres materiales típicos en la fabricación de apoyos, como son el acero, el hormigón y la madera y sus diferentes tipos de tratamiento y se incluirá algún material que se encuentra en vías de desarrollo como es la fibra de vidrio reforzada. Este material forma parte de los FRP ('Fiber Reinforced Plastics' que en español se traduce como Plásticos Reforzados con Fibras).

Clasificación general de apoyos

En primer lugar, se puede hacer una clasificación general de los apoyos atendiendo a si los propios apoyos pueden soportar su peso o si necesitan de unos tirantes que le den estabilidad.

- Estructuras autosoportadas
Son aquellas estructuras que soportan su propio peso y las cargas y esfuerzos a los que se ven sometidas. Son la mayoría de los apoyos que se construyen. No necesitan ningún tipo de tirante para garantizar su estabilidad ante el efecto de su propio peso y de las cargas y esfuerzos a las que se ven sometidos.

En este tipo de apoyos entran las torres de celosía y la gran mayoría de los apoyos tubulares, tanto de madera y hormigón como de acero.



Ilustración 3. Apoyo autoportado

- Estructuras atirantadas
Son aquellas estructuras que para ser estables necesitan estar sujetas por unos tirantes que le dan la estabilidad necesaria al apoyo. Son de uso poco común y se emplean solo en líneas de simple circuito en terrenos llanos en los que el acceso al apoyo es fácil porque resultan más económicas que las torres de celosía o los apoyos tubulares autoportados.

En zonas agrícolas es necesario proteger los anclajes de los cables contra posibles contratiempos ocasionados por las máquinas de explotación agrícola.

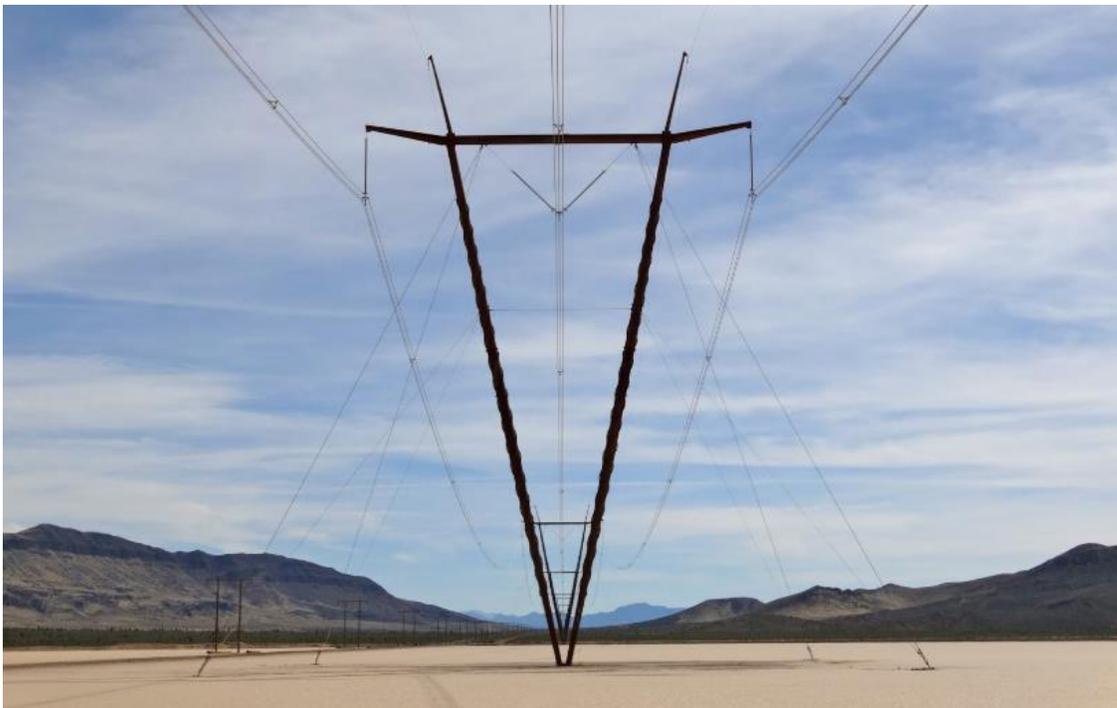


Ilustración 4. Torre en V atirantada

Clasificación según la cadena empleada

Los apoyos también se suelen clasificar según el tipo de cadena que emplean para sujetar el conductor. Las cadenas pueden ser de dos tipos:

- **Apoyos de suspensión**
Aquellos en los que el cable está suspendido, es decir, está sujeto al apoyo de manera que no se tira del cable y no se le crea ningún esfuerzo mecánico de tracción.

Este tipo de cadena se suele emplear en zonas en las que la línea no forma ángulos o si los forma son muy leves. Suelen ser apoyos para simplemente llevar el cable respetando las distancias de seguridad. Suelen tener menos carga mecánica que los de amarre.



Ilustración 5. Cadenas de suspensión

- **Apoyos de amarre**
En estos apoyos el cable se sujeta al apoyo de manera que se le provoca al cable una tensión de tracción.

Estos apoyos se suelen emplear en puntos de la línea en los que esta forma ángulos importantes, que no serían admisibles para un apoyo de suspensión. También se emplean en zonas en las que la línea sigue una trayectoria prácticamente recta para dar la tensión necesaria al cable para que este respete los cálculos de diseño de flecha máxima admisible y todas las distancias de seguridad.

Como se puede ver en la imagen que se adjunta a continuación, el cable se sujeta al apoyo mediante la cadena de amarre que está prácticamente en posición horizontal. La intensidad no puede circular por el apoyo porque sería el equivalente a tener una falta a tierra. Se conectan los extremos de la cadena a los que se engancha el conductor mediante un cable que va por debajo. A este cable se le denomina puente flojo.



Ilustración 6. Cadena de amarre

Clasificación según la funcionalidad del apoyo

Los apoyos también se pueden clasificar según la función que desempeñan en la línea. Por tanto, atendiendo a la funcionalidad de los apoyos, estos se pueden clasificar en:

- Apoyos de alineación con cadenas verticales

Aquellos que simplemente soportan los conductores y los cables de tierra. La traza de la línea no efectúa ningún ángulo. Debido a que son los apoyos menos exigidos, son los más ligeros y por tanto los más económicos.



Ilustración 7. Apoyo de alineación

- Apoyos de ángulo con cadenas horizontales

Se emplean para sujetar tanto conductores como cables de tierra en los vértices o ángulos que forma la línea en su trazado.

Al tener que soportar cargas mecánicas mayores que los de alineación, son más pesados y por tanto más caros.



Ilustración 8. Apoyo de ángulo

- Apoyos de anclaje con cadenas horizontales

Su función es proporcionar un punto firme en la línea que, en caso de fallo por rotura de un conductor o un apoyo, impida la destrucción de la línea. Se suelen situar cada 3 o 4 km dentro de las zonas de alineación, para frenar una caída en cascada de la línea.



Ilustración 9. Apoyo de anclaje

- Apoyos de fin de línea con cadenas horizontales
Deben soportar el 100% de las tracciones que se producen en las líneas y por tanto son los apoyos que más carga soportan. Son muy pesados con lo que su coste es el más elevado.
Están situados en las llegadas a las subestaciones en el principio y el fin de cada línea.



Ilustración 10. Apoyo fin de línea

- Apoyos especiales
Suelen reunir varias de las funciones citadas anteriormente. Son frecuentes a la hora de realizar derivaciones de circuitos, entradas y salidas a las subestaciones, etc.



Ilustración 11. Apoyo especial con derivación

Clasificación según la funcionalidad del apoyo

Por último, se va a exponer la clasificación de los apoyos según los materiales que se emplean para su fabricación y los diferentes tipos que hay dentro de cada material. Además, se añadirá para qué tensiones se suele usar cada material y cada tipo de apoyo. Asimismo se añadirá cuál es el material y el tipo de apoyo más utilizado.

APOYOS DE ACERO

1- Apoyos de celosía

Los apoyos de celosía, también conocidos como torres de alta tensión son el tipo de apoyo que más se emplea en España. Su estructura está formada por perfiles angulares de acero que se unen durante el montaje del apoyo mediante tornillos.



Ilustración 12. Apoyo de presilla

Tienen cuatro cimentaciones, una por cada pata del apoyo. Son cimentaciones relativamente pequeñas comparándolas con la cimentación única de los apoyos tubulares. Requieren por tanto una superficie mayor en su base.

Al montarse la estructura en el propio emplazamiento del apoyo, el transporte es muy sencillo y no requiere de caminos especiales para llevar el material del apoyo hasta el lugar del izado. Además, esto hace que tanto el montaje como el izado se puedan hacer a la vez, es decir, a la vez que se va armando la estructura del apoyo, se va levantando con la ayuda de una grúa tipo pluma, permitiendo abaratar los costes de montaje.

Estas características del montaje e izado del apoyo hacen que el impacto ambiental creado por los caminos de acceso al apoyo sea menor que el de los apoyos tubulares, puesto que al no requerir de un camino especial se reduce mucho su tamaño y por tanto el impacto que tiene sobre el entorno.

Por el contrario, al ser apoyos más voluminosos, requieren que el pasillo de la línea sea mayor que en los tubulares y por tanto su impacto visual es mayor que el de los de chapa plegada.

Dentro de los apoyos de celosía se podrían considerar los apoyos de presilla, que también están formados por perfiles angulares de acero. Sin embargo, la estructura principal de estos apoyos es cuadrada, mientras que en el resto de los apoyos de celosía no lo es. Además, tienen una única cimentación, ya que sólo tienen una pata, no como el resto de los apoyos de celosía que tienen cuatro. Son de menor tamaño y por ello se usan en instalaciones de menor tensión.



Ilustración 13. Apoyo de celosía

2- Apoyos de chapa plegada

Los apoyos de chapa plegada se emplearon en España por primera vez en 1996, en la línea de 400 kV Lastras-S.S. de los Reyes, con el objetivo de cerrar el anillo norte de Madrid.

Estos apoyos también se conocen como apoyos tubulares, porque tienen forma de tubo, aunque no sean de sección redonda. Su estructura se compone de módulos poligonales que van desde la base hasta la parte superior del apoyo, normalmente disminuyendo su sección progresivamente, siendo más grande en la base y haciéndose cada vez más pequeña a medida que aumenta su altura.

Mejora la apariencia estética de la línea porque son más esbeltos y son más simples que los de celosía. Al tener unas características distintas de diseño que los hacen más estéticos hace que tengan una aceptación social mejor y que por tanto tengan una capacidad de integración mayor que los de celosía que son los que se han empleado tradicionalmente. Además, al necesitar menos material que los de celosía, sus costes de fabricación son inferiores.

Sin embargo, a pesar de estas ventajas que tienen en el impacto medioambiental de la línea y en el coste unitario de cada apoyo, se necesitan más apoyos en una línea en los que se empleen apoyos de chapa plegada que si se emplearan de celosía porque el diseño

limita los esfuerzos que pueden soportar y, por tanto, admiten una longitud de vano inferior a la que admiten los apoyos de celosía.

En el montaje de cada apoyo se necesitan caminos de acceso y debido a que se necesitan más apoyos si se hace la línea con este tipo de apoyos, se necesitarán por tanto más accesos para que maniobren los equipos que se necesitan en el izado y eso tiene repercusión también en el impacto medioambiental de la línea, aunque este no sea visual.

Las cimentaciones son monobloques y de mayor tamaño que las que se necesitan para un apoyo de celosía. Esto junto con el número de apoyos que son necesarios, incrementan el coste de montaje, en ocasiones hasta el doble, respecto al de los apoyos de celosía.



Ilustración 14. Apoyo tubular de chapa plegada

APOYOS DE HORMIGÓN

Los apoyos de hormigón se consideran también tubulares, aunque en algunos casos tienen perfiles de doble T unidos. Por ello se le pueden atribuir unas características parecidas, en cuanto a impacto ambiental se refiere, a los apoyos de chapa plegada.

El hormigón que se emplea para estos apoyos es hormigón armado vibrado. El hormigón armado lleva en su interior una estructura o armadura (de ahí el nombre) de barras de hierro o acero para que el hormigón absorba mejor los esfuerzos de tracción a los que se vea sometido ya que a compresión trabaja muy bien, pero no tanto a tracción. Por otro lado, el vibrado consiste en mover el hormigón de manera que se eliminen las posibles bolsas de aire que se hayan formado en el vertido y de esta manera hacer que quede más compacto.

El vibrado del hormigón es muy importante porque además de que quede más compacto y sin aire, no se hace por estética sino por las propiedades que le da este vibrado. Con esta técnica, además de una mejor estética, se consigue:

- Mejorar la resistencia del hormigón ya que al ser más compacto y uniforme trabajará mejor ante cualquier esfuerzo.
- Mejorar la durabilidad ya que al eliminar las bolsas de aire se evita la oxidación de las barras de la armadura. De esta manera se consigue que las barras queden mejor ancladas al hormigón y que cumplan su función de manera más eficaz y durante más tiempo.
- Reorganizar las partículas del hormigón de manera que quedan mejor organizadas y permiten una mezcla más compacta, homogénea y resistente

En España, estos apoyos se emplean en líneas de media y baja tensión (en distribución). Esto es debido a que para las líneas de alta tensión se requiere que los apoyos sean más grandes y si se trabaja con postes de hormigón, su tamaño hará que el transporte sea más dificultoso, al igual que el montaje y la cimentación, lo que provoca un aumento en el coste que no ocurre con los apoyos metálicos de celosía, a pesar de que el material sea más caro. La tensión de nuestra línea no hace que sea descabellado considerar poner un apoyo tubular de hormigón.



Ilustración 15. Poste de hormigón

Sin embargo, en Sudamérica, debido a que los apoyos de hormigón tienen un coste inferior al de los de chapa plegada, se emplean con mucha frecuencia en líneas de 132 y 220 kV.

Como pasaba en los apoyos de chapa plegada, los de hormigón tienen una sección con forma redonda o poligonal que a medida que aumenta la altura del poste se va reduciendo, de manera que la punta tiene una sección menor que la base. Las dos geometrías más comunes de estos poyos son o circular o rectangular.



Ilustración 16. Apoyo tubular de hormigón

APOYOS DE MADERA

Los apoyos de madera se emplean casi exclusivamente en baja tensión, normalmente se ven este tipo de apoyos en las redes de distribución rurales. Es casi imposible encontrar alguna línea de media tensión con este tipo de apoyos.

Son mucho más ligeros que los apoyos metálicos o los de hormigón, lo que facilita su transporte enormemente además de abaratar su coste. Sin embargo, debido a que su vida útil es de unos diez años, mucho más baja que la de los otros apoyos, se están quedando en desuso. Para alargar la vida útil de los postes de madera se les da un recubrimiento que previene la corrosión y la degradación que sufre este material al ser orgánico y que previene que la madera se vea afectada por la acción de hongos o de la humedad.

Además soportan esfuerzos mucho menores que los apoyos que son de otros materiales y su altura es inferior, lo que hace imposible su uso para líneas de tensiones elevadas en las que los vanos entre apoyos son de grandes longitudes y en las que los apoyos deben soportar esfuerzos grandes debido al peso de los conductores y a las cargas a las que se ven sometidos según las hipótesis de diseño.



Ilustración 17. Poste de madera

Para mejorar la durabilidad de estos postes y también con el objetivo de que pudieran tener una mayor altura y resistencia, se empezó a trabajar con postes de madera unidos por uniones de metal y posteriormente se desarrollaron los postes de madera laminada, que son huecos en su interior, a diferencia de los postes de madera tradicionales. Cuando se empezó a investigar con este tipo de apoyos se buscaba obtener unas propiedades parecidas o incluso mejores respecto a los postes de madera tradicionales.

Los apoyos de madera son de maderas resistentes y la población de árboles cada vez se hacía más escasa y hacía que incrementara el precio de los apoyos, lo que potenció también el desarrollo de los postes de madera laminada unidos mediante adhesivos sintéticos, que se hacen con maderas más blandas que tienen unas características peores a las maderas empleadas para los postes macizos de madera, pero que se consigue que tengan unas propiedades mecánicas mejores al alinear las fibras de la madera con el eje axial del poste. Además, se hicieron huecos porque la mayor parte del estrés axial al que se ven sometidos estos postes se ejerce en la superficie y según se penetra desde la superficie hacia el centro, el estrés al que está sometido el material es cada vez menor, hasta que se llega al centro donde es cero.



Ilustración 18. Apoyo tubular de madera laminada

APOYOS DE MATERIALES EN DESARROLLO

En los últimos años se está investigando en el desarrollo de nuevos materiales para la construcción de los apoyos de las líneas eléctricas aéreas. Esta investigación se está haciendo con el objetivo de reducir el impacto medioambiental que tienen las líneas y sobre todo los apoyos.

Es por esto por lo que en los últimos años se está potenciando el uso de los apoyos tubulares, que al ser más compactos que las torres de celosía que se han usado casi siempre

en las líneas de alta tensión, reducen el impacto visual de la línea y por tanto tienen una mayor aceptación entre la población.

Además de los mencionados anteriormente como son los apoyos tubulares de chapa plegada, los de hormigón y los de madera, se está trabajando en apoyos de fibra de vidrio reforzado recubiertos de resinas, que les aportan resistencia frente a la corrosión, de manera que se consiga reducir aún más el tamaño de los apoyos y que estos sean más ligeros de forma que se facilite su transporte.

Al ser más compactos y de menor tamaño, son ideales para la construcción de líneas en zonas de difícil acceso en los que se requiera un pasillo estrecho como por ejemplo en zonas agrícolas y forestales donde la proximidad con los elementos de la naturaleza impide la construcción de líneas debido a las distancias de seguridad que se tienen que guardar con los elementos del entorno de la línea. Sin embargo, con los apoyos de fibra de vidrio se abre esta posibilidad.

Estos postes de fibra de vidrio también presentan propiedades aislantes y de hecho no se ponen todos los apoyos a tierra. Debido a que no todos los apoyos están conectados a tierra se debe hacer un estudio de seguridad y aislamiento para que las propiedades de la línea sean equivalentes a otra línea en la que los apoyos sean de otro material. Esto provoca que a veces haya que aumentar la altura de los apoyos para que se cumplan las distancias de seguridad y que no haya ningún problema si se produce una falta en la línea o si cae algún rayo y este derive a tierra.



Ilustración 19. Línea de apoyos de fibra de vidrio

Al ser más compactos estos apoyos, son de una altura menor a otros apoyos. Por tanto, los vanos de estas líneas son menores y hace que se necesite un mayor número de apoyos de fibra de vidrio que si se hicieran con apoyos de celosía, para la misma línea.

Debido a su configuración, como se ha mostrado en el esquema de los apoyos de fibra de vidrio anterior, estos apoyos ya no admiten la clasificación de alineación o ángulo puesto que no soportan ángulos muy pronunciados. Sin embargo, lo que si que se puede hacer con ellos es describir una curva con el trazado de la línea, cosa que con los otros apoyos no se puede hacer.

Debido a sus propiedades mecánicas y a la resistencia a la corrosión que le dan las resinas que recubren las fibras, estos apoyos se están empezando a emplear en zonas con alta

contaminación y en zonas de gran humedad como las selvas o los bosques con gran densidad de vegetación.



Ilustración 20. Modelo de apoyo tubular de fibra de vidrio

1.4.Contexto del proyecto

El proyecto que se va a realizar va a ser el modelado de la línea LAT 66 kV SS HIBRIDACIÓN TERMOSOLAR-STR VILLAFRANCA, para el estudio del tendido del cable de fibra óptica como cable de telecomunicaciones y el impacto en los apoyos de la línea, con el análisis económico y técnico de los apoyos que se tengan que cambiar. Esta línea se encuentra en Galicia y por tanto está en Zona A, es decir que se encuentra a una altura entre el nivel del mar y los 500 m de altitud.

Este estudio se lleva a cabo debido a que, aprovechando que la línea ya existe, se va a hacer un tendido de cable de fibra óptica que exigirá que los esfuerzos para los que los apoyos de la línea fueron diseñados no se vean superados. Se deberá tener en cuenta un coeficiente de seguridad que garantice que no haya ningún problema y que evite que cualquier apoyo ceda y provoque una falta en la línea.

Este tipo de proyectos se están llevando a cabo con mayor frecuencia en los últimos años, debido a la necesidad de llevar la tecnología de la fibra óptica a todas las regiones de España.

Ante esta necesidad, las compañías del sector eléctrico han visto una buena oportunidad de negocio y han entrado de lleno en este tipo de proyectos. Destacan Reintel (Empresa perteneciente al Grupo Red Eléctrica), Ufinet (creada por Unión Fenosa, aunque en la actualidad no pertenece al grupo Gas Natural Fenosa) e Iberdrola que lo que han hecho, es llevar a cabo la instalación y el tendido de lo que se ha denominado como ‘fibra oscura’.

La fibra óptica emplea impulsos de luz para la transmisión de información, teniendo un emisor al principio del cable y un receptor al final, que convierte esos impulsos en 0 y 1 y transforma así los impulsos lumínicos en información, en forma de código binario.

Puesto que para la transmisión de información por los cables de fibra se necesitan equipos transmisores y receptores de luz/información, si el cable no tuviera estos dispositivos, sería inservible ya que por el no viajarían impulsos de luz, sino que quedaría a oscuras.

De ahí el nombre de ‘fibra oscura’, que consiste en cable de fibra, apto para la transmisión de información, pero sin el equipamiento electrónico necesario para ello.

Las empresas eléctricas, por tanto, han instalado esta ‘fibra oscura’ aprovechando las líneas eléctricas aéreas de transporte y las ferroviarias, de forma que alquilan a las empresas de telecomunicaciones esta fibra oscura para que ellos aporten el equipo necesario para transmitir los impulsos lumínicos y así obtener beneficio.

Sería lo mismo que si una empresa que se dedicase a hacer autopistas, en vez de utilizar camiones para transportar mercancías, hiciera que las empresas de transportes pagasen un alquiler por el uso de la carretera para poder transportar sus mercancías.

2. Estado de la cuestión

Este estudio económico se realizará con el propósito de analizar la decisión que se ha tomado en el proyecto de la línea LAT 66 kV SS HIBRIDACIÓN TERMOSOLAR – STR VILLAFRANCA, con respecto a los modelos y tipo de apoyo elegidos para cada uno de los apoyos que ha sido necesario cambiar.

El proyecto surge del tendido del cable de fibra óptica autoportado sin elementos metálicos que se ha realizado en la línea mencionada. Este nuevo tendido provoca unos sobreesfuerzos en los apoyos de la línea y provoca que algunos de ellos tengan que ser sustituidos por otros más resistentes que aguanten la nueva carga.

En el proyecto se va a analizar la decisión tomada en los apoyos 510 y 519. El primero se trata de un apoyo de amarre en ángulo y el segundo de un apoyo de suspensión en alineación. En ambos apoyos se ha optado por sustituir el apoyo anterior por uno de celosía. En el 510 se ha elegido el apoyo C9000-22 con cabeza T4 y en el 519 se ha optado por el apoyo 61T150 del tipo 4.5TA.

En esta comparativa económica se van a analizar las situaciones en ambos apoyos (510 y 519) a partir de los nuevos apoyos que se ha decidido instalar tras el tendido de la cable de fibra.

Para el diseño de los apoyos tubulares se va a utilizar como medidas de referencia las de los apoyos de celosía que se van a instalar para soportar los esfuerzos que va a generar el cable de fibra.

Por ello se van a calcular las distancias eléctricas necesarias que se tienen que guardar en los apoyos que se van a diseñar, o lo que va a ser lo mismo que comprobar que las distancias que se deben guardar se cumplen en los apoyos de celosía que se ha decidido instalar.

Una vez comprobadas las distancias de seguridad, se procede al diseño de los apoyos mediante el PLS-POLE y se comprueba que aguantan los esfuerzos a los que se verían sometidos.

Por último se realiza la comparativa económica entre los apoyos de celosía, chapa plegada y hormigón. Una vez se realice el estudio se analizarán los resultados obtenidos tanto para el apoyo de amarre como para el de suspensión.

3. Justificación de la elección del cable de fibra

En el tramo de SS HIBRIDACIÓN TERMOSOLAR a STR VILAFRANCA que se estudia en este proyecto, el cable de fibra que se ha empleado es el FOADK-80/0. Este cable se trata de un cable dieléctrico autoportado, sin ningún tipo de elemento metálico.

Dado que los cables de tierra se suelen emplear en líneas a partir de 66 kV, es decir, con una tensión superior a la mencionada, no tiene sentido elegir el cable OPGW a pesar de que tiene un coste inferior al FOADK, puesto que este tipo de cable hace funciones de cable de tierra y de telecomunicaciones. Por tanto, se ha elegido para este trabajo el cable dieléctrico autoportado, conocido como cable ADSS y en el ámbito de Iberdrola como cable FOADK. Puesto que la línea es propiedad de Iberdrola Distribución Eléctrica, S.A. se manejará la terminología de Iberdrola.

A la hora de hacer el tendido del cable, es más sencillo el tendido del FOADK que el del OPGW. Esto se debe a que si la línea ya está en funcionamiento, el tendido del cable de fibra se debe realizar en tensión. El OPGW, al cumplir las funciones de cable de tierra además de las funciones de telecomunicaciones se debe tender por encima de los conductores, con las complicaciones técnicas y de seguridad para los operarios que supone realizar un trabajo por encima de los conductores en tensión.

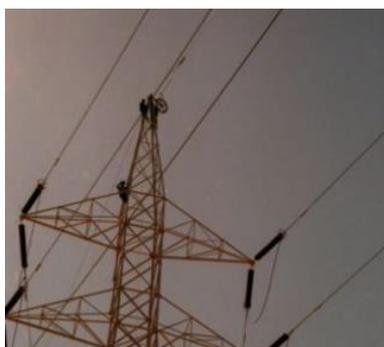


Ilustración 21. Tendido de cable OPGW

Sin embargo, el tendido del cable FOADK, al no realizar función de cable de tierra, se hace por debajo de los conductores y resulta más sencilla tanto por la seguridad de los operarios como técnicamente.



Ilustración 22. Tendido de cable FOADK

A las compañías eléctricas les interesa poner un cable que pueda llevar el mayor número de comunicaciones posible, sin excederse en costes. Por ello se ha elegido un cable de 80

fibras (el máximo son 90), para de esta manera sacarle el mayor partido posible al tendido del cable de fibra y poder obtener un beneficio mayor del alquiler del cable a las compañías de telecomunicaciones.

4. Cálculos justificativos

A continuación, se van a realizar los cálculos que justifican la elección de los apoyos que se ha hecho para el proyecto. Estos cálculos consisten en averiguar las mínimas distancias de seguridad que deben cumplir los apoyos.

Las distancias que se deben respetar son diferentes para el apoyo 510 y para el 519, debido a que el primero se trata de un amarre en ángulo mientras que el segundo se trata de un apoyo de suspensión en alineación.

A la hora de diseñar los apoyos hay que tener en cuenta las distancias con las partes del apoyo que están puestas a tierra y que en ningún caso pueden estar en contacto con ninguna parte del apoyo. Además de comprobar estas distancias es necesario guardar unas distancias de seguridad de los conductores con el suelo y con los elementos por los que pase por encima la línea como puede ser el caso de una carretera u otra línea existente (cruzamiento). Sin embargo, puesto que en este proyecto solo se han tenido en cuenta dos casos particulares de los apoyos de la línea y no se han tenido en consideración aspectos del tendido de los cables, las distancias que se calcularán serán las mínimas a los elementos a tierra y la altura de los conductores en el apoyo sin ver si cerca de este apoyo hay algún elemento que obligase a hacer más altos los apoyos.

También se tienen que tener en cuenta las distancias entre conductores, para eliminar cualquier influencia entre conductores que pudiera perjudicar al transporte de la energía eléctrica por la línea.

4.1. Cálculos de las distancias de seguridad para el apoyo 510

APOYO 510

El apoyo 510 que se ha elegido se trata del apoyo C9000-22 de cabeza tipo T4. Este apoyo es un apoyo de celosía monobloque y la cabeza tiene la siguiente estructura.

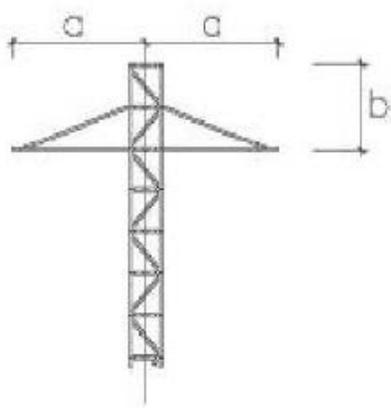


Ilustración 23. Cabeza del apoyo 510

Las medidas de la cabeza son:

- a = 2 m.
- b = 1.8 m.

La altura libre del apoyo es de 19.41 m, es decir, que la altura con respecto al suelo a la que se encuentran las crucetas es de 19.41 m.

DISTANCIA ENTRE CONDUCTORES

En primer lugar se va a calcular la distancia entre conductores ya sean de una misma fase o de distintas fases. La distancia entre conductores se define como la separación mínima que tiene que haber entre dos conductores para que no haya riesgo de cortocircuito. Para su cálculo hay que tener en cuenta las posibles oscilaciones de estos por la acción del viento. También habría que tener en cuenta la acción que tiene sobre los cables el hielo, pero debido a que la línea se encuentra en zona A, como se ha mencionado anteriormente, según el reglamento, no es necesario tener en cuenta esta hipótesis de cálculo.

La separación mínima entre conductores viene definida por la siguiente fórmula:

$$D = K\sqrt{F + L} + K'D_{pp}$$

Antes de pasar a los cálculos se definen los parámetros que emplea esta fórmula:

- D = Separación mínima entre conductores de una misma fase o de distintas fases.
- K = Coeficiente que depende de la oscilación de los conductores con el viento.

Ángulo de oscilación	Valores de K	
	Líneas de tensión nominal superior a 30 kV	Líneas de tensión nominal igual o inferior a 30 kV
Superior a 65º	0,7	0,65
Comprendido entre 40º y 65º	0,65	0,6
Inferior a 40º	0,6	0,55

Tabla 5. Coeficiente K en función del ángulo de oscilación

- K' = Coeficiente que depende de la tensión nominal de la línea. Toma un valor de 0.85 para líneas de categoría especial y un valor de 0.75 para el resto de líneas.
- F = Flecha máxima en metros para la hipótesis de viento definida en el apdo. 3.2.3 de la ITC-07. Esta hipótesis indica que se realice el cálculo de la flecha para un viento de 120 km/h y una temperatura de 15°C.
- L = Longitud en metros de la cadena de aisladores de suspensión. Si se trata de un amarre la L se considerará 0.

- D_{pp} = Distancia mínima aérea para evitar una descarga disruptiva entre conductores de fase durante sobretensiones de frente lento o rápido.

Para el coeficiente K vamos a elegir una oscilación entre los 40° y los 65°, que posteriormente durante el diseño se verificará que se cumple. Se elige este valor porque no se trata de un ángulo muy pequeño que podría dar problemas, ni tampoco permite oscilar demasiado al cable.

K' tomará un valor de 0.75 puesto que la línea no se trata de una línea de categoría especial.

En este caso L será cero ya que se trata de un apoyo con cadenas de amarre y la D_{pp} se toma de tablas a partir de la tensión máxima de la línea y tiene un valor de 0.8.

La flecha máxima se obtiene del programa PLS-CADD en el que se tiene tendida la línea de manera que se respeten las distancias de seguridad de los conductores con el suelo en los puntos de flecha máxima, que son los puntos que más cerca están del suelo y por tanto los más críticos.

La distancia entre conductores se calculará para el vano con el apoyo 509 y para el vano con el apoyo 511 puesto que las flechas de ambos vanos serán diferentes. Por tanto, por cada apoyo habrá que calcular dos distancias entre conductores.

Los resultados de las distancias entre conductores se presentan en la siguiente tabla:

Vano	Flecha máxima (m)	D (m)
509-510	2,92	1,7107
510-511	4,27	1,9432

Tabla 6. Distancias entre conductores en el apoyo 510

A la hora de diseñar los apoyos, en el apoyo 510, se deberán respetar unas distancias entre conductores de 1.7107 m y de 1.9432 m.

Viendo la estructura de la cabeza del apoyo y sus medidas, y sabiendo que las fases están en la punta de apoyo y en las dos crucetas, se puede apreciar que se cumplen las distancias de seguridad:

- Entre la fase de arriba y cualquiera de las dos de las crucetas:

$$D = \sqrt{2^2 + 1.8^2} = 2.69 \text{ m}$$

- Entre las fases de las crucetas:

$$D = 1.8 + 1.8 = 3.6 \text{ m}$$

DISTANCIA AL TERRENO

Para que los conductores siempre guarden una distancia mínima con el terreno o los elementos por los que pasen por encima, los apoyos deben tener una altura libre mínima, establecida por el RLAT según la siguiente fórmula:

$$H = D_{add} + D_{el}$$

D_{add} es una distancia adicional necesaria para cumplir las mínimas separaciones de seguridad con el suelo. Esta tiene un valor de 5.3 m, teniendo que alcanzar el conductor una altura mínima de 6 m en el apoyo. En el caso de que la línea tenga que pasar por encima de explotaciones ganaderas o agrícolas, la altura mínima deberá de ser de 7m.

En nuestro caso la altura mínima a la que deben de situarse los conductores con respecto al suelo será:

$$H = D_{add} + D_{el} = 5.3 + 0.7 = 6 \text{ m}$$

Cuando se lleve a cabo el diseño de apoyos, se deberán situar los conductores a una altura mínima de 6 m con respecto al suelo.

En este caso al tratarse la altura libre de 19.41 m, se cumple sobradamente la altura mínima a la que se deben situar las crucetas.

DISTANCIA DE LOS CONDUCTORES A ELEMENTOS A TIERRA

Para calcular las distancias de los conductores con los elementos a tierra, se define para ello D_{el} , que según la ITC-07 del RLAT, es la distancia de aislamiento en el aire mínima para evitar descargas disruptivas entre los conductores de las fases y los objetos que se encuentran puestos a tierra (tienen potencial nulo) en situaciones de sobretensión de frente lento o rápido. Esta distancia puede ser tanto del conductor a un elemento del apoyo o a un elemento externo al apoyo como por ejemplo un árbol. Esta distancia está normalizada según la tensión máxima de la línea.

TENSIÓN NOMINAL DE LA RED (U_n) kV	TENSIÓN MÁS ELEVADA DE LA RED (U_s) kV
3	3,6
6	7,2
10	12
15	17,5
20	24
25	30
30	36
45	52
66	72,5
110	123

132	145
150	170
220	245
400	420

Tabla 7. Tensiones de las líneas

Dado que la tensión de la línea es de 66 kV, la tensión máxima es de 72.5, que es la que se ha utilizado para obtener datos de otras tablas de parámetros que están normalizados según la tensión máxima de la línea. Por tanto, la D_{el} para nuestra línea será de 0.7 m.

Tensión más elevada de la red U_s (kV)	D_{el} (m)	D_{pp} (m)
3,6	0,08	0,1
7,2	0,09	0,1
12	0,12	0,15
17,5	0,16	0,2
24	0,22	0,25
30	0,27	0,33
36	0,35	0,4
52	0,6	0,7
72,5	0,7	0,8
123	1	1,15
145	1,2	1,4
170	1,3	1,5
245	1,7	2
420	2,8	3,2

Tabla 8. Distancias de aislamiento eléctrico para evitar descargas

Al tratarse de un apoyo en amarre no se tiene que considerar el balanceo de los cables como sí que se tendría que tener en cuenta en los apoyos de suspensión. Por tanto, los conductores de las fases deben estar como mínimo a una distancia de 0.7 m de las partes puestas a tierra.

Esto nos indica la longitud mínima de la cadena de aisladores, que deberá ser de 0.7 m o superior a la hora de diseñar los apoyos. De esta manera se comprueba también que la distancia elegida para la cadena de aisladores también es la adecuada, puesto que en el apoyo 510 las cadenas de aisladores tienen una longitud de 0.89 m.

4.2. Cálculos de las distancias de seguridad para el apoyo 519

El procedimiento que se va a seguir a la hora de realizar los cálculos para el apoyo 519 es muy similar al seguido para el apoyo 510, con la diferencia de que al ser el apoyo 519 un apoyo de suspensión habrá que calcular si se respetan los ángulos de balanceo y las

distancias internas de los conductores a los elementos del apoyo, que tienen potencial cero.

APOYO 519

El apoyo 519 que se ha elegido es el 61T150 T4.5, que se trata de un apoyo de celosía monobloque y la cabeza tiene la siguiente estructura:

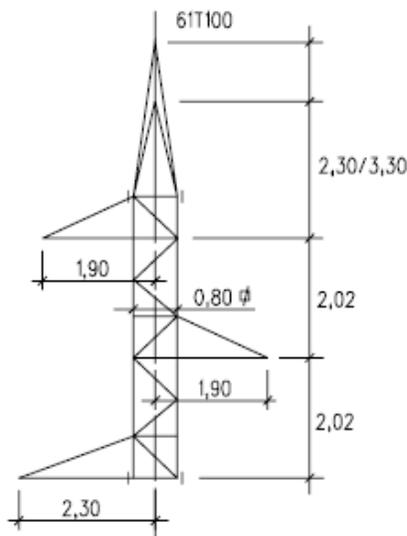


Ilustración 24. Cabeza del apoyo 519

La altura de la cúpula de tierra que se ha elegido es de 2.3 m.

La altura libre del apoyo es de 20.75 m.

DISTANCIA ENTRE CONDUCTORES

Los únicos valores de los parámetros que cambian respecto a los utilizados para el apoyo 510, son la longitud de la cadena de aisladores, que al ser de suspensión y no de amarre sí que hay que tenerla en cuenta y la flecha máxima.

En este caso, el valor de L será de 1 porque la longitud de las cadenas de aisladores de suspensión de este apoyo es de 1 m.

Vano	Flecha máxima (m)	D (m)
518-519	3,80	2.0241
519-520	12,24	2.9651

Tabla 9. Distancias entre conductores en el apoyo 519

Ahora se van a calcular las distancias entre los conductores en el apoyo que se ha seleccionado. Se van a designar las fases con los números del uno al tres, siendo la número uno la que se encuentra más arriba y la 3 la que se encuentra más abajo:

- Distancia entre las fases 1 y 3

$$D = \sqrt{0.4^2 + (2.02 + 2.02)^2} = 4.0598 \text{ m}$$

- Distancia entre las fases 2 y 3

$$D = \sqrt{2.02^2 + (1.9 + 2.3)^2} = 4.6605 \text{ m}$$

- Distancia entre las fases 1 y 2

$$D = \sqrt{(1.9 + 1.9)^2 + 2.02^2} = 4.3035 \text{ m}$$

Como bien se puede ver, las distancias mínimas entre conductores se superan ampliamente.

DISTANCIA AL TERRENO

Al ser la misma línea que el apoyo anterior, tanto la D_{add} , como la D_{el} , son iguales en todos los apoyos de la línea, salvo las excepciones mencionadas en los cálculos del apoyo anterior. Por tanto la mínima distancia de las crucetas al suelo ha de ser de 6 m.

En este caso al tratarse la altura libre de 20.75 m, se cumple sobradamente la altura mínima a la que se deben situar las crucetas.

DISTANCIA DE LOS CONDUCTORES A ELEMENTOS A TIERRA

Como el apoyo 519 se trata de un apoyo de suspensión, ahora la D_{el} no nos marcará únicamente la mínima longitud de la cadena de aisladores, sino que también habrá que determinar los ángulos de balanceo posibles para respetar la distancia mínima con el apoyo.

Para ello se va a suponer que el radio de la torre es de 400 mm como se muestra en el dibujo de la cúpula que se adjuntaba al principio de estos cálculos de distancias.

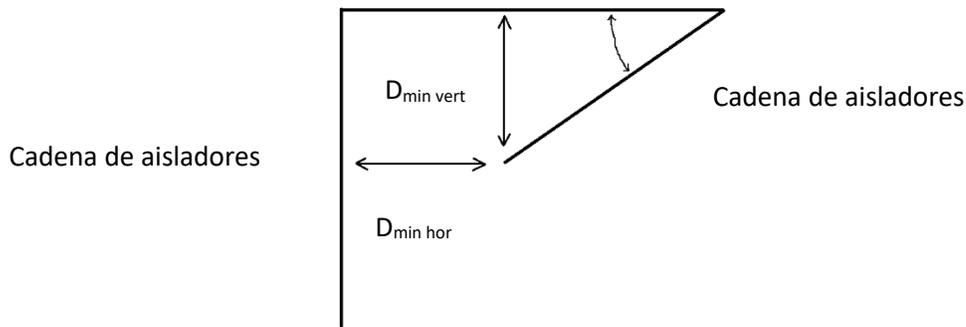


Ilustración 25. Esquema de distancias mínimas para el balanceo del aislador

Puesto que se tienen dos longitudes de cruceta diferentes, una de 1.9 m y otra de 2.3 m, habrá que calcular los ángulos de balanceo que marcan las distancias mínimas que se indican en el dibujo para las dos crucetas, determinar cuál es el más restrictivo y ver si la suposición hecha para el cálculo de la distancia entre conductores es correcta.

Esta distancia mínima será la D_{el} , que se ha definido previamente y que se sabe que para una línea de 66 kV es de 0.7 m.

Para la cruceta de longitud 1.9 los ángulos de balanceo son:

- Ángulo que resulta de la distancia vertical con el brazo:

$$\theta = \sin^{-1}\left(\frac{0.7}{1}\right) = 44.427^\circ$$

- Ángulo que resulta de la distancia horizontal con el cuerpo del apoyo:

$$\theta = \cos^{-1}\left(\frac{1.9 - 0.8 - 0.7}{1}\right) = 66.4218^\circ$$

Se aprecia que el más restrictivo es el ángulo con el cuerpo del apoyo puesto que si el aislador parte de una posición vertical, llegará antes a formar con el brazo el ángulo de 66° que el de 44° . Confirmamos que la suposición hecha para el cálculo de distancias entre conductores es correcta.

Para la cruceta de longitud 2.3 los ángulos de balanceo son:

- Ángulo que resulta de la distancia vertical con el brazo:

$$\theta = \sin^{-1}\left(\frac{0.7}{1}\right) = 44.427^\circ$$

- Ángulo que resulta de la distancia horizontal con el cuerpo del apoyo:

$$\theta = \cos^{-1}\left(\frac{2.3 - 0.8 - 0.7}{1}\right) = 36.8699^\circ$$

Se aprecia que el más restrictivo es el ángulo con el brazo puesto que si el aislador parte de una posición vertical, llegará antes a formar con el brazo el ángulo de 44° que el de 36.8699° .

36°. Confirmamos que la suposición hecha para el cálculo de distancias entre conductores es correcta.

5. Comparativa económica

La comparativa económica que se va a presentar a continuación está hecha una por cada apoyo, de esta manera permite sacar conclusiones de cada apoyo por separado y de los dos al mismo tiempo y establecer similitudes y diferencias entre el 510 y el 519 y por supuesto, también entre los tres tipos de apoyo que se analizan y que son objeto de la comparación económica.

5.1. Apoyo 510

En primer lugar se presenta la comparativa económica de la obra civil, el montaje y la mano de obra:

OBRA CIVIL, MONTAJE Y MANO DE OBRA	Apoyo celosía (C-9000-22 cabeza tipo T4)	Apoyo chapa ple-gada	Apoyo hormigón
P.A. Ejecución de nuevos accesos a apoyos. Adecuación de accesos existentes y restitución de estos una vez acabado el montaje de los apoyos	8500	12750	10625
Desmontaje cadenas de amarre	90	90	90
Ud. Desmontaje apoyo anterior	704,53	425,72	293
m3 Demolición y retirada de cimentación del apoyo anterior	151,38	151,38	151,38
m3 de tierra de relleno cimentación retirada de apoyo	273,674	273,674	273,674
m3 Excavación apoyos en terreno normal	1477,41	1477,41	1477,41
Ud. Montaje puesta a tierra normalizada en apoyo tipo zona normal para monobloque	62,52	62,05	62,52
m3 Hormigonado de la cimentación de apoyos con hormigón en masa HM-200 según instrucción EHE. Incluye suministro y vertido de hormigón, confección de las peanas, aportación de encofrados normalizados, aportación y colocación del tubo para posterior salida del cable de puesta a tierra.	3169,80	3169,80	3169,80
Montaje del apoyo	2946,24	425,72	1368,33
Ud. Montaje cadena de amarre, aislador de vidrio	56,22	56,22	56,22
Ud. Montaje herraje amarre cable fibra óptica autosoportado de 80 fibras	44,04	44,04	44,04

Instalación de la placa de señalización de riesgo eléctrico	6,71	6,71	7,38
Instalación de la placa identidad corporativa apoyo	9,27	9,27	9,27
TOTAL OBRA CIVIL, MONTAJE Y MANO DE OBRA	17.491,80 €	18.942,00 €	17.628,03 €

Tabla 10. Comparativa económica del apoyo 510. Obra civil, montaje y desmontaje

En segundo lugar se presenta el estudio según los materiales empleados a la hora de fabricar cada apoyo y el coste del material de algunos de sus elementos como los aisladores.

MATERIALES APOYO	Apoyo celosía (C-9000-22 cabeza tipo T4)	Apoyo chapa plegada	Apoyo hormigón
Ud. Puesta a tierra normalizada en apoyo tipo zona normal para monobloque	36,16	53,33	44,745
Apoyo	4637,6	2162,72	1630,29
Ud. Cadena de amarre 66 kV vidrio	111,92	111,92	111,92
Ud. Herraje suspensión para cable fibra óptica autosoportado 80 fibras	62,5	62,5	62,5
Placa de señalización de riesgo eléctrico	2,05	2,05	2,21
Placa identidad corporativa apoyo	22	22	22
TOTAL MATERIALES	4.872,23 €	2.414,52 €	1.873,66 €

Tabla 11. Comparativa económica del apoyo 510. Materiales

Por último se presentan los costes totales de cada apoyo:

PRECIO FINAL DEL APOYO	Apoyo celosía (C-9000-22 cabeza tipo T4)	Apoyo chapa plegada	Apoyo hormigón
TOTAL	22.364,02 €	21.356,51 €	19.501,69 €

Tabla 12. Comparativa económica del apoyo 510. Precios totales

5.2. Apoyo 519

En primer lugar se presenta la comparativa económica de la obra civil, el montaje y la mano de obra:

OBRA CIVIL, MONTAJE Y MANO DE OBRA	Apoyo celosía (61T150 4,5TA)	Apoyo chapa plegada	Apoyo hormigón
P.A. Ejecución de nuevos accesos a apoyos. Adecuación de accesos existentes y restitución de estos una vez acabado el montaje de los apoyos	8500	12750	10625
Desmontaje cadenas de suspensión	45	45	45
Ud. Desmontaje apoyo anterior	704,53	425,72	293
m3 Demolición y retirada de cimentación del apoyo anterior	151,38	151,38	151,38
m3 de tierra de relleno cimentación retirada de apoyo	169,261	169,261	169,261
m3 Excavación apoyos en terreno normal	913,7463	913,7463	913,7463
Ud. Montaje puesta a tierra normalizada en apoyo tipo zona normal para monobloque	62,52	62,05	62,52
m3 Hormigonado de la cimentación de apoyos con hormigón en masa HM-20 según instrucción EHE. Incluye suministro y vertido de hormigón, confección de las peanas, aportación de encofrados normalizados, aportación y colocación del tubo para posterior salida del cable de puesta a tierra.	1960,45	1960,45	1960,45
Montaje del apoyo	2113,56	425,72	1368,33
Ud. Montaje cadena de suspensión, aislador de composite	71,15	71,15	71,15
Ud. Montaje herraje suspensión cable fibra óptica autosoportado de 80 fibras	55,13	55,13	55,13
Instalación de la placa de señalización de riesgo eléctrico	6,71	6,71	7,38
Instalación de la placa identidad corporativa apoyo	9,27	9,27	9,27
TOTAL OBRA CIVIL, MONTAJE Y MANO DE OBRA	14.762,70 €	17.045,58 €	15.731,62 €

Tabla 13. Comparativa económica del apoyo 519. Obra civil, montaje y mano de obra

En segundo lugar se presenta el estudio según los materiales empleados a la hora de fabricar cada apoyo y el coste del material de algunos de sus elementos como los aisladores:

MATERIALES APOYO	Apoyo celosía (61T150 4,5TA)	Apoyo chapa plegada	Apoyo hormigón
Ud. Puesta a tierra normalizada en apoyo tipo zona normal para monobloque	36,16	53,33	44,745
Apoyo	3326,9	2162,72	1630,286667
Ud. Cadena de suspensión 66 kV composite	197,18	197,18	197,18
Ud. Herraje suspensión para cable fibra óptica autosoportado 80 fibras	40,74	40,74	40,74
Placa de señalización de riesgo eléctrico	2,05	2,05	2,21
Placa identidad corporativa apoyo	22	22	22
TOTAL MATERIALES	3.625,03 €	2.478,02 €	1.937,16 €

Tabla 14. Comparativa económica del apoyo 519. Materiales

Por último se presentan los costes totales de cada apoyo:

PRECIO FINAL DEL APOYO	Apoyo celosía (61T150 4,5TA)	Apoyo chapa plegada	Apoyo hormigón
TOTAL	18.387,73 €	19.523,60 €	15.798,36 €

Tabla 15. Comparativa económica del apoyo 519. Precios totales

5.3. Análisis de los resultados

En primer lugar se van a analizar los resultados obtenidos de la comparativa que se ha realizado para el apoyo 510, posteriormente la del 519 y por último las conclusiones generales aplicables a los dos apoyos (amarre y suspensión).

APOYO 510

En la comparativa de los tres tipos de apoyo para la posición 510 en la línea se puede apreciar que en términos de obra civil el de mayor coste es el de chapa plegada debido al coste que tienen los accesos a los apoyos que hay que realizar, que pueden llegar a ser hasta un 50 % más caros que los que son necesarios para los apoyos de celosía. Los precios en este apartado de los apoyos de celosía y hormigón son muy parejos.

En el apartado de los materiales se aprecia que el que tiene un coste superior es el de celosía con un precio en material mayor del doble que el de chapa y siendo 2.6 veces mayor al precio del apoyo de hormigón. Esto se debe principalmente al material que se emplea para la construcción de cada apoyo y su coste. En el de celosía se tiene un precio muy superior al de los otros dos apoyos.

Si se tienen en cuenta los apartados mencionados anteriormente se puede observar cómo el apoyo de mayor precio es el de celosía, seguido de cerca por el de chapa plegada que es aproximadamente un 5% más barato. El de menor coste como se podía intuir antes del estudio es el de hormigón que presenta un precio casi un 15% menor que el de celosía.

Tras analizar el resultado general de los costes de los tres tipos de apoyo se puede concluir que en este caso se ha elegido el apoyo de mayor coste, lo que es sorprendente porque en estos proyectos se busca siempre dar el mejor servicio y a mejor calidad, ajustando el presupuesto lo máximo posible.

A pesar de que esto no parezca normal, tiene una fácil lectura porque los apoyos de celosía son los más empleados en el sector eléctrico en España y su transporte es mucho más fácil que el de los otros apoyos. Los apoyos de chapa no se fabrican en España y habría que importarlos desde Francia (donde está el fabricante más cercano) y los apoyos de hormigón tubulares no se suelen emplear porque dan un aspecto de menor calidad. En muchas partes del mundo como en Sudamérica se emplean este tipo de apoyos para líneas de alta tensión, incluso de mayor tensión que la que se está estudiando y en las que los apoyos deben aguantar unos esfuerzos mayores que en este caso.

APOYO 519

En la comparativa de los tres tipos de apoyo para la posición 510 en la línea se puede apreciar que en términos de obra civil el de mayor coste es el de chapa plegada y después el de hormigón, debido al elevado coste de los accesos a los apoyos que se necesita que sean de mayor tamaño y con unas condiciones diferentes a los que se necesita para celosía debido a que la maquinaria que se necesita emplear es diferente y requieren unos accesos de mayor tamaño, lo que incrementa considerablemente el coste del apoyo.

Por otro lado si se analizan los costes de los materiales y elementos de los apoyos el de mayor precio es el de celosía, al igual que en el apoyo de amarre que se ha estudiado anteriormente.

Finalmente, se puede ver que el apoyo con el precio más alto, teniendo en cuenta obra civil, montaje, mano de obra y materiales, es el de chapa plegada y no el de celosía como ocurría anteriormente. El apoyo de menor coste es el de hormigón de nuevo debido a que el material es el más barato.

En este caso la decisión de emplear el apoyo de celosía es más comprensible que en el caso del apoyo 510 porque el precio del de celosía es menor que el de chapa plegada. Sin embargo, en vez de optar por el de menor coste, que es el de hormigón, se decide utilizar el de celosía por los mismos motivos que en el apoyo anterior.

Se puede ver cómo el apoyo de chapa es un 6% más caro que el de celosía y el de hormigón un 4% más barato que el de celosía y un 10% que el de chapa. Se aprecia que los precios en este caso no varían tanto como en el caso del apoyo de amarre. Esto se debe a que los apoyos de suspensión no tienen que soportar unas cargas tan exigentes como los apoyos que se encuentran en un ángulo de la línea que debido a esto necesitan emplear más material para el apoyo y ser más resistentes.

ANÁLISIS CONJUNTO DE LOS APOYOS 510 Y 519

En primer lugar se puede ver cómo tienen un coste mayor los apoyos que se emplean para un amarre que para una suspensión. Este resultado es lógico, ya que como se acaba de comentar en el punto anterior, los apoyos de amarre soportan cargas mayores que los apoyos de suspensión. Asimismo, los esfuerzos de un amarre no tienen por qué ser parecidos a ambos lados, mientras que en los de suspensión sí, lo que hace que los apoyos de amarre se vean más exigidos mecánicamente que los de suspensión. Esto se traduce en que para su construcción se emplea más cantidad de material y eso hace que el coste se incremente.

En ambos casos se ha optado por los apoyos de celosía, a pesar de no ser los más económicos. Esto es debido al hábito que hay de realizar proyectos con apoyos de celosía en España y debido a que no hay fabricantes nacionales de los otros dos tipos de apoyos, lo que dificulta su transporte.

El fabricante más cercano de apoyos de chapa plegada está en Francia y con respecto a los apoyos de hormigón, los que se emplean en España no son como el que se ha diseñado, puesto que los que se emplean aquí normalmente se emplean con una cruceta en lo alto del poste de hormigón y no se suelen ver en tensiones más elevadas que los 66 kV. Sin embargo el apoyo que se ha diseñado es equivalente al de celosía propuesto para el proyecto y es un tipo de apoyo que se emplea mucho en Sudamérica, donde está muy extendido su uso debido a que su coste es muy inferior a los otros dos apoyos analizados en este estudio.

Pero para realizar un estudio adecuado a la realidad y por tanto un análisis más acertado se van a plantear dos situaciones diferentes y en las que dependiendo del contexto de proyecto conviene emplear más un tipo de apoyo u otro.

El primer escenario que se plantea es la construcción de cero de una línea eléctrica. En este caso, la distribución de los apoyos y su situación es un aspecto muy importante a la hora de diseñar el trazado de la línea. La situación más habitual es tener más apoyos de suspensión que de amarre en una línea por lo que a partir de los resultados obtenidos parece lógico emplear los apoyos tubulares y no los apoyos de celosía, que son los que se emplean. Esto se debe a que los vanos que admiten los apoyos tubulares son más cortos que los que admiten los apoyos de celosía. Esto significa que una línea que se construye desde cero necesitará un número mayor de apoyos tubulares que de celosía, lo que incrementaría significativamente el precio.

Imaginemos que se va a construir una línea de 66kV que tendría 10 apoyos de celosía (supongamos dos amarres y ocho de suspensión), sin contar con los apoyos fin de línea que no se van a analizar en este caso. El precio, con lo visto en el estudio rondaría los 190.000 €. Sin embargo, si se emplearan apoyos tubulares, debido a que admiten vanos más cortos, por cada dos apoyos de celosía se necesitarían tres tubulares. De esta forma se pasaría a tener 3 apoyos de amarre y doce de suspensión, lo que supondría un coste de unos 320.000 €, más de un 50% del precio total de los de celosía.

En esta situación se ve claramente por qué se emplean los apoyos de celosía y no los tubulares. En este caso, la obra de los accesos a los apoyos es determinante porque habría que hacer cinco accesos más que si la línea se sujetara con los apoyos de celosía, con el consiguiente incremento en el coste final.

Sin embargo la otra situación que se va a analizar es la sustitución de uno o varios apoyos en una línea ya existente, como en este caso, en el que el tendido de un cable de fibra óptica hace que los apoyos superen su máximo porcentaje de uso y se tengan que sustituir por otros más robustos que aguanten las nuevas cargas.

En este caso, se pueden plantear dos escenarios distintos. Uno sería que los vanos fueran lo suficientemente cortos para que los aguantasen tanto los apoyos de celosía como los apoyos tubulares, en cuyo caso, a no ser que todos los apoyos que se debieran sustituir fueran amarres, supondría una disminución en el precio además de una aceptación social mayor de los nuevos apoyos, debido al menor impacto visual que tienen con respecto a los de celosía.

En el otro caso en el que los vanos excediesen la longitud de la que pueden soportar los apoyos tubulares, se necesitaría montar dos apoyos tubulares por uno de celosía, lo que supondría un coste mayor si se emplean apoyos tubulares que si se emplean los de celosía.

Se puede concluir que para proyectos nuevos, es más económico hacer el proyecto con apoyos de celosía, a pesar del mayor impacto medioambiental que tienen. Sin embargo en sustitución de apoyos, dependiendo de la longitud del vano, es interesante llevar a cabo el análisis económico que se presenta en este proyecto, porque se pueden reducir entre un 5 y un 15% los costes además de mejorar el impacto visual de la línea en el entorno.

DOCUMENTO N°2 - ANEXOS

Anexo I – Diseño de los apoyos

En este anexo se pretende explicar cómo diseñar un apoyo tubular en PLS-POLE[®], a partir de ahora POLE[®]. Se explicará el método común que se debe seguir para todos los apoyos y se explicarán en detalle las diferencias en el procedimiento de diseño a la hora de diseñar los apoyos de metal y los de hormigón.

Es imprescindible saber que para analizar el comportamiento del apoyo ante los esfuerzos mecánicos a los que se le va a someter, el programa emplea un método de cálculo por elementos finitos de gran complejidad y que le da una precisión muy elevada a la hora de extraer resultados y conclusiones. El POLE[®], es un software de primer nivel, que emplean las empresas dedicadas al sector de las líneas para diseñar los apoyos tubulares.

Para diseñar un apoyo en este programa es necesario disponer de los planos del apoyo por parte del fabricante para hacerlo de manera exacta y precisa, sin embargo al ser una industria, la de los apoyos tubulares, todavía en desarrollo, los fabricantes no proporcionan dichos planos ni características de los materiales que se emplean en la fabricación de los mismos. Por ello, lo que se suele hacer es coger unas medidas parecidas al equivalente del apoyo tubular en celosía y a partir de esta base optimizar el diseño para reducir al máximo la cantidad de material utilizada para reducir los costes del apoyo.

1.1.Librerías

Para empezar a utilizar el software es necesario definir unas librerías. Estas son unos archivos que utiliza el programa para recoger las características técnicas que necesita para modelar el apoyo y para comprobar mediante el método de cálculo que emplea, si la estructura aguanta las cargas que se quiere que aguante.

El programa trae unas librerías por defecto en las que se tienen los datos normalizados de los materiales que se emplean en esta industria para

A continuación se mencionan las librerías que han hecho falta para el diseño de los apoyos del proyecto:

- Postes de acero

En esta librería se definen las características del acero que emplea el apoyo. Estas vienen definidas en las librerías que trae el programa de serie. Pero además de estas características, en este archivo se necesita exponer los diámetros de la punta y la base del apoyo, la longitud del apoyo y la parte de ella que va enterrada en el suelo.

Además de estas características, es necesario especificar la forma que se quiere que tenga la sección del apoyo. Normalmente estas secciones suelen ser polinomios o circunferencias. Normalmente suelen ser decágonos (polígonos de 10 lados) o dodecágonos (polígonos de 12 lados). Para el proyecto se ha elegido la forma con 12 caras, que es la más común en estos apoyos para la tensión de la línea que es objeto de estudio en este proyecto.

- Postes de hormigón

En esta librería se recogen al igual que en la del acero, las características del hormigón a emplear, incluida la curva del material que se define por puntos y que varía según la longitud del poste porque la composición del hormigón cambia según la longitud que se quiere que tenga el apoyo.

El programa da opción a elegir la forma del apoyo, dejando elegir entre redonda y cuadrada. Para este proyecto se ha elegido la redonda, ya que es la más común en los apoyos que se quieren diseñar.

Además de estas características, es necesario especificar la longitud del poste y la parte que va enterrada al igual que en los de acero. También se especifican los diámetros de la base y la punta del poste.

Sin embargo, la diferencia con los postes de acero es que en esta librería es necesario especificar el grosor que se quiere que tenga el poste tanto en la base como en la punta, pudiendo hacerlo hueco o macizo.

Aunque el programa da la posibilidad de hacerlos macizos, para postes grandes no se suele tomar esta opción ya que casi la totalidad de las tensiones las soporta en la parte superficial, siendo nulo el esfuerzo en el centro del apoyo.

- Brazos tubulares

Los brazos son los elementos del apoyo que salen horizontales del poste y que se encargan de sujetar los aisladores y de transmitir los esfuerzos al apoyo.

Es necesario definir la forma que se quiere que tenga la sección con los diámetros en la punta y en la base del apoyo. Asimismo el programa exige las características de estos brazos, que normalmente suelen ser de acero.

- Aisladores

Dentro de los aisladores hay varias opciones: aisladores de suspensión, de amarre, cadenas en V y aisladores rígidos. En el proyecto se han definido una librería para los aisladores de vidrio del apoyo en amarre y otra para los aisladores de composite del apoyo de suspensión.

Para estas librerías el programa pide que se introduzcan la longitud de la cadena, su peso y la máxima tracción que aguantan.

Es necesario definir los aisladores y modelarlos con el programa ya que son los puntos en los que se transmiten las cargas al apoyo. Si no se definen los aisladores y se colocan en los extremos de los brazos, el programa no admite un archivo de cargas para simular el comportamiento del apoyo.

- Clamp

Esta librería permite dar al punto las propiedades de la cadena de aisladores, es decir, permite que en este punto se introduzcan cargas para poder ver el comportamiento del apoyo.

Es necesario para ello definir la máxima tracción que aguanta el punto en el que se establecen estas propiedades.

Se ha definido el clamp en los apoyos del proyecto para simular la abrazadera que se va a utilizar en el proyecto para sujetar el cable de fibra óptica autosoportado.

1.2. Geometría

En este apartado, se selecciona qué parte de la librería se va a utilizar en el diseño del apoyo y es en la que se va a modelar el apoyo. Por ejemplo, si se han definido cinco postes de acero diferentes se selecciona cuál de los cinco se va a emplear.

Esta pestaña tiene la misma estructura que la de las librerías:

- Postes de acero

Ahora se selecciona el poste que se ha definido en la librería. En esta parte del diseño, el programa exige que se especifiquen los nodos del apoyo.

Estos nodos son los puntos en los que se van a anclar los brazos y la abrazadera para el cable de fibra. Una vez se completan los datos que pide el programa, el poste aparece en la ventana principal del programa.

- Postes de hormigón

En esta sección, se piden los mismos datos que para los postes de acero.

- Brazos tubulares

Al igual que en la pestaña del poste, se selecciona el brazo que se quiere utilizar y se definen los nodos que se quiere que tenga el brazo y que luego el programa empleará en su método de elementos finitos para calcular los esfuerzos a los que se ve sometido el apoyo.

Una vez completados los nodos, se especifica el nodo del poste en el que se quiere insertar y en qué posición, indicando el azimuth (ángulo con respecto a los ejes en el que se quiere que establecer el brazo).

Una vez se indican estos aspectos, aparecen en la ventana principal los brazos del apoyo tal y como se ha indicado.

- Aisladores

Al igual que en el resto de estas pestañas, se indica qué aislador de la librería se desea utilizar y en que nodo se quiere situar.

En las cadenas de aisladores de amarre se define el ángulo que quiere que formen estos, aunque generalmente se establecen ambos en perpendicular al apoyo, uno a un lado y el otro al otro, para que al introducirlos en el PLS-

CADD® para simular las cargas de la línea, formen el ángulo que forme la línea en ese punto.

Una vez completados los campos que requiere el software, el aislador aparece en la ventana principal del programa.

- Clamp

Se selecciona el clamp que se ha definido previamente en las librerías y se introduce en qué nodo se quieren establecer las propiedades del clamp.

1.3. Geometría

Una vez que se tiene modelado el apoyo, se establecen unas conexiones con el PLS-CADD®, que consiste en establecer qué extremo de cada aislador sujetará y transmitirá los esfuerzos de cada fase, al igual que el cable de fibra se conectará al clamp.

Cuando ya se han realizado las conexiones con el PLS-CADD® se abre este programa, en el que se tiene modelada la línea y se introduce el modelo que se ha diseñado en POLE® en la posición que corresponde, en nuestro caso la 510 y la 519. Una vez se ha introducido la estructura, se simulan las cargas que debe aguantar. El programa proporciona un report que determina el porcentaje de uso del apoyo, que debe ser inferior al 100% y que se recomienda que se encuentre entre el 80 y el 90% para no sobredimensionar el apoyo, lo que implicaría mayor coste del necesario.

La escala de colores y porcentajes de uso que emplea el programa es la siguiente:



Ilustración 26. Porcentajes de uso de los apoyos

A continuación se adjuntan las imágenes de estos reports para los cuatro modelos que se han realizado:

- Apoyo de hormigón 510

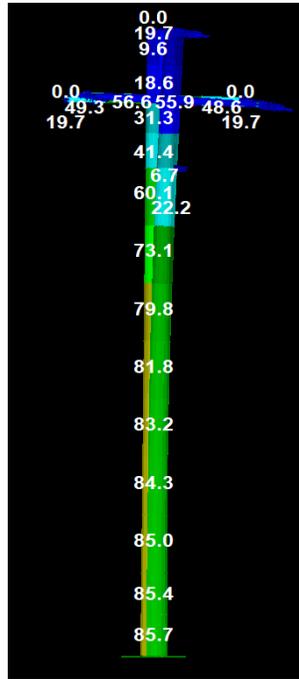


Ilustración 27. Porcentaje de uso del apoyo 510 de hormigón

- Apoyo de chapa plegada 510

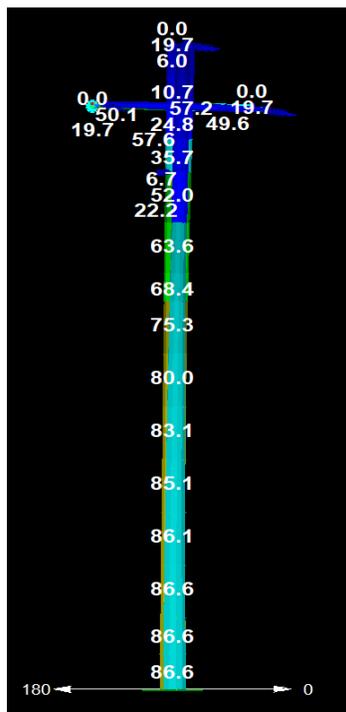


Ilustración 28. Porcentaje de uso del apoyo 510 de chapa plegada

- Apoyo de hormigón 519

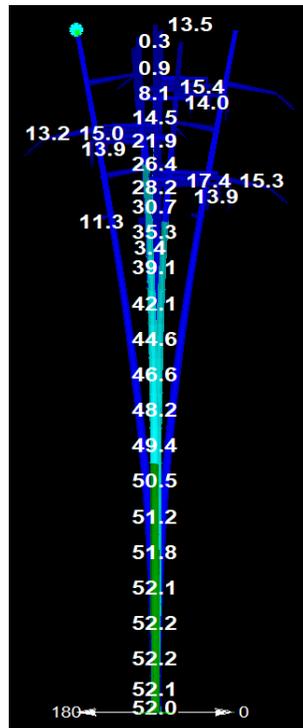


Ilustración 29. Porcentaje de uso del apoyo 519 de hormigón

- Apoyo de chapa plegada 519

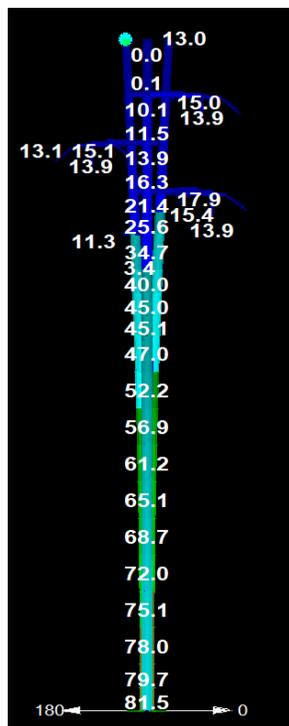


Ilustración 30. Porcentaje de uso del apoyo 519 de chapa plegada

Como se puede apreciar, todos los apoyos se han diseñado para que se encuentren en un porcentaje de uso entre el 80 y el 90 % de uso, a excepción del apoyo 519 de hormigón que se encuentra a un porcentaje máximo del 53.7% debido a que la estructura no se podía a ver más esbelta pues colapsaría por ella misma.

DOCUMENTO N°3 - PLANOS

1

2

3

4

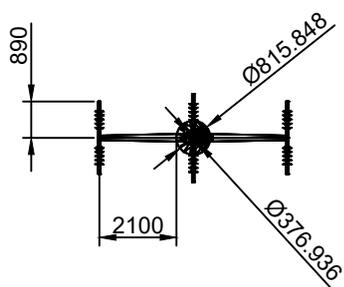
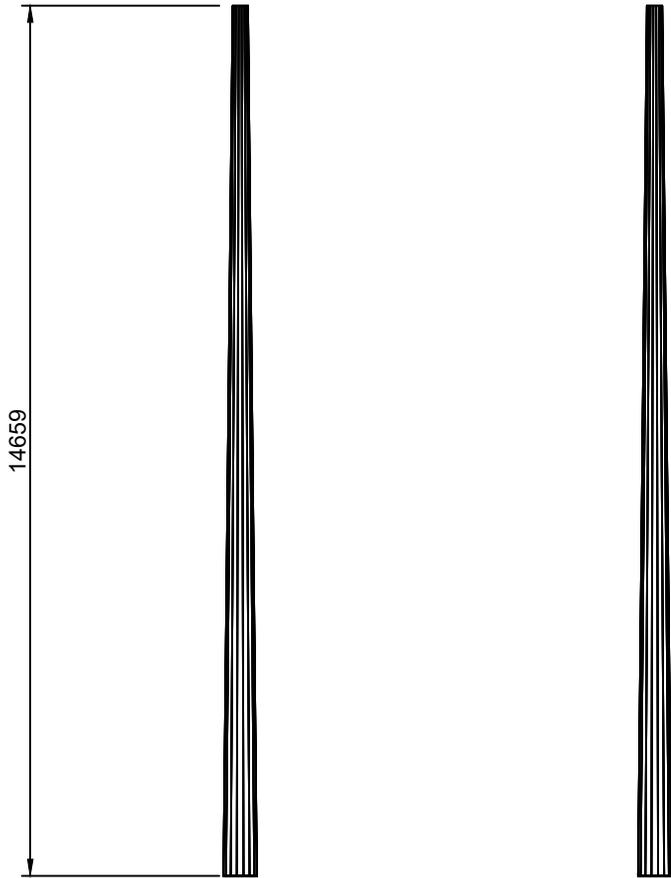
A

B

C

D

E



07/06/2019

FECHA

DIB

REV

APR

EDITADO PARA

F

PROYECTO: Comparativa económica entre apoyo de celosía, tubular de acero y tubular de hormigón

PLANO: Planos apoyo 510 de hormigón

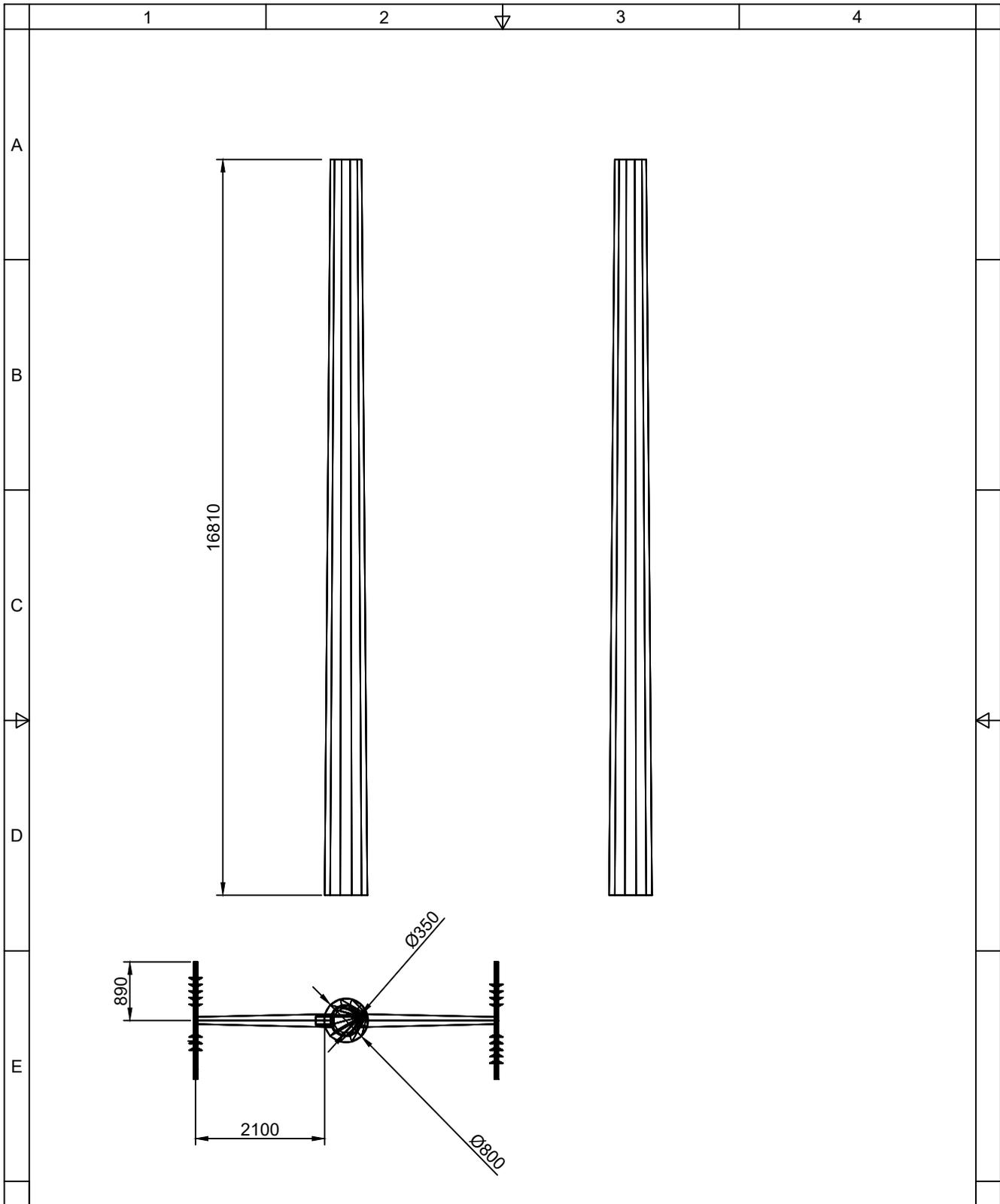


osprel

Nº de Plano: 1

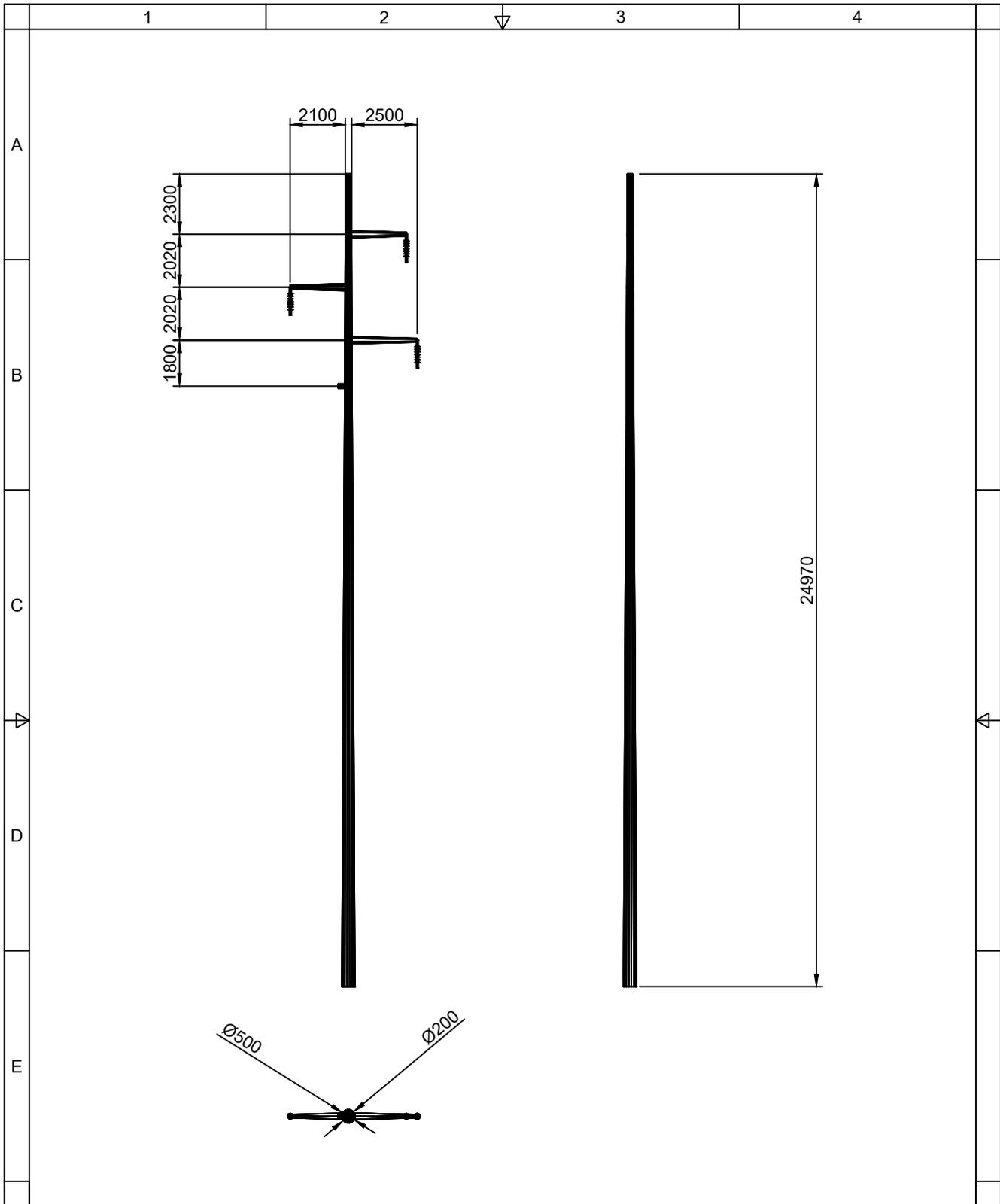
Escala:

Hoja: 1

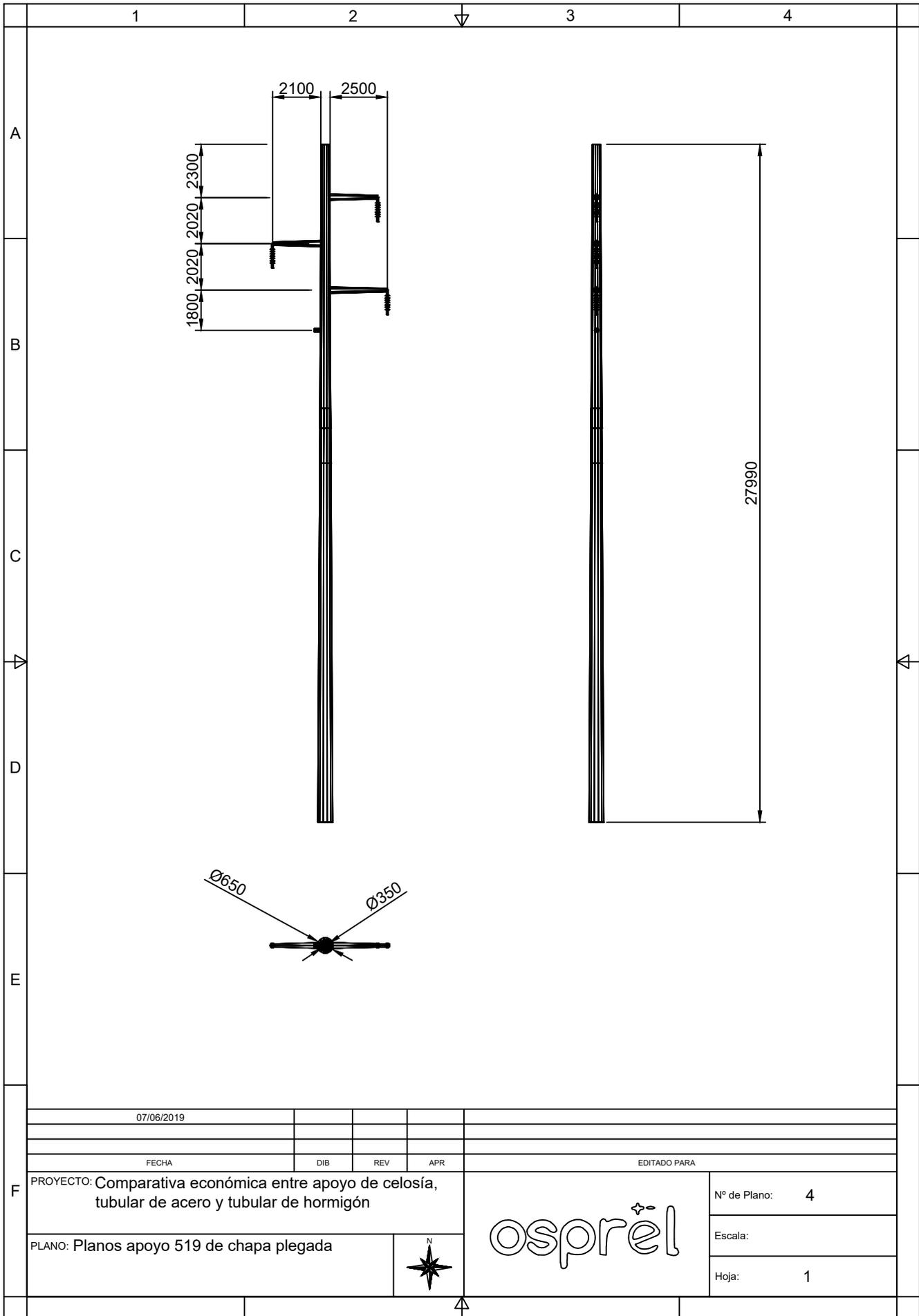


07/06/2019					
FECHA				DIB	
REV				APR	
EDITADO PARA					
PROYECTO: Comparativa económica entre apoyo de celosía, tubular de acero y tubular de hormigón				Nº de Plano: 2	
PLANO: Planos apoyo 510 de chapa plegada				Escala:	
				Hoja: 1	

osprel



07/06/2019							
FECHA				DIB	REV	APR	EDITADO PARA
PROYECTO: Comparativa económica entre apoyo de celosía, tubular de acero y tubular de hormigón							Nº de Plano: 3
PLANO: Planos apoyo 519 de hormigón							Escala:
							Hoja: 1



BIBLIOGRAFÍA

La bibliografía empleada es la siguiente:

- 1- Apuntes líneas eléctricas ICAI
- 2- www.steeltowerchn.com
- 3- <http://ourfourwheelcamper.blogspot.com/>
- 4- www.latercera.com
- 5- www.celec.gob.ec
- 6- <http://ingenieriamontaje.blogspot.com/>
- 7- www.sectorelectricidad.com
- 8- www.imedкса.es
- 9- www.expansion.com
- 10- <https://www.adslzone.net/2018/07/04/fibra-oscura/>
- 11- www.reintel.es
- 12- NI 33.26.01
- 13- NI 33.26.31
- 14- www.castrocompositesshop.com
- 15- www.ree.es
- 16- Tesis doctoral “Metodología para la realización de los estudios de impacto paisajístico en líneas eléctricas de transporte”. Autor: Santiago Delgado Mateo
- 17- Conference Paper: “Herramientas TIC para la mejora del rendimiento y la planificación de redes PLC y para Smart Grids”
- 18- Curso REE Módulo 5: Telecomunicaciones, telecontrol y otros sistemas
- 19- www.unionelectrica.com.uy
- 20- www.elperiodicomediterraneo.com
- 21- <http://ihc2015.info>

- 22- <https://enriquealario.com/>
- 23- <http://ingenieriaelectricaexplicada.blogspot.com>
- 24- www.romerohormelec.com
- 25- www.equisplast.com
- 26- ‘A new design of high voltage overhead line using composite poles’ – T.Rault y D. Martin. Documento B2-PS3-308 de Cigre
- 27- <https://electricidad-viatger.blogspot.com/>
- 28- <http://realtimeutilityengineers.com/>
- 29- <https://blog.ansi.org/>