



GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO

DISEÑO DE LA LÍNEA ELÉCTRICA DE ALTA TENSIÓN A 220 kV *SET Corrales - SET Promotores Olite*

Autor: Ane de las Fuentes Monreal

Director: María Inmaculada Blázquez García

Madrid, junio de 2022

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título
DISEÑO DE LA LÍNEA AÉREA DE ALTA TENSION A 220 kV SET Corrales - SET
Promotores Olite

en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el

curso académico 2021/2022 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.: Ane de las Fuentes Monreal

Fecha: 01/06/2021



Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO

**BLAZQUEZ
GARCIA MARIA
INMACULADA -
46885278P**

Firmado digitalmente por
BLAZQUEZ GARCIA MARIA
INMACULADA - 46885278P
Fecha: 2022.06.01 21:39:25
+02'00'

Fdo.: M^a Inmaculada Blázquez García

Fecha: 01/06/2021



GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO

DISEÑO DE LA LÍNEA ELÉCTRICA DE ALTA TENSIÓN A 220 kV *SET Corrales - SET Promotores Olite*

Autor: Ane de las Fuentes Monreal

Director: María Inmaculada Blázquez García

Madrid, junio de 2022

Agradecimientos

Quiero dedicar este Trabajo de Fin de Grado, en primer lugar, a todo el equipo de Osprel. Han sido muchas las personas que han participado en este proyecto, tanto directa como indirectamente. Gracias a todos por dedicar tanto tiempo a mi enseñanza, tanto tiempo a guiarme y, sobre todo, tanto tiempo a contestar a todas mis preguntas (que han sido muchas).

En segundo lugar, a toda mi familia, mis amigos, y mis compañeros que me han acompañado durante estos cuatro duros años de carrera. Gracias a mis padres por su infinita paciencia, no hubiese podido llegar al final sin vosotros. En especial, gracias a Álvaro, por haber estado conmigo desde el principio hasta el final y haber tirado de mí cuando ni yo misma podía.

También, agradecer a profesores de esta escuela que han marcado, sin duda, mi carrera profesional. Gracias a José María Urretavizcaya, por enseñarme Electrotecnia en segundo de carrera y darme cuenta de la especialidad que quería escoger; también gracias por contestarme a mis innumerables correos durante sus años de enseñanza. Gracias a Francisco Miguel Echavarren Cerezo por enseñarme tanto sobre líneas, espero que este proyecto haga justicia a sus apuntes. Pero gracias, particularmente, a Félix por ayudarme a superar primero de carrera (y segundo, y tercero, y cuarto).

DISEÑO DE LA LÍNEA DE ALTA TENSIÓN A 220 KV SET CORRALES - SET PROMOTORES OLITE

Autor: de las Fuentes Monreal, Ane.

Director: Blázquez García, María Inmaculada.

Entidad Colaboradora: OSPREL S.L.

RESUMEN DEL PROYECTO

El objeto de este Proyecto de Fin de Grado es el diseño de la línea eléctrica de alta tensión (220 kV) para el transporte de energía entre las subestaciones SET Corrales y SET Promotores Olite, ambas situadas en la Comunidad Foral de Navarra.

Palabras clave: SET, conductor, apoyo, PLS – CADD.

1. Introducción

Para el transporte de la energía eléctrica generada por los parques eólicos Corrales y Olite es necesario el diseño de una línea eléctrica de transporte que conecte las subestaciones SET Corrales y SET Promotores Olite.

La empresa Green Capital Power ha contratado a la entidad OSPREL S.L. para el diseño de esta línea eléctrica, que recibe el nombre de L/220 kV SET Corrales – SET Promotores Olite.

2. Definición del Proyecto

El Proyecto nace de la necesidad de construcción de la línea ya mencionada. Para poder diseñar correctamente esta infraestructura ha sido necesario estudiar el anteproyecto que se realizó sobre la misma línea. De esta forma, se tendrán en cuenta las alegaciones que surgieron de dicho anteproyecto para poder implementar las modificaciones necesarias.

Se necesita transportar 144,25 MWn que han sido generados por los parques eólicos Corrales y Olite. Para ello, se utilizará una línea eléctrica de 220 kV, que es la tensión a la que se encuentran las subestaciones SET Corrales 30/220 kV y SET Promotores Olite 132/220 kV. La línea eléctrica constará de un único circuito con un conductor por fase (configuración simplex).

A partir de estos datos de entrada, se definirán todos los elementos necesarios para crear una línea funcional, optimizando el beneficio económico de la misma. Entre estos elementos se incluye: traza, conductor, apoyos, cálculos y presupuesto entre otros. En concreto, el esquema del trabajo es el siguiente:

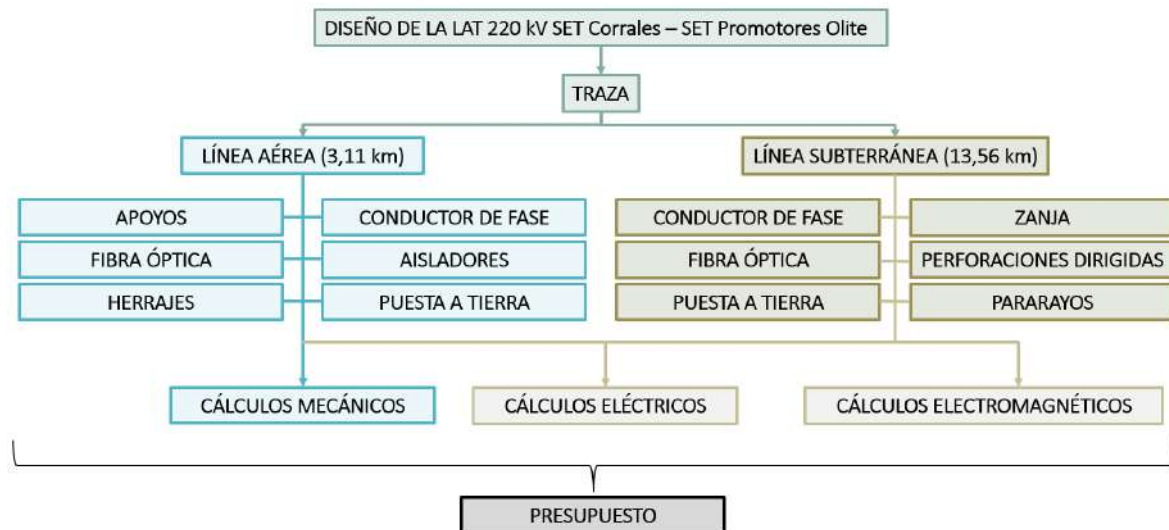


Ilustración 1 - Esquema de trabajo del proyecto

3. Diseño de la línea

Para poder definir completamente la línea, lo primero es determinar la traza. Dadas las condiciones medioambientales de la zona, se optará por llevar a cabo una línea aero-subterránea de 16,67 km:

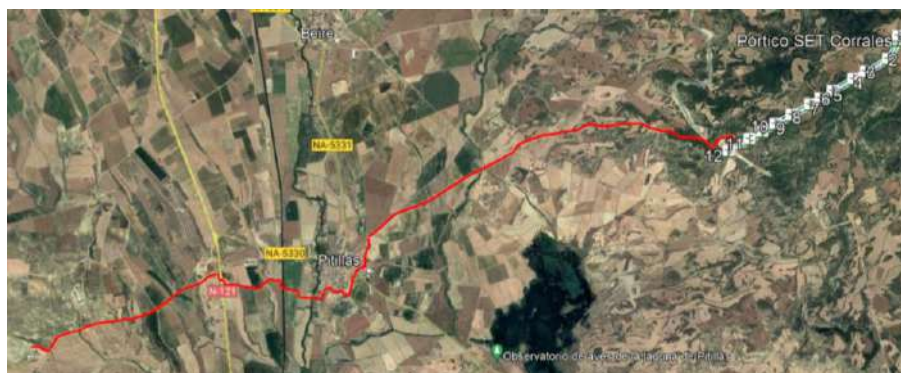


Ilustración 2 - Trazo de la línea eléctrica SET Corrales - SET Promotores Olite

3.1. Línea aérea

Definida la traza, será necesario determinar los apoyos. El diseño de estos se llevará a cabo asegurando que se respetan en todo momento las distancias eléctricas que define la instrucción técnica complementaria ITC – 07 LAT *Líneas aéreas con conductores desnudos*.

Para la selección de estos apoyos se utilizará el catálogo de apoyos de IMEDEXSA. En concreto, el apoyo más utilizado será un apoyo tipo CO – S1773. Su armado se muestra en Ilustración 3:

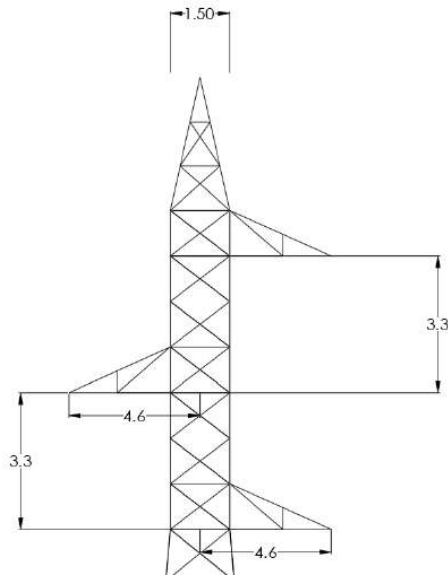


Ilustración 3 - Apoyo CO-S1773 (Fuente: Catálogo de Imedexsa)

En la práctica, el apoyo y la traza se eligen de forma simultánea mediante el software específico para líneas aéreas PLS-CADD. El software permite la colocación de apoyos y tendido del cable. Además, muestra un reporte indicando distancias y las cargas que soportan los apoyos en los casos más desfavorables. Si se incumplieran las distancias eléctricas o las cargas mínimas normalizadas, se pueden mover o cambiar los apoyos. Se vuelve a simular con la nueva configuración y se realizan las mismas comprobaciones.

Por otro lado, es necesario definir un conductor de fase. Para ello, se ha utilizado el catálogo de *Iberdrola*. Se ha elegido dicho cable mediante dos criterios de selección: pérdidas por efecto corona e intensidad máxima admisible. Se estudian las pérdidas por efecto corona en distintos conductores cuya intensidad es suficiente para transportar 144,25 MWn:

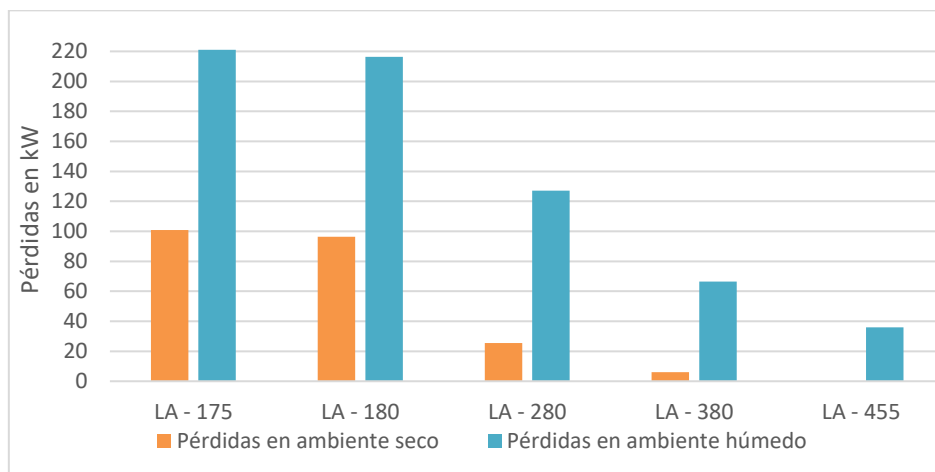


Ilustración 4 - Pérdidas por efecto corona

Como el conductor LA – 455 no tiene pérdidas por efecto corona en seco, este será el conductor elegido. Su configuración se muestra en la Ilustración 5:

Designación	Designación antigua	Secciones			Número de alambres		Código
		AL1	ST1A	Total	AL1	ST1A	
		mm ²	mm ²	mm ²	n°	n°	
402-AL1/52-ST1A	LA 455 CONDOR	402,3	52,2	454,5	54	7	5463035

Ilustración 5 - Configuración de un conductor LA – 455 (Fuente: Catálogo Cables Aéreos de Iberdrola)

Elegidos el conductor y el apoyo, se determinan el resto de los componentes, entre los que se incluyen aisladores, herrajes, fibra óptica y puesta a tierra entre otros.

3.2. Línea subterránea:

Para la elección del conductor subterráneo se ha utilizado el catálogo de cables subterráneos del fabricante *Taihan*. De acuerdo con dicho fabricante, hay ciertos factores correctores a tener en cuenta a la hora de seleccionar el conductor. Estos factores se pueden observar en la Tabla 1.

FACTORES REDUCTORES	
Temperatura del suelo	1
Resistividad térmica del suelo	0,85
Profundidad de tendido	0,94
Agrupación de circuitos	1
TOTAL	0,80

Tabla 1 - Factores reductores para cable subterráneo

Se debe de cumplir que el producto de la intensidad máxima admisible por el coeficiente total sea superior a la intensidad máxima en régimen permanente. Siendo la intensidad máxima en régimen permanente:

$$I_{máxRP} = \frac{144,25 \text{ MW}}{\sqrt{3} \cdot 220 \text{ kV}} \approx 379 \text{ A}$$

Se elige el conductor que cumpla estas condiciones y optimice el beneficio económico. En este caso:

Nivel de Tensión (kV)	ID	Sección (mm)	Material	Corriente nominal (A)	Capacidad real (A)	Resistencia (20°C) (Ω/km)	Material Aislante	Espesor del aislamiento (mm)	Espesor capa semiconductora interna	Espesor capa semiconductora externa	Espesor de la vaina externa	Espesor de vaina de plomo	Diámetro final (Aprox) (mm)
220	220,1	400	AL	528	431	0,078	XLPE	23	1,3	1,5	5	3,2	102,6

Tabla 2 - Características del conductor Al – 400 (Fuente: Catálogo Taihan)

Elegido el conductor, se define la zanja, el cable de fibra óptica, sistema de puesta a tierra y demás parámetros reglamentarios.

4. Resultados

4.1. Cálculos eléctricos

Mediante el estudio de los parámetros y modelos de líneas, es sencillo determinar la caída de tensión y las pérdidas de potencia para la línea completa:

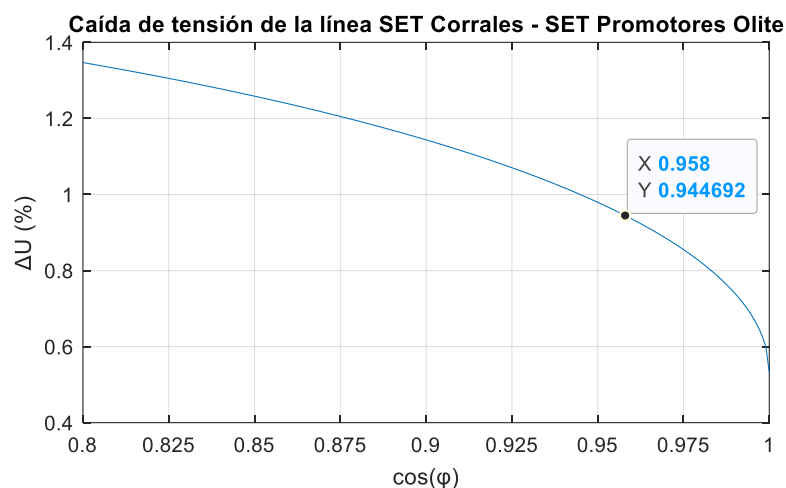


Ilustración 6 - Caída de tensión

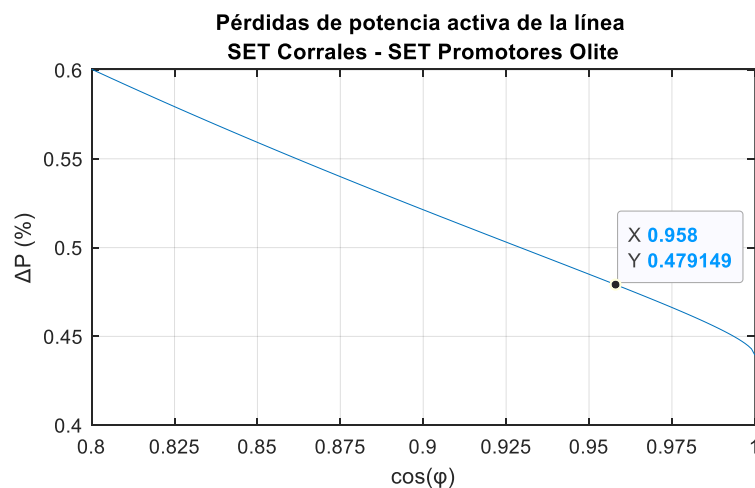


Ilustración 7 - Pérdidas de potencia

Donde se ha marcado el punto en el que el factor de potencia es 0,958 ya que el **Reglamento UE 2016/631** indica que este es el punto más desfavorable de funcionamiento. Dado que la subestación de llegada (SET Promotores Olite) es propiedad de REE, la caída de tensión total no debe de ser superior a un 5%. En este caso, la caída de tensión es de 0,48 % de la tensión nominal de la red.

4.2. Cálculos mecánicos

Se estudian las distintas hipótesis indicadas en la Instrucción Técnica Complementaria ITC LAT – 07 y se comprueban las distancias necesarias. Por ejemplo, la ITC indica que la distancia mínima entre el conductor y el suelo para una línea de tensión de 220 kV es de 7 m. Se obtiene del reporte de PLS el perfil de la línea con el terreno elevado a 7 m, como comprobación que el conductor nunca llega a tocar esta línea ficticia:

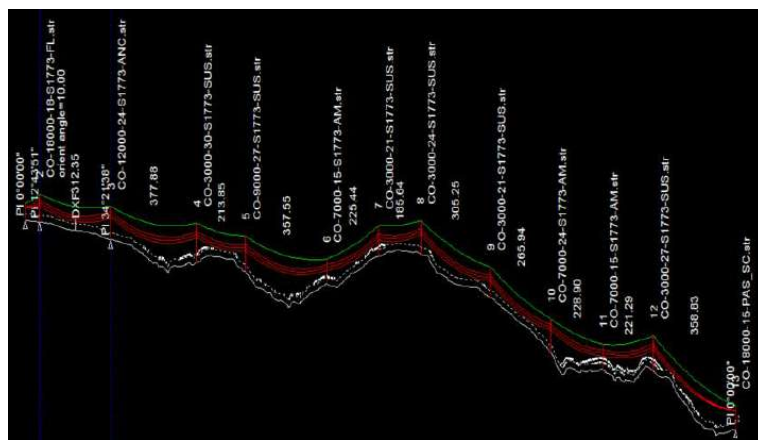


Ilustración 8 - Estudio de distancias con el terreno en PLS - CADD

4.3. Cálculos electromagnéticos

Conocida la intensidad que circula por el cable, se calcula mediante la Ley de Biot – Savart el campo magnético en un punto P a una distancia X. Se muestra la distribución del campo magnético para la línea eléctrica SET Corrales – SET Promotores Olite dependiente de la distancia horizontal al eje de la línea:

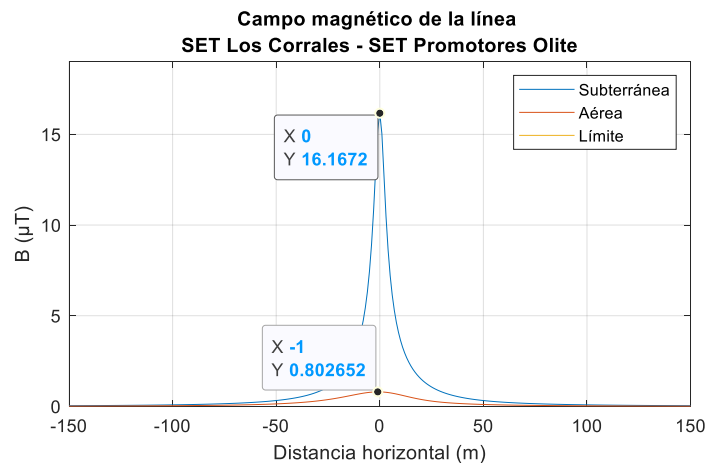


Ilustración 9 - Campo magnético en función de la distancia horizontal

Nótese que estos valores son muy inferiores al límite establecido por el R.D. 1066/2001 (100 μ T). Tanto es así que ni se aprecia en la figura, dado que los valores máximos de campo magnético son 16 μ T para el tramo subterráneo y 0,80 μ T para el tramo aéreo.

5. Conclusiones

Se concluye que el diseño de la línea eléctrica SET Corrales – SET Promotores Olite cumple con la normativa vigente y con los requerimientos de seguridad establecidos por la Instrucción Técnica Complementaria 07. En concreto, el presupuesto estimado para este proyecto es de 11.859.228,73 €.

6. Referencias

- [1] Ilustración 2: Recorte del modelo KMZ de la traza de la línea SET Corrales – SET Promotores Olite.
- [2] Ilustración 3. Imedexsa. *Catálogo general de 2012*. https://www.imedexsa.es/wp-content/uploads/2019/07/CATALOGO-GENERAL_2012.pdf.
- [3] Ilustración 5. Iberdrola. *Catálogo de cables aéreos de 2019*.
https://industria.gob.es/Calidad-Industrial/seguridadindustrial/instalacionesindustriales/lineas-alta-tension/Documents/proyectos-vigentes-anulados/iberdrola/NI%2054.63.01_E09_may19-.pdf
- [4] Tabla 1. Taihan. *Catálogo cable aislado de Alta tensión*.
<https://www.taihan.com/es/product/downloader.asp?prodCatalogId=59&prodCatalogFileTy=F>
- [5] Tabla 1. Taihan. *Catálogo cable aislado de Alta tensión*.
<https://www.taihan.com/es/product/downloader.asp?prodCatalogId=59&prodCatalogFileTy=F>

DESIGN OF THE *LAT 220 KV SET CORRALES – SET PROMOTORES OLITE* POWER LINE

Author: de las Fuentes Monreal, Ane

Supervisor: Blázquez García, María Inmaculada.

Collaborating Entity: OSPREL S.L.

ABSTRACT

The purpose of this project is to design a transmission line that transports the energy between Corrales and Olite electrical substations, which are both located in Navarra.

Keywords: Overhead line, underground line, PLS – CADD.

1. Introduction

In order to transport the electrical energy generated by Corrales and Olite wind farms, it is necessary to design a power line that connects the Corrales and Olite electrical substations.

Green Capital Power has hired OSPREL S.L to conduct said design. The transmission power line will be called L/220 kV SET Corrales – SET Promotores Olite.

2. Project's scheme

This project arises from the need of the construction of the said power line. To design this infrastructure correctly, a study of the previous draft has been necessary and all previous claims have been addressed.

The line needs to transport 144,25 MWn, which have been generated by Corrales and Olite wind farms. To do so, the power line will have a voltage of 220 kV, as that is the voltage of the electrical substations SET Corrales 30/220 kV y SET Promotores Olite 132/220 kV. The power line will have only one distribution circuit which will consist of one lead wire (simplex configuration).

With the acquired data, all of the parameters and elements necessary to design a functional power line will be chosen, while optimizing the economic benefits. These elements include layout, lead wire, support towers, calculations, and budget, amongst others. The work scheme for this Project is represented in figure 10 (Ilustración 10):

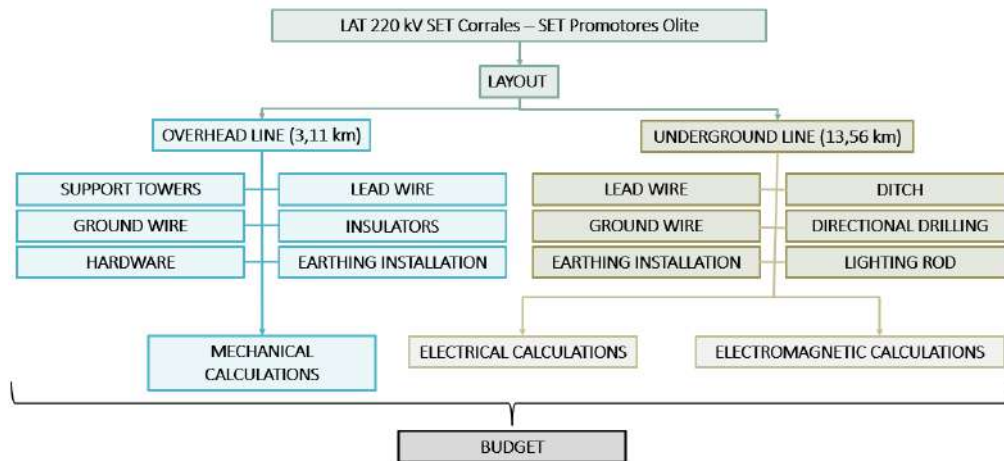


Ilustración 10 - Work scheme

3. Power line design

Firstly, the layout must be determined. The environmental conditions of the area require a mix of an overhead and an underground line adding up to a total of 16.67km:

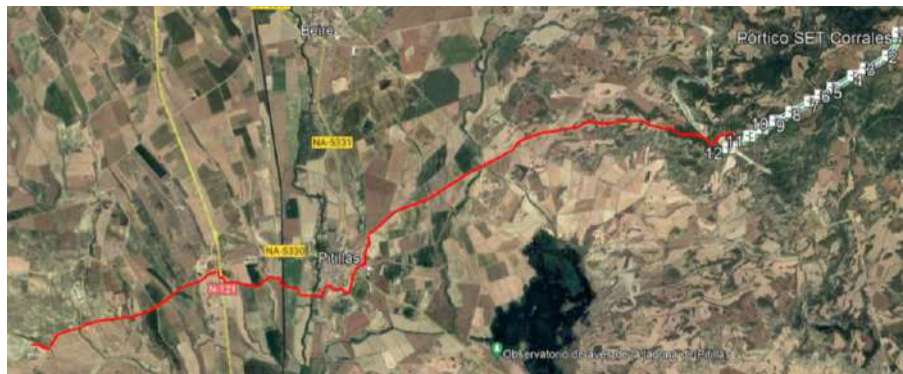


Ilustración 11 - Layout

3.1. Overhead line

Once the layout has been chosen, the next step is to determine the tower supports. To do this, it is necessary to ensure that the required minimal electrical distances defined in the legislation ITC – 07 LAT *Líneas aéreas con conductores desnudos* are followed.

The IMEDEXSA catalog has been used to select the power supports, specifically, the most used tower support is a CO – S1773, the figure 12 (Ilustración 12):

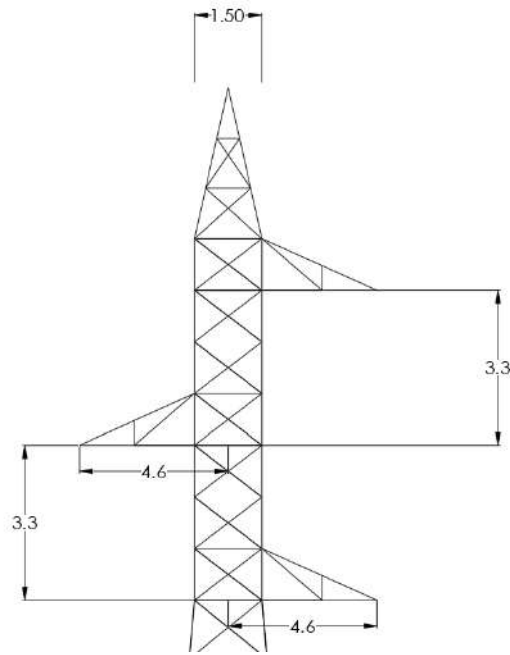


Ilustración 12 -CO-S1773 tower support (Source: Imedexsa Catalog)

In practice, both the layout and the support tower are chosen at the same time via the PLS – CADD software, which allows to place the supports and the wire laying. A report with the electrical distances and mechanical calculations is then generated. If the chosen towers are unable to support the total required weight or if the distances fail to comply with the regulations, the towers can be moved or new towers can be chosen to adjust the model. The simulation can be re-run with the new parameters to check the viability of the selected factors.

It is also necessary to define the lead wire; the *Iberdrola* catalog has been used. Two criteria have been considered: the loss due to corona effect of dry zones, and the maximum intensity allowable. Losses due to corona effect have been studied for every wire that could transport 144,25 MWn:

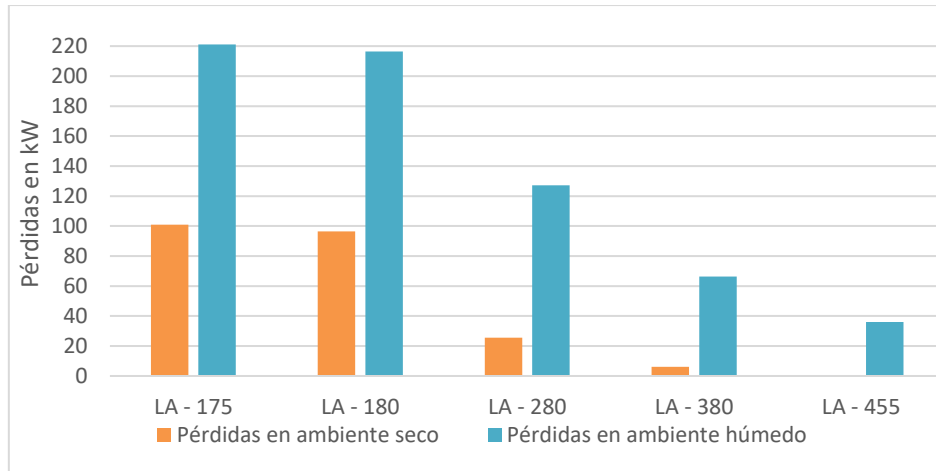


Ilustración 13 – Losses due to corona

The LA – 455 lead wire does not have losses due to corona effect in dry atmosphere, therefore, this was the chosen wire. Its setup is as follows:

Designación	Designación antigua	Secciones			Número de alambres		Código
		AL1	ST1A	Total	AL1	ST1A	
		mm ²	mm ²	mm ²	nº	nº	
402-AL1/52-ST1A	LA 455 CONDOR	402,3	52,2	454,5	54	7	5463035

Ilustración 14 - Configuración de un conductor LA – 455 (Fuente: Catálogo Cables Aéreos de Iberdrola)

Once the tower support and the lead wire have been chosen, the rest of the components can be determined, which include insulators, hardware, ground wire amongst others.

3.2. Underground line:

To select the underground lead wire, Taihan’s wire catalog has been utilized. According to said catalog, there are many correction factors to be considered; summarized below:

<i>CORRECTION FACTORS</i>	
Soil temperature	1
Thermal resistivity	0,85
Wire depth	0,94

CORRECTION FACTORS	
Number of circuits	1
TOTAL	0,80

Tabla 3 - Factores reductores para cable subterráneo

The multiplication of the maximum intensity allowable by the total correction factor must be greater than the maximum intensity in steady state, which can be calculated with the following formula:

$$I_{máxRP} = \frac{144,25 \text{ MW}}{\sqrt{3} \cdot 220 \text{ kV}} \approx 379 \text{ A}$$

The lead wire that fulfils this condition and optimizes the benefit will be picked. In this case:

Nivel de Tensión (kV)	ID	Sección (mm)	Material	Corriente nominal (A)	Capacidad real (A)	Resistencia (20°C) (Ω/km)	Material Aislante	Espesor del aislamiento (mm)	Espesor capa semiconductora interna	Espesor capa semiconductora externa	Espesor de la vaina externa	Espesor de vaina de plomo	Diámetro final (Aprox) (mm)
220	220,1	400	AL	528	431	0,078	XLPE	23	1,3	1,5	5	3,2	102,6

Tabla 4 - Características del conductor Al – 400 (Fuente: Catálogo Taihan)

Once the lead wire is chosen, the dich, ground wire, earthing installations and other regulatory parameters must be established.

4. Results

4.1. Electrical calculations

The voltage drops and the power loss calculations are developed by studying the parameters and models of the line.

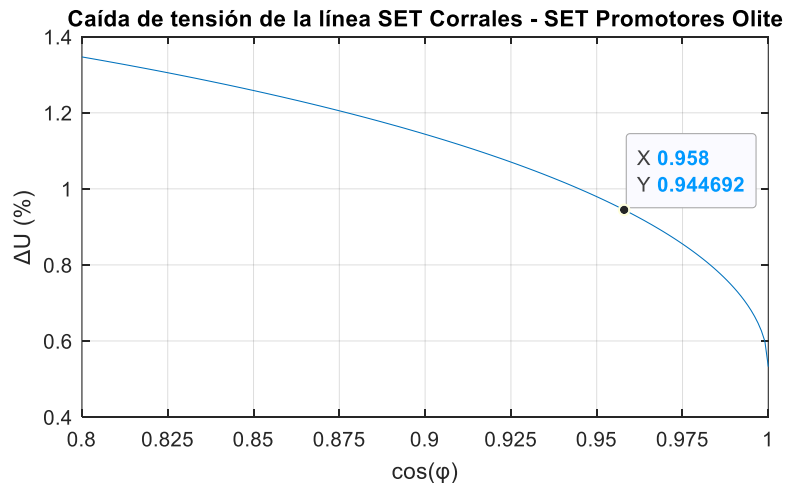


Ilustración 15 – Voltage drop

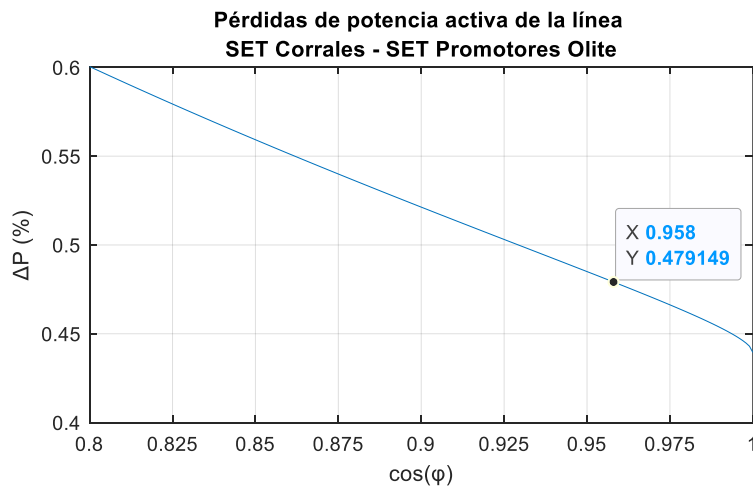


Ilustración 16 – Power Loss

In the pictures, the coordinates corresponding to a power factor of 0,958 have been marked; the **Reglamento UE 2016/631** states it as the worst-case scenario. As the substation SET Promotores Olite belongs to REE, the voltage drop must not exceed 5%. In this case, the voltage drop is only 0,48%.

4.2. Mechanical calculations

The different hypotheses stated in the Instrucción Técnica Complementaria ITC LAT – 07 and the minimal electrical distances have been studied. For instance, the ITC states that the minimum distance between the lead wire and the soil for a 220 kV overhead line is 7 m. A PLS report is obtained where the flat profile of the overhead line with the soil elevated 7 m is shown. This validates the hypothesis that the lead wire is always at a greater distance to the soil.

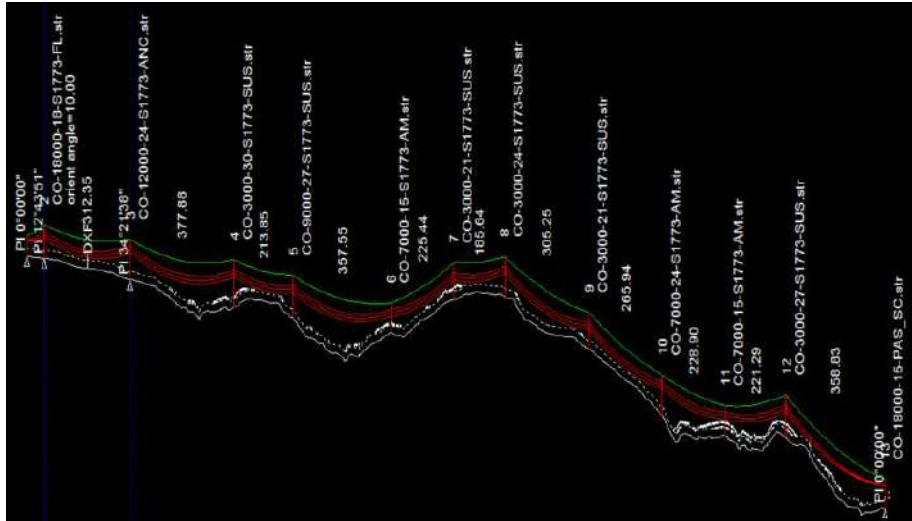


Ilustración 17 - Estudio de distancias con el terreno en PLS – CADD

4.3. Electromagnetic calculations

Once the intensity that travels through the wire is calculated, it is possible to obtain the magnetic field in a point P situated at a horizontal distance X. In the following picture the distribution of said magnetic field of the line SET Corrales – SET Promotores Olite is shown:

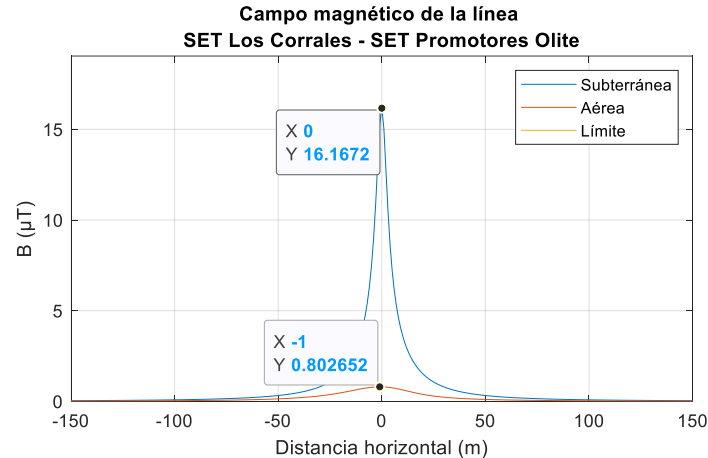


Ilustración 18 - Campo magnético en función de la distancia horizontal

It must be noted that these maximum values of the magnetic field are much lower than the established limit by R.D. 1066/2001 (100 μT). Being the maximum values of the field 16 μT for the underground line and 0,80 μT for the overhead line.

7. Conclusions

It is concluded that the SET Corrales – SET Promotores Olite design complies with current regulations and established safety requirements established by the Instrucción Técnica Complementaria 07. Additionally, the total budget for this project amounts to 11.859.228,73 €.

8. References

- [1] Ilustración 2: Recorte del modelo KMZ de la traza de la línea SET Corrales – SET Promotores Olite.
- [2] Ilustración 3. Imedexsa. *Catálogo general de 2012*. https://www.imedexsa.es/wp-content/uploads/2019/07/CATALOGO-GENERAL_2012.pdf.
- [3] Ilustración 5. Iberdrola. *Catálogo de cables aéreos de 2019*.
https://industria.gob.es/Calidad-Industrial/seguridadindustrial/instalacionesindustriales/lineas-alta-tension/Documents/proyectos-vigentes-anulados/iberdrola/NI%2054.63.01_E09_may19-.pdf
- [4] Tabla 1. Taihan. *Catálogo cable aislado de Alta tensión*.
<https://www.taihan.com/es/product/downloader.asp?prodCatalogId=59&prodCatalogFileTy=F>
- [5] Tabla 1. Taihan. *Catálogo cable aislado de Alta tensión*.
<https://www.taihan.com/es/product/downloader.asp?prodCatalogId=59&prodCatalogFileTy=F>

Índice de la memoria

Capítulo 1. Introducción	13
1.1 Motivación	13
1.2 El proyecto	14
1.3 Objetivos del proyecto.....	14
1.3.1 Objetivos técnicos.....	14
1.3.2 Objetivos de desarrollo sostenible	15
Capítulo 2. Herramientas.....	17
2.1 PLS - CADD	17
2.2 Matlab 2021b.....	18
2.3 AutoCAD	18
2.4 Microsoft Office	18
Capítulo 3. Estado de la cuestión.....	19
3.1 Anteproyecto	20
Capítulo 4. Emplazamiento.....	25
4.1 Análisis del entorno.....	25
4.2 Traza final	27
4.2.1 Distancias externas	33
4.2.2 Cruzamientos.....	33
4.2.3 Paralelismos.....	36
4.2.4 Relación de Ministerios, Consejerías, Organismos y Empresas de Servicios Afectados.....	36
Capítulo 5. Diseño de la línea	37
5.1 Dimensionamiento de la línea aérea.....	37
5.1.1 Diseño de los apoyos.....	37
5.1.2 Diseño del conductor de fase.....	49
5.1.3 Cable de fibra óptica.....	60
5.1.4 Aisladores.....	60
5.1.5 Herrajes.....	64
5.1.6 Puesta a tierra	72
5.1.7 Salvapájaros.....	79

5.2	Dimensionamiento de la línea subterránea.....	81
5.2.1	Diseño del conductor de fase.....	81
5.2.2	Cable de fibra óptica.....	87
5.2.3	Diseño de la zanja.....	87
5.2.4	Perforaciones dirigidas o hincas.....	88
5.2.5	Puesta a tierra.....	91
5.2.6	Pararrayos.....	91
5.3	Características generales de la línea.....	96
Capítulo 6.	Cálculos.....	97
6.1	Cálculos eléctricos.....	97
6.1.1	Línea aérea.....	97
6.1.2	Reducción al monofásico equivalente.....	104
6.1.3	Caída de tensión.....	107
6.1.4	Pérdidas de potencia.....	108
6.1.5	Modelos de secuencia.....	109
6.1.6	Línea subterránea.....	111
6.1.7	Caída de tensión.....	112
6.1.8	Pérdidas de potencia.....	113
6.2	Cálculos electromagnéticos.....	115
6.2.1	Limitación de los Campos Magnéticos.....	115
6.3	Cálculos mecánicos.....	120
6.3.1	En conductores.....	120
6.3.2	En apoyos.....	157
6.3.3	Simulación en PLS – CADD: Distancias.....	175
Capítulo 7.	Presupuesto.....	188
7.1	Tramo Aéreo.....	188
7.1.1	Suministro.....	188
7.1.2	Obra Civil.....	189
7.1.3	Montaje.....	189
7.1.4	Varios.....	190
7.2	Tramo Subterráneo.....	190
7.2.1	Suministro.....	190

7.2.2 Obra Civil.....	191
7.2.3 Montaje.....	191
7.2.4 Varios	192
7.3 Medio Ambiente.....	192
7.3.1 Plan de Vigilancia	192
7.3.2 Restauración.....	193
7.1 Desmantelamiento	193
7.2 Gestión de Residuos	193
7.3 Seguridad y Salud Laboral	193
7.4 Presupuesto total.....	193
Capítulo 8. Bibliografía.....	195
ANEXO I: códigos	197
ANEXO II: planos	243

Índice de figuras

Ilustración 1 - Esquema de trabajo del proyecto	9
Ilustración 2 - Trazo de la línea eléctrica SET Corrales - SET Promotores Olite	9
Ilustración 3 - Apoyo CO-S1773 (Fuente: Catálogo de Imedexsa).....	10
Ilustración 4 - Pérdidas por efecto corona	10
Ilustración 5 - Configuración de un conductor LA – 455 (Fuente: Catálogo Cables Aéreos de Iberdrola)	11
Ilustración 6 - Caída de tensión	12
Ilustración 7 - Pérdidas de potencia.....	12
Ilustración 8 - Estudio de distancias con el terreno en PLS - CADD.....	13
Ilustración 9 - Campo magnético en función de la distancia horizontal	13
Ilustración 10 - Work scheme.....	16
Ilustración 11 - Layout	16
Ilustración 12 -CO-S1773 tower support (Source: Imedexsa Catalog).....	17
Ilustración 13 – Losses due to corona	18
Ilustración 14 - Configuración de un conductor LA – 455 (Fuente: Catálogo Cables Aéreos de Iberdrola)	18
Ilustración 15 – Voltage drop	20
Ilustración 16 – Power Loss	20
Ilustración 17 - Estudio de distancias con el terreno en PLS – CADD.....	21
Ilustración 18 - Campo magnético en función de la distancia horizontal	21
Ilustración 19 - Cobertura de la demanda por energía eólica (Fuente: AEE).....	13
Ilustración 20 - Objetivos de desarrollo sostenible (Fuente: ONU)	16
Ilustración 21 - Unifilar del nudo	19
Ilustración 22 - Trazo del anteproyecto	21
Ilustración 23 - Apoyo que necesita reubicación.....	22
Ilustración 24 - Apoyo que necesita reubicación.....	23
Ilustración 25 – Llegada a la subestación que necesita cambios.....	23
Ilustración 26 - emplazamiento de las subestaciones Corrales y Olite.....	25

Ilustración 27 - Zum a la traza.....	25
Ilustración 28 - Distancia desde la Laguna de Pitillas a la traza recta en planta.....	26
Ilustración 29 - Traza definitiva de la línea de 220 kV Los Corrales - Olite	32
Ilustración 30 - armado de una torre tipo Cóndor	37
Ilustración 31 - representación del ángulo swing	40
Ilustración 32 - Valor del swing en función de “a”	41
Ilustración 33 - Distancias entre conductores.....	42
Ilustración 34 - Distancias entre conductores en función de los valores de a y b	43
Ilustración 35 - Identificación de h.....	44
Ilustración 36 - Armado.....	45
Ilustración 37 - Explicación del nombre del apoyo.....	46
Ilustración 38 - Perfil de una cimentación cuadrada con cueva y circular con cueva.....	47
Ilustración 39 - Perfil de una cimentación cuadrada recta	47
Ilustración 40 - Catálogo de Cables Aéreos de Iberdrola (Fuente: Iberdrola).....	50
Ilustración 41 - Campo eléctrico en un conductor.....	51
Ilustración 42 - Distancias entre conductores.....	54
Ilustración 43 - Pérdidas por efecto corona en cada conductor	57
Ilustración 44: densidad de corriente (Fuente: ITC - 07)	58
Ilustración 45 - Configuración del cable LA 455 (Fuente: Cables aéreos de Iberdrola).....	58
Ilustración 46 - Cadena de suspensión	66
Ilustración 47 - Cadena de amarre	67
Ilustración 48 - Cadena de suspensión (F.O.).....	69
Ilustración 49 - Cadena de amarre bajante (F.O.).....	70
Ilustración 50 - Cadena de amarre pasante (F.O.)	71
Ilustración 51 - Sistema de elección de puesta a tierra.....	72
Ilustración 52 - Pica de puesta a tierra.....	73
Ilustración 53 - RLAT, R.D. 223/2008 de 15 de febrero	75
Ilustración 54 - Falta monofásica en 012	76
Ilustración 55 – Intensidades de falta (Fuente: RLAT, R.D. 223/2008 de 15 de febrero) ..	77
Ilustración 56 - Salvapájaros tipo BAGTR.....	80

Ilustración 57 - Configuración del conductor subterráneo	81
Ilustración 58 - Imagen ilustrativa de la distancia d (Fuente: ITC – 06).....	85
Ilustración 59 - Traza subterránea	87
Ilustración 60 - Zanja seleccionada (Fuente: zanjas normalizadas de REE).....	88
Ilustración 61 - Cross-bonding	91
Ilustración 62 – Pararrayos (1)	95
Ilustración 63 - Pararrayos (2).....	95
Ilustración 64 – Elemento diferencial de línea (fuente: “Parámetros y modelos de líneas”, F. M. Echavarren Cerezo, A. D. Díaz Casado, Universidad Pontificia de Comillas, 2021) ...	97
Ilustración 65 - Efecto de proximidad	99
Ilustración 66 - Efecto skin.....	99
Ilustración 67 - Apoyo más utilizado	102
Ilustración 68 - Caída de tensión en el tramo aéreo	108
Ilustración 69 - Pérdidas de potencia en el tramo aéreo	109
Ilustración 70 - Velocidad de propagación respecto a la velocidad de la luz.....	112
Ilustración 71 - Caída de tensión en el tramo subterráneo	113
Ilustración 72 - Pérdidas de potencia del tramo subterráneo.....	114
Ilustración 73 - Distribución de corrientes en el tramo aéreo.....	116
Ilustración 74 - Distribución de corrientes en el tramo subterráneo.....	116
Ilustración 75 - Distribución del campo magnético.....	117
Ilustración 76 - Distribución del campo magnético en el tramo subterráneo.....	118
Ilustración 77 - Distribución del campo magnético en el tramo aéreo	118
Ilustración 78 - Sobrecargas debidas al peso y al viento	123
Ilustración 79 - Sobrecargas debidas al peso del conductor y del hielo	124
Ilustración 80 - Sobrecargas debidas al peso, hielo y viento.....	125
Ilustración 81 - Esquema de un manguito de hielo de espesor " e "	126
Ilustración 82 - Distribución de tensiones en un corte del cable	134
Ilustración 83 – Cantón	152
Ilustración 84 - gravivano.....	158
Ilustración 85 - Perfil del apoyo 5	160

Ilustración 86 - Perfil del apoyo 10	160
Ilustración 87 - Esbozo de distancias mínimas.....	177
Ilustración 88 - Simulación de PLS - CADD (1)	178
Ilustración 89 - Simulación de PLS - CADD (2)	179
Ilustración 90 - Simulación de PLS - CADD (3)	180
Ilustración 91 - Simulación de PLS - CADD (4)	181
Ilustración 92 - Simulación de PLS - CADD (5)	182
Ilustración 93 - Fuerzas sobre una cadena de aisladores	183
Ilustración 94 - Distancia a masa en función del ángulo de inclinación	184
Ilustración 95 - Planta de un apoyo tipo ángulo	185
Ilustración 96 - Distancia h.....	186

Índice de tablas

Tabla 1 - Factores reductores para cable subterráneo.....	11
Tabla 2 - Características del conductor Al – 400 (Fuente: Catálogo Taihan)	12
Tabla 3 - Factores reductores para cable subterráneo.....	19
Tabla 4 - Características del conductor Al – 400 (Fuente: Catálogo Taihan)	19
Tabla 5 - Disposición de apoyos del anteproyecto Los Corrales - Olite	21
Tabla 6 - Alegaciones al anteproyecto de Corrales - Olite.....	22
Tabla 7 - Condiciones de Partida.....	24
Tabla 8 - Apoyos del tramo aéreo	28
Tabla 9 - Vértices del tramo subterráneo.....	31
Tabla 10 - Cruzamientos de la línea aérea.....	34
Tabla 11 - Cruzamientos en la línea subterránea.....	35
Tabla 12 - Paralelismos del tramo subterráneo	36
Tabla 13 - Cotas de las torres cóndor (Fuente: Catálogo de Imedexsa)	38
Tabla 14 - D_{el} y D_{pp} en función de la tensión (Fuente: ITC – 07)	39
Tabla 15 - Valor del swing en función de “a”	41
Tabla 16 - Elección de cotas del armado.....	45
Tabla 17 - Distribución de apoyos.....	46
Tabla 18 - Cimentaciones	48
Tabla 19 - Latitud aproximada de los apoyos.....	52
Tabla 20 - Temperatura media en Navarra, días de lluvia y no lluvia	53
Tabla 21 - Tensiones críticas de cada conductor	54
Tabla 22 - Tensiones críticas de cada conductor	55
Tabla 23: Pérdidas por efecto corona	57
Tabla 24 - características de intensidad del conductor LA - 455	59
Tabla 25 - Niveles de contaminación (Fuente: ITC - 07).....	61
Tabla 26 - Características del aislador U 160 BS	62
Tabla 27 - Cadenas de suspensión.....	65
Tabla 28 - Cadena de amarre	67

Tabla 29 - Cadena de suspensión (F.O.).....	68
Tabla 30 - Cadena de amarre bajante	70
Tabla 31 - Cadena de amarre pasante	71
Tabla 32 - Tensiones de paso y contacto	75
Tabla 33 - Cálculo de parámetros.....	78
Tabla 34 - Cálculo de la resistencia del anillo (Fuente: RLAT, R.D. 223/2008 de 15 de febrero)	78
Tabla 35 - Comparación de la tensión de paso y la tensión a tierra	79
Tabla 36 - Coeficientes para resistividades térmicas distintas a 1,5 k.m/W (Fuente: ITC - 06)	82
Tabla 37 - Coeficientes reductores respecto a la resistividad del terreno (Fuente: ITC - 06)	83
Tabla 38 - Coeficientes reductores por profundidad (Fuente: Catálogo de Taihan)	84
Tabla 39 - Factores de corrección debidos a cercanías de otros ternos (Fuente: ITC – 06)	84
Tabla 40 - Factores reductores.....	85
Tabla 41 - Conductor seleccionado	86
Tabla 42 - Características del conductor Al – 400	86
Tabla 43 - Cruzamientos que requieren perforaciones dirigidas o hincas.....	89
Tabla 44 - Factor de profundidad de tendido	90
Tabla 45 - Factores reductores en P.D.....	90
Tabla 46 - Capacidad del cable en P.D.....	90
Tabla 47 - Cálculo de la tensión del descargador (Fuente: ABB).....	92
Tabla 48 - Tipo de pararrayos (Fuente: ABB).....	92
Tabla 49 - Valores de U_{pl} y U_{ps}	93
Tabla 50 - Características del pararrayos	94
Tabla 51 - Características del pararrayos (2).....	94
Tabla 52 - Dimensiones del pararrayos	95
Tabla 53 - Características del conductor LA - 455 (Fuente: Cables aéreos de Iberdrola)	100
Tabla 54 - Límites de referencia (Fuente: R.D. 1066/2001)	115
Tabla 55 - Peso de los cables.....	120

Tabla 56 - Altura sobre nivel del mar de los apoyos	122
Tabla 57 – Sobrecargas de hielo.....	122
Tabla 58 – Tracción máxima de viento	124
Tabla 59 – Tracción máxima de hielo	125
Tabla 60 – Tracción máxima de hielo + viento	127
Tabla 61 – Tracción en flecha máxima con viento.....	128
Tabla 62 – Tracción en flecha máxima con hielo.....	129
Tabla 63 – Tracción en flecha máxima a 85°	129
Tabla 64 – Tracción en flecha mínima a 85°	130
Tabla 65 - Cadenas de viento mitad	130
Tabla 66 - Cargas a viento mitad.....	131
Tabla 67 - Cargas a viento mitad.....	131
Tabla 68 - Resumen de hipótesis para el conductor CONDOR en zona B	132
Tabla 69 - Resumen de hipótesis para el conductor CONDOR en zona B	133
Tabla 70 – Tensión en el conductor (1).....	136
Tabla 71 - Tensión en el conductor (2).....	137
Tabla 72 - Tensión en el conductor (3).....	138
Tabla 73 - Tensión en el conductor (4).....	139
Tabla 74 - Tensión en el OPGW (1).....	140
Tabla 75 - Tensión en el OPGW (2).....	141
Tabla 76 - Tensión en el OPGW (3).....	142
Tabla 77 - Tensión en el OPGW (4).....	143
Tabla 78 - CS para el conductor (1)	144
Tabla 79 - CS para el conductor (2)	145
Tabla 80 - CS para el conductor (3)	146
Tabla 81 - CS para el conductor (4)	147
Tabla 82 - CS para el OPGW	148
Tabla 83 - CS para el OPWG (2).....	149
Tabla 84 - CS para el OPGW (3).....	150
Tabla 85 - CS para OPGW (4).....	151

Tabla 86 - Función de los apoyos.....	153
Tabla 87 - Cantones del proyecto Los Corrales - Olite	153
Tabla 88 - Cantones y vanos ideales de regulación.....	154
Tabla 89 - Tabla de regulación del conductor	156
Tabla 90 - Tabla de regulación del OPGW	156
Tabla 91 - Tabla 7 del apartado 3.5 de la ITC 07 (resumida).....	158
Tabla 92 – Gravivanos en hipótesis normales	159
Tabla 93 - Eolovanos.....	162
Tabla 94 - Alineaciones de la línea Corrales – Olite.....	164
Tabla 95 - Gravivanos para hipótesis anormales.....	167
Tabla 96 - Cálculos mecánicos en hipótesis de viento	170
Tabla 97 - Cálculos mecánicos en condiciones de viento + hielo	171
Tabla 98 - Cálculos mecánicos en condiciones de desequilibrio de tracciones	172
Tabla 99 - Cálculos mecánicos en condiciones de rotura del conductor.....	173
Tabla 100 - Cálculos mecánicos en condiciones de rotura del OPGW	174
Tabla 101 - Resumen de distancias de seguridad para la línea de 220 kV SET Corrales - SET Promotores Olite.....	175
Tabla 102 - valor de K en función del ángulo	176
Tabla 103 - Distancia mínima entre conductores	176
Tabla 104 - Inclinación de las cadenas y distancias a masa	184
Tabla 105 - distancias a masa en apoyos tipo ángulo.....	187
Tabla 106 - Presupuesto de los materiales del tramo aéreo.....	188
Tabla 107 - Presupuesto de la obra civil de la línea aérea.....	189
Tabla 108 - Presupuesto del montaje de la línea aérea.....	190
Tabla 109 - Presupuesto de otros términos varios de la línea aérea	190
Tabla 110 - Presupuesto de los materiales del tramo subterráneo.....	191
Tabla 111 - Presupuesto de la obra civil de la línea subterránea.....	191
Tabla 112 - Presupuesto del montaje de la línea subterránea.....	192
Tabla 113 - Presupuesto de otros elementos varios de la línea subterránea.....	192
Tabla 114 - Presupuesto del plan de vigilancia	192

Tabla 115 - Presupuesto de la restauración	193
Tabla 116 - Presupuesto del desmantelamiento	193
Tabla 117 - Presupuesto de la gestión de residuos	193
Tabla 118 - Presupuesto de seguridad y salud.....	193
Tabla 119 - Presupuesto total de la línea SET Corrales - SET Promotores Olite	194

Capítulo 1. INTRODUCCIÓN

El objeto de este proyecto es la realización del Proyecto Oficial de Ejecución de la línea de alta tensión LAT 220 kV SET Corrales – SET Promotores Olite, que evacuará la energía generada por los parques eólicos Corrales y Olite, ambos pertenecientes a la Comunidad Foral de Navarra.

1.1 MOTIVACIÓN

Actualmente, alrededor del 40% de la generación eléctrica es de origen renovable. Sin embargo, el Plan Nacional Integrado de Energía y Clima 2021-2030 del Gobierno de España estima que en 2030 este porcentaje aumente hasta un 74%. En concreto, la energía eólica se sitúa en el segundo puesto entre las fuentes de producción de energía de la península, cubriendo casi un 22% de la demanda. Hoy en día en España se genera más energía eólica que nuclear, convirtiéndose en la principal fuente de abastecimiento, llegando a cubrir hasta el 87% de la demanda en algunas comunidades autónomas, como se muestra en la Ilustración 19.

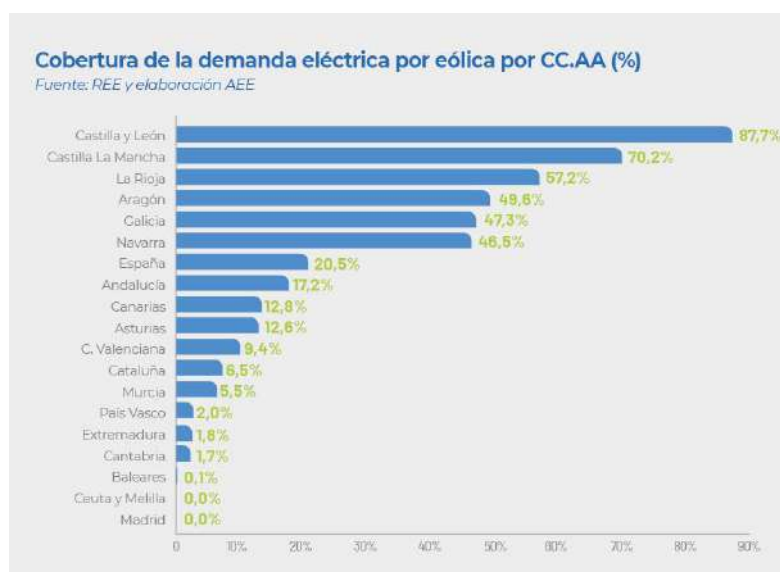


Ilustración 19 - Cobertura de la demanda por energía eólica (Fuente: AEE)

La energía eólica está en auge debido a un problema social que acarrea el país actualmente: la subida del precio de la luz.

Dado que el viento es un recurso natural, la oferta de este tipo de energía es más barata que de otras cuyas materias primas sean menos accesibles. Se estima que durante el año 2021 la utilización de la energía eólica en lugar de otras que necesiten combustibles fósiles ha supuesto un ahorro al sistema de más de 26.000 millones de euros. Por ello, se está impulsando el uso de estas tecnologías no solo para reducir las emisiones de CO₂ a la atmósfera, sino también para poder abastecer a la sociedad de una energía accesible.

1.2 EL PROYECTO

Las líneas eléctricas de alta tensión desempeñan un papel fundamental en el sistema eléctrico español. En concreto, la construcción de estas infraestructuras es esencial para poder evacuar las nuevas plantas de energía renovable que se están instalando en el país para poder cumplir el Plan Nacional Integrado de Energía y Clima 2021-2030 del Gobierno de España.

De esta forma, la empresa Green Capital Power pretende evacuar la energía prevista por los parques eólicos mencionados anteriormente. Esta evacuación se llevará a cabo mediante una línea aero-subterránea de alta tensión de 220 kV que recorre desde la subestación eléctrica transformadora Los Corrales 30/220 kV hasta la subestación eléctrica transformadora Promotores Olite 132/220 kV.

1.3 OBJETIVOS DEL PROYECTO

1.3.1 OBJETIVOS TÉCNICOS

La empresa Green Capital Power propone desarrollar proyectos de aprovechamiento de energía renovable en España mediante sus empresas partícipes. Para este proyecto, se colaborará con las entidades PARQUE EOLICO BIOTA, S.L.U y GREEN CAPITAL POWER S.L: Parque Eólico Los Corrales (58,7 MWn y 58,6 MWn de potencia prevista nominal, respectivamente).

La empresa Green Capital Power, del grupo Capital Energy ha contratado a la entidad Osprel S.L. para la realización del Proyecto Oficial de Ejecución de la línea **LAT 220 kV SET Corrales – SET Promotores Olite**, que es objeto de este Proyecto de Fin de Grado.

Para ello, se ha de realizar un estudio de cambios respecto al anteproyecto correspondiente a la misma línea. Posteriormente, se diseñarán todos los componentes necesarios para llevar a cabo dicha línea, entre los que se incluyen apoyos, conductores, cables de fibra óptica, aisladores y otros. Adicionalmente, se deberán realizar los cálculos eléctricos y mecánicos pertinentes para asegurar un diseño aprobado por la normativa.

Se añadirá la documentación correspondiente que está indicada en la norma UNE 157001 y representada en la instrucción técnica complementaria ITC LAT 09 ANTEPROYECTOS Y PROYECTOS, a falta de los documentos Estudio de Seguridad y Salud, Gestión de Residuos, Proyecto de Desmantelamiento y Relación de Bienes y Derechos Afectados, que, aunque serán incluidos en el Proyecto Técnico Administrativo, no se reflejarán en este Proyecto de Fin de Grado por carecer de interés académico.

1.3.2 OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE

Los objetivos de desarrollo sostenible se definen como “conjunto de objetivos globales para erradicar la pobreza, proteger el planeta y asegurar la prosperidad para todos como parte de una nueva agenda de desarrollo sostenible”, ([Objetivos de Desarrollo Sostenible, ONU \[2021\]](#)).

Mediante este proyecto, se llevarán a cabo los objetivos número 7: “**Energía asequible y no contaminante**”, número 11: “**Ciudades y comunidades sostenibles**” y número 13: “**Acción por el clima**”, que se representan en la Ilustración 20.

Esto se debe a que la energía que se evacuará por la línea procede de los parques eólicos Biota y Los Corrales. La **energía eólica** es una forma de energía barata y limpia. Mediante este proyecto, no solo conseguimos promover la producción de energía eólica frente a otros

tipos de energía más contaminantes, sino que también somos capaces de transportarla, consiguiendo unas ciudades provistas de energía barata y de calidad.



Ilustración 20 - Objetivos de desarrollo sostenible (Fuente: ONU)

Capítulo 2. HERRAMIENTAS

El diseño de una línea eléctrica requiere tanto de *softwares* de diseño específicos para esta tarea como de otros varios *softwares* de apoyo para realizar cálculos, diseños y comprobaciones.

El objetivo de este apartado es describir las herramientas especificadas que se han utilizado para llevar a cabo el proyecto.

2.1 PLS - CADD

El software PLS – CADD, es uno de los softwares de diseño de líneas más utilizado en la industria de la ingeniería.

PLS – CADD permite realizar la distribución de apoyos, dar información acerca de los conductores, y realizar cálculos mecánicos en condiciones normales y extremas de clima. Es decir, realiza una simulación de la línea.

Para ello, carga información del terreno donde se va a instalar la línea. Permite la distribución de apoyos manual por parte del ingeniero que realice el diseño de la línea. A partir de ahí, tiende el conductor, y muestra, por lo tanto, un resumen con las distancias con el terreno, entre conductor y torre, cruzamientos, y demás distancias normalizadas. Además, permite una visualización de la planta y el perfil de la línea.

En caso de necesitar el estudio de cálculos mecánicos, también ofrece un reporte en cualquier condición de estudio que se desea. En este reporte aparecen una vez más, las distancias necesarias de estudio, la tensión en los conductores, las flechas de los conductores, esfuerzos en los apoyos, y demás parámetros de interés. Si se necesita, también se puede obtener el reporte en las condiciones de tendido.

Como software de apoyo a PLS – CADD, se han utilizado varios archivos tipo .kmz de **Google Earth**, que ha sido de gran utilidad para el análisis del entorno en la fase de diseño de la traza.

2.2 MATLAB 2021B

Para la realización de cálculos eléctricos y electromagnéticos se ha utilizado el *software* Matlab 2021b (*Matrix Laboratory*).

Matlab es un software de programación que trata las variables de forma matricial. Al realizar un proceso iterativo, es también gran utilizado en la industria tecnológica

Se ha escogido este software ya que ofrece mucha versatilidad a la hora de operar con números imaginarios, matrices, y su compatibilidad con otras aplicaciones como Excel, que también se utilizará en el proyecto. Además, ofrece la posibilidad de realizar gráficos de manera sencilla, que serán de gran utilidad para el proyecto que se presenta.

2.3 AUTOCAD

Para poder realizar planos y figuras en 2D de manera sencilla, se ha optado por utilizar el software de diseño AutoCAD. AutoCAD permite el esbozo de planos de forma intuitiva. Además, permite cargar imágenes y archivos tipo PDF, que han sido de gran ayuda para el boceto de elementos normalizados, como los apoyos.

2.4 MICROSOFT OFFICE

Finalmente, para la presentación de datos, se ha utilizado Microsoft Word y Microsoft Excel.

Microsoft Excel se ha utilizado para la presentación de tablas y gráficos sencillos asociados a dicha tablas. Por otro lado, Microsoft Word se ha utilizado para la redacción de la presente memoria técnica.

Capítulo 3. ESTADO DE LA CUESTIÓN

La línea que se va a diseñar forma parte de un proyecto mayor. El unifilar del nudo completo se presenta en Ilustración 21. Este nudo de evacuación está formado por las líneas **L/220 kV SET Corrales – SET Promotores Olite (color rojo)**, L/220 kV SET Biota - SET Corrales (en color azul), LAAT 220 kV SET Muno II - SET Muno I y LAT 220 kV SET Muno I – SET Promotores Muruarte (ambas en gris). La línea aérea y subterránea de 220 kV, denominada L/220 kV SET Corrales – SET Promotores Olite, será objeto de este estudio. El nudo se presenta en la Ilustración 21:

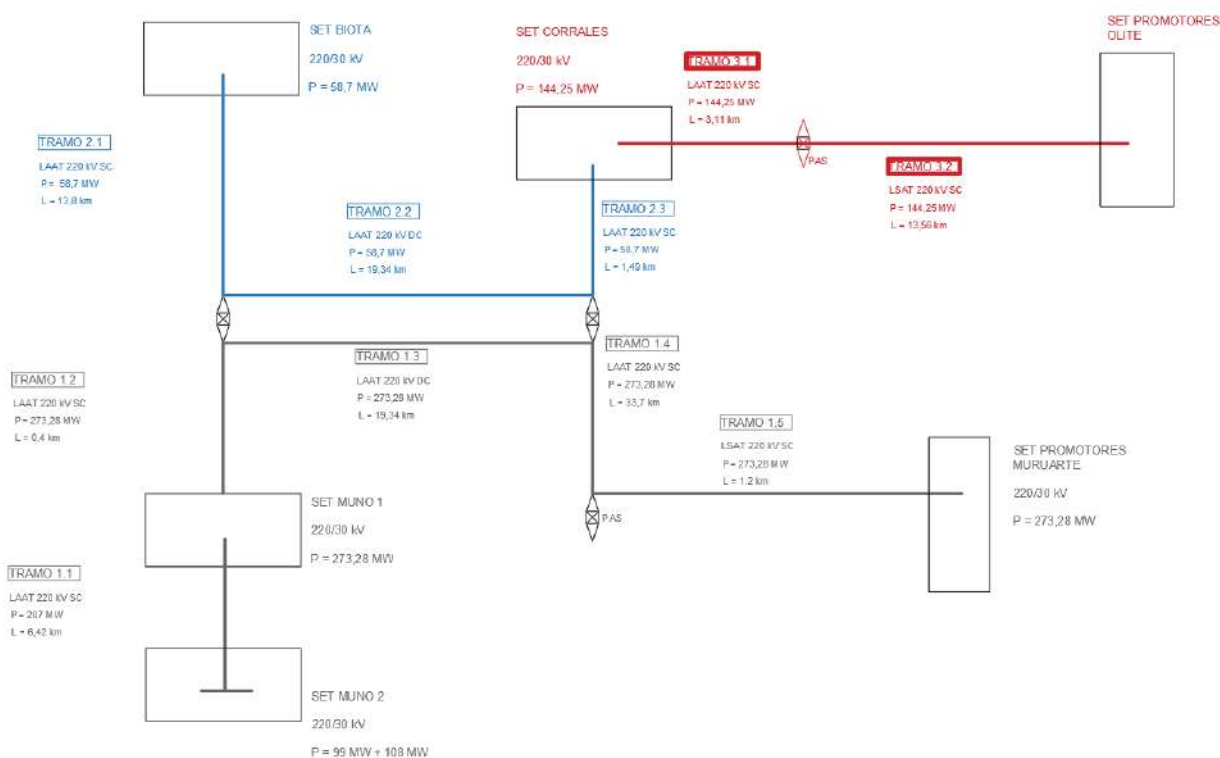


Ilustración 21 - Unifilar del nudo

El presente proyecto es una continuación de un **anteproyecto** ya realizado. Para poder realizar este proyecto de la manera más eficiente, es necesario un estudio de dicho anteproyecto.

3.1 ANTEPROYECTO

El anteproyecto, al igual que el proyecto actual, constaba del diseño de una línea de evacuación desde la ST Los Corrales hasta ST Olite. La línea era en su **totalidad aérea**, y constaba de una longitud de aproximadamente 15 km. Para estos 15 km de traza, se tenían 50 apoyos distribuidos entre los dos pódicos, de la siguiente manera:

N ° Apoyo	Vano posterior (m)	UTM (Huso 30N)		
		X	Y	Z
Marco	60	622212,67	4700463,23	683,5
1	312,35	622184,46	4700410,28	677,5
2	377,88	622043,57	4700131,5	654,5
3	213,85	621705,53	4699962,6	629
4	357,55	621514,24	4699867,01	619,07
5	225,44	621194,39	4699707,19	604
6	185,64	620992,72	4699606,42	635
7	305,25	620826,66	4699523,44	637,82
8	265,93	620553,6	4699387	591
9	228,9	620315,71	4699268,13	530,09
10	221,3	620110,95	4699165,81	510,15
11	600,59	619912,99	4699066,9	509
12	350,58	619375,74	4698798,45	500
13	139,88	619062,13	4698641,75	513,5
14	346,5	618927,79	4698602,78	484,15
15	341,96	618595,02	4698506,24	375
16	370,45	618266,6	4698410,97	363,57
17	344,79	617910,81	4698307,76	357,75
18	384,19	617593,06	4698441,61	355,48
19	388,39	617239	4698590,75	355
20	369,38	616881,07	4698741,53	358
21	350,12	616540,66	4698884,92	371,67
22	253,33	616218	4699020,84	369
23	279,43	615987,7	4698915,29	367
24	242,1	615733,68	4698798,88	362,01
25	236,9	615513,59	4698698,01	363,5
26	269,16	615303,24	4698589,04	364,67
27	277,66	615064,25	4698465,22	363,09
28	301,65	614817,71	4698337,5	361

N ° Apoyo	Vano posterior (m)	UTM (Huso 30N)		
		X	Y	Z
29	354,2	614516,06	4698336,39	359
30	298,36	614161,87	4698335,08	357
31	383,75	613863,52	4698333,98	352
32	407,14	613491,33	4698240,48	346
33	376,65	613096,46	4698141,28	345,12
34	290,3	612731,16	4698049,52	346,51
35	323,36	612449,61	4697978,79	356
36	267,7	612135,99	4697900	357,2
37	187,4	611908,97	4697758,15	365
38	259,29	611750,04	4697658,85	363
39	278,28	611530,15	4697521,46	365
40	239,02	611294,15	4697374	368,4
41	316,63	611079,8	4697268,24	364,92
42	228,69	610795,85	4697128,15	391,58
43	186,73	610590,76	4697026,96	392,09
44	389,3	610423,31	4696944,34	380,75
45	290,75	610035,75	4696907,56	363,51
46	316,51	609746,29	4696880,08	361,5
47	327,96	609440,27	4696799,3	347,4
48	292,27	609123,17	4696715,6	354
49	163,36	608838,54	4696649,19	356
50	59,98	608679,46	4696612,08	361,4
Bahía	0	608619,48	4696612,39	361,8

Tabla 5 - Disposición de apoyos del anteproyecto Los Corrales - Olite

Que correspondían a la traza que se muestra en la Ilustración 22:



Ilustración 22 - Trazo del anteproyecto

Al presentar este anteproyecto, se recibieron un número de alegaciones que se tienen que considerar:

Alegaciones

Reconsideración de la traza por incumplimiento de distancias con varios yacimientos de la zona, en concreto replanteo de los apoyos 21 y 34.

Modificación de la traza a la llegada de la SET Corrales- -Olite por dar sombra a una futura central solar por parte de una propiedad privada.

Reconsideración de la traza por afectar al ecosistema por parte del Departamento de Medioambiente, Ordenación del Territorio y Vivienda del Gobierno de Navarra.

Tabla 6 - Alegaciones al anteproyecto de Corrales - Olite



Ilustración 23 - Apoyo que necesita reubicación



Ilustración 24 - Apoyo que necesita reubicación



Ilustración 25 – Llegada a la subestación que necesita cambios

Por ello, el diseño de la línea que es objeto del presente proyecto deberá de tener en cuenta estas alegaciones.

En un principio, se esperaba que los parques evacuaran mayor potencia, por lo que la potencia nominal de diseño era de 117,3 MWn, en comparación con los 144,25 MWn del presente proyecto. Dado que tanto el anteproyecto como el proyecto discurrían entre las mismas subestaciones, la tensión de diseño para ambos proyectos es la misma: 220 kV. Además, la línea del anteproyecto iba en un único circuito con conductor simplex, se

procurará mantener esta configuración. Es decir, las condiciones de partida del diseño de la línea son las que se presentan en la Tabla 7:

CONDICIONES DE PARTIDA

Tensión: $U = 220 \text{ kV}$

Potencia nominal de transporte: 144,25 MW_n

Un conductor por fase

Configuración simplex

Tabla 7 - Condiciones de Partida

Capítulo 4. EMPLAZAMIENTO

4.1 ANÁLISIS DEL ENTORNO

Las subestaciones elevadores SET Corrales y SET Promotores Olite se sitúan en la Comunidad Foral de Navarra, por ello, la línea transcurrirá por la misma comunidad. En la Ilustración 26 se muestra el emplazamiento de las subestaciones ya mencionadas.



Ilustración 26 - emplazamiento de las subestaciones Corrales y Olite

Al unir ambas subestaciones con una línea recta en planta, podemos observar que se atraviesa parcialmente el pueblo de Pitillas. Este detalle se estudia en la Ilustración 27.

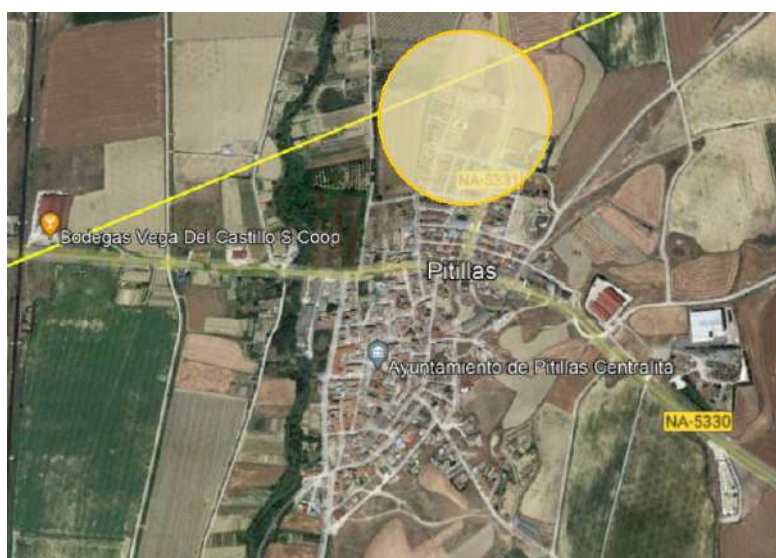


Ilustración 27 - Zum a la traza

Para evitar cruzar este pueblo, la traza definitiva bordeará esta localidad. Como se trata de un pueblo de menos de 500 habitantes y de viviendas bajas, realizar la traza en aéreo parece la opción idónea: es más barata y fácil de construir. Este razonamiento fue el que se siguió en el anteproyecto expuesto en apartado 3.1 Anteproyecto.

Sin embargo, la Comunidad Foral de Navarra, además, es conocida por su gran avifauna, contando con nueve de los ecosistemas ornitológicos más importantes del país, entre los que se incluyen La Selva de Irati, los Robledales de Ultzama-Basaburua, Arbaiun y Lumbier, el Valle de Belagua, y la **Laguna de Pitillas** (Fuente: [Diario de Navarra](#)).

La laguna de Pitillas se sitúa, aproximadamente, a un kilómetro de la traza recta en planta. Como se muestra en la Ilustración 28.



Ilustración 28 - Distancia desde la Laguna de Pitillas a la traza recta en planta

Para no alternar estos ecosistemas, la mayor parte de la línea que se acerque a Laguna se realizará en tramo subterráneo, procurando maximizar el tramo en aéreo para minimizar los costes. De esta forma, conseguimos solventar la alegación medioambiental, que se opone

firmeramente a las líneas aéreas, tal y como se expresaba en el apartado anterior (apartado 3.1).

Además, si se decide continuar en subterráneo hasta la llegada de la subestación, conseguimos arreglar el problema de la sombra en la futura central solar: como la línea es subterránea, los apoyos no sombrearán esta zona.

Los yacimientos que daban problemas se encontraban en los apoyos 21 y 34 (del proyecto anterior). La idea principal ha sido mover dichos apoyos para poder respetar las distancias con los cruzamientos. Sin embargo, como se ha decidido por los motivos ya descritos llevar este tramo en subterráneo, el problema queda solventado.

4.2 TRAZA FINAL

La traza definitiva cumple con todas las alegaciones del anteproyecto y se caracteriza por tener una longitud total de 16,67 km. Esta línea se divide en dos tramos diferenciados:

- Un tramo aéreo de 3,11 km de longitud (Desde el Pórtico SET Corrales hasta el Apoyo PAS-12).
- Un tramo subterráneo de 13,56 km de longitud (Desde el Apoyo PAS-12 hasta SET Promotores Olite).

Esta línea discurre por los siguientes términos municipales, que pertenecen todos a la Comunidad Foral de Navarra:

- Ujué
- Pitillas
- Olite

Los apoyos del tramo aéreo (SET Corrales – Apoyo PAS 12) son los siguientes:

<i>N ° Apoyo</i>	<i>UTM (Huso 30N)</i>		
	<i>X</i>	<i>Y</i>	<i>Z</i>
Pórtico SET Corrales	622212,67	4700463,23	674,82
1	622195,42	4700404,45	672,86
2	622043,57	4700131,5	653,42
3	621705,54	4699962,59	628,87
4	621514,24	4699867	617,83
5	621194,39	4699707,17	604,92
6	620992,73	4699606,4	635,32
7	620826,66	4699523,42	637,78
8	620553,61	4699386,98	590,45
9	620315,72	4699268,11	530,14
10	620110,96	4699165,79	511,37
11	619913	4699066,87	509,09
PAS 12	619592,01	4698906,48	445,8

Tabla 8 - Apoyos del tramo aéreo

De la misma forma, los vértices del tramo subterráneo (Apoyo PAS 12 – SET Promotores Olite) son los siguientes:

<i>Vértice</i>	<i>UTM (Huso 30N)</i>	
	<i>X</i>	<i>Y</i>
1	619592,01	4698906,48
2	619584,06	4698920,36
3	619569,02	4698988,45
4	619636,87	4699073,68
5	619664,02	4699130,14
6	619455,38	4699103,61

Vértice	UTM (Huso 30N)	
	X	Y
7	619313,58	4698974,2
8	619235,72	4699093,47
9	618836,73	4699182,44
10	618708,72	4699269,63
11	618302,36	4699414,11
12	617675,14	4699416,17
13	617514,67	4699461,65
14	617311,56	4699391,23
15	617104,38	4699373,41
16	616603,64	4699295,6
17	616360,19	4699195,33
18	616285,74	4699100,32
19	615255,73	4698615,74
20	614597,86	4698339,7
21	614422,44	4698286,2
22	613976,44	4697960,06
23	613985,42	4697805,81
24	613937,86	4697743,33
25	613899,1	4697610,82
26	613897,92	4697507,94
27	613884,11	4697496,64
28	613839,31	4697499,13
29	613735,98	4697422,88
30	613732,41	4697411,37
31	613734,31	4697370,64

Vértice	UTM (Huso 30N)	
	X	Y
32	613695,23	4697327,54
33	613621,98	4697071,85
34	613602,01	4697065,33
35	613583,64	4697080,26
36	613498,35	4697162,92
37	613383,52	4697152,93
38	613299,07	4697222,17
39	613221,31	4697167,3
40	613217,9	4697159,36
41	613195,73	4697057,48
42	612832,23	4697123,85
43	612838,09	4697203,41
44	612640,8	4697249,76
45	612569,67	4697279,94
46	612582,33	4697383,11
47	612468,68	4697392,51
48	612419,83	4697417,56
49	612226,76	4697281,69
50	611884,9	4697368,79
51	611745,98	4697371,24
52	611699,54	4697451,48
53	611634,07	4697462,5
54	611641,96	4697517,03
55	611612,52	4697549,21
56	611457,89	4697502,6

Vértice	UTM (Huso 30N)	
	X	Y
57	611104,52	4697364,88
58	610536,82	4697024,24
59	610226,83	4696945,18
60	609471,57	4696850,41
61	609412,86	4696817,3
62	609338,27	4696815,68
63	609085,27	4696745,77
64	608933,4	4696535,66
65	608916,24	4696530,98
66	608751,22	4696624,29
67	608659,98	4696620,25

Tabla 9 - Vértices del tramo subterráneo

En conclusión, las características generales de la línea y su zona son las siguientes:

Sistema Corriente Alterna Trifásica
 Nivel de contaminación 3
 Zona B
 Frecuencia (Hz) 50
 Tensión nominal (kV)..... 220
 Tensión más elevada de la red (kV) 245
 Categoría..... Especial
 Potencia de diseño (MWn) 144,25
 Longitud total (km)..... 16,67
 Origen Pórtico SET Corrales
 Fin..... SET Promotores Olite
 Provincias afectadas Comunidad Foral de Navarra

Con la traza que se muestra en la Ilustración 29:



Ilustración 29 - Trazo definitiva de la línea de 220 kV Los Corrales - Olite

4.2.1 DISTANCIAS EXTERNAS

En el apartado 5 de la ITC-07 se define *distancia externa* como aquella distancia mínima entre objetos en tensión de la línea y objetos próximos a ella para garantizar la seguridad.

Al garantizar estas distancias, se evitan posibles sobretensiones tanto al público general como a los operarios que trabajen en la propia línea.

4.2.2 CRUZAMIENTOS

La traza se ha diseñado de forma que cumpla con el apartado 5 DISTANCIAS MÍNIMAS DE SEGURIDAD. CRUZAMIENTOS Y PARALELISMOS de la instrucción técnica complementaria mencionada previamente.

A continuación, se muestra un resumen de los cruzamientos de la línea, así como sus organismos afectados:

4.2.2.1 Relación de cruzamientos de la línea en el tramo aéreo

<i>Cruzamiento</i>	<i>Apoyo Inicio</i>	<i>Apoyo Fin</i>	<i>Cruzamientos</i>	<i>Organismos Afectados</i>
C-1	Pórtico SET Corrales	1	Camino de Tierra	Ayuntamiento de Ujué
C-2	1	2	Vía Pecuaria. Traviesa Nº15	Departamento de Medio Ambiente, Ordenación del Territorio y Vivienda del Gobierno de Navarra
C-3	2	3	Barranco de Mostracas	Confederación Hidrográfica del Ebro
C-4	4	5	Barranco de Mostracas	Confederación Hidrográfica del Ebro
C-5	7	8	Camino de Tierra	Ayuntamiento de Pitillas
C-6			Rodera (Sin nombre)	Ayuntamiento de Pitillas
C-7			Reguero	Ayuntamiento de Pitillas
C-8	9	10	Barranco de Picarana	Confederación Hidrográfica del Ebro
C-9	11	PAS 12	Barranco de Picarana	Confederación Hidrográfica del Ebro
C-10			Conducción Subterránea de Agua	Canal de Navarra

<i>Cruzamiento</i>	<i>Apoyo Inicio</i>	<i>Apoyo Fin</i>	<i>Cruzamientos</i>	<i>Organismos Afectados</i>
C-11			Camino de Tierra	Ayuntamiento de Pitillas

Tabla 10 - Cruzamientos de la línea aérea

4.2.2.2 Relación de cruzamientos de la línea en el Tramo Subterráneo

<i>Cruzamiento</i>	<i>Vértice Inicio</i>	<i>Vértice Fin</i>	<i>Cruzamientos</i>	<i>Organismos Afectados</i>
CLSAT-1	2	3	Conducción Subterránea de Agua	Canal de Navarra.
CLSAT-2	6	7	Conducción Subterránea de Agua	Canal de Navarra.
CLSAT-3	15	16	Drenaje	Canal de Navarra.
CLSAT-4	18	19	Reguero	Canal de Navarra.
CLSAT-5			Drenaje	Canal de Navarra.
CLSAT-6			Barranco Salado	Confederación Hidrográfica del Ebro
CLSAT-7			Barranco del Pozo del Pastor	Confederación Hidrográfica del Ebro
CLSAT-8			Drenaje	Canal de Navarra.
CLSAT-9			Vía Pecuaria Pasada Nº24	Departamento de Medio Ambiente, Ordenación del Territorio y Vivienda del Gobierno de Navarra
CLSAT-10	19	20	Acequia	Canal de Navarra.
CLSAT-11			Drenaje	Canal de Navarra.
CLSAT-12			Rodera	Ayuntamiento de Pitillas
CLSAT-13			Camino de Tierra	Ayuntamiento de Pitillas
CLSAT-14	20	21	Acequia de Valsalada	Canal de Navarra.
CLSAT-15			Drenaje	Canal de Navarra.
CLSAT-16	21	22	Drenaje	Canal de Navarra.
CLSAT-17	22	23	Drenaje	Canal de Navarra.
CLSAT-18			Vía Pecuaria Traviesa Nº15	Departamento de Medio Ambiente, Ordenación del Territorio y Vivienda del Gobierno de Navarra
CLSAT-19			Drenaje	Canal de Navarra.
CLSAT-20			Acequia	Canal de Navarra.
CLSAT-21	28	29	Carretera NA-5330	Departamento de OOPP, Transportes y Comunicaciones del Gobierno de Navarra
CLSAT-22			Drenaje	Canal de Navarra.
CLSAT-23	33	34	Conducción Subterránea de Agua	Canal de Navarra.
CLSAT-24	38	39	Conducción Subterránea de Agua	Canal de Navarra.

Cruzamiento	Vértice Inicio	Vértice Fin	Cruzamientos	Organismos Afectados
CLSAT-25	40	41	Línea Telefónica	Telefónica S.A.
CLSAT-26	41	42	Drenaje	Canal de Navarra.
CLSAT-27			Carretera NA-5332	Departamento de OOPP, Transportes y Comunicaciones del Gobierno de Navarra
CLSAT-28			Conducción Subterránea de Agua	Canal de Navarra.
CLSAT-29			Río Cidacos	Confederación Hidrográfica del Ebro
CLSAT-30			Acequia	Canal de Navarra.
CLSAT-31			Camino de los Majuelos	Departamento de Medio Ambiente, Ordenación del Territorio y Vivienda del Gobierno de Navarra
CLSAT-32			Acequia	Canal de Navarra.
CLSAT-33			Línea Eléctrica	i-DE
CLSAT-34	42	43	Drenaje	Canal de Navarra.
CLSAT-35			Acequia	Canal de Navarra.
CLSAT-36	44	45	Acequia	Canal de Navarra.
CLSAT-37			FFCC Castejón - Alsasua	ADIF
CLSAT-38			Acequia	Canal de Navarra.
CLSAT-39	48	49	Rodera	Ayuntamiento de Pitillas
CLSAT-40			Drenaje	Canal de Navarra.
CLSAT-41	49	50	Rodera	Ayuntamiento de Pitillas
CLSAT-42	52	53	Carretera N-121	Departamento de OOPP, Transportes y Comunicaciones del Gobierno de Navarra
CLSAT-43	54	55	Línea Eléctrica 20 kV	i-DE
CLSAT-44	55	56	Línea Eléctrica 20 kV	i-DE
CLSAT-45	56	57	Drenaje	Canal de Navarra.
CLSAT-46	57	58	Camino de la Cañada	Departamento de Medio Ambiente, Ordenación del Territorio y Vivienda del Gobierno de Navarra
CLSAT-47	59	60	Línea Eléctrica 20 kV	i-DE
CLSAT-48	60	61	Barranco de Vallacuera	Confederación Hidrográfica del Ebro
CLSAT-49	61	62	Barranco de Vallacuera	Confederación Hidrográfica del Ebro
CLSAT-50	63	64	Conducción Subterránea de Agua	Canal de Navarra.
CLSAT-51			Barranco de Vallacuera	Confederación Hidrográfica del Ebro
CLSAT-52	66	67	Línea Eléctrica 220 kV	REE

Tabla 11 - Cruzamientos en la línea subterránea

4.2.3 PARALELISMOS

4.2.3.1 Relación de Paralelismos de la Línea en el Tramo Aéreo

No hay paralelismos en el tramo aéreo.

4.2.3.2 Relación de Paralelismos de la Línea en el Tramo Subterráneo

<i>Vértice Inicio</i>	<i>Vértice Fin</i>	<i>Paralelismos</i>	<i>Organismos Afectados</i>
35	36	Conducción Subterránea de Agua	Canal de Navarra.
38	39	Conducción Subterránea de Agua	Canal de Navarra.
42	43	Acequia	Canal de Navarra.

Tabla 12 - Paralelismos del tramo subterráneo

4.2.4 RELACIÓN DE MINISTERIOS, CONSEJERÍAS, ORGANISMOS Y EMPRESAS DE SERVICIOS AFECTADOS

Se presenta, a continuación, un resumen de los organismos afectados listados previamente:

- Ayuntamiento de Ujué
- Ayuntamiento de Pitillas
- Ayuntamiento de Olite
- i-DE Redes Eléctricas Inteligentes, S.A.U.
- Confederación Hidrográfica del Ebro
- Red Eléctrica de España S.A.U.
- Administrador de Infraestructuras Ferroviarias
- Telefónica S.A.
- Departamento de Medio Ambiente, Ordenación del Territorio y Vivienda del Gobierno de Navarra
- Canal de Navarra
- Departamento de Obras Públicas, Transportes y Comunicaciones del Gobierno de Navarra

Capítulo 5. DISEÑO DE LA LÍNEA

5.1 DIMENSIONAMIENTO DE LA LÍNEA AÉREA

5.1.1 DISEÑO DE LOS APOYOS

El diseño de los apoyos de la línea aérea se fundamentará en el catálogo general de apoyos de **IMEDEXSA**. Este fabricante tiene una torre recomendada para líneas cuya tensión sea 132 kV o 220 kV: torres tipo CÓNDOR. Por ello, esta será la torre que se utilice en este proyecto. Esta torre corresponde con el esquema de la Ilustración 30 - armado de una torre tipo Cóndor Ilustración 30:

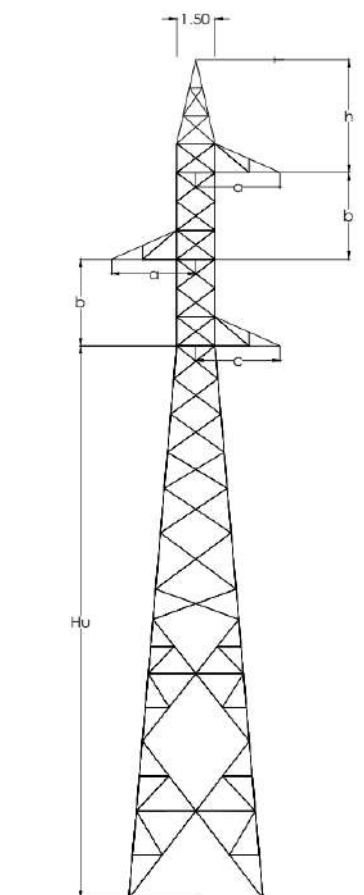


Ilustración 30 - armado de una torre tipo Cóndor

Todos los apoyos dispondrán de simple cúpula para el cable de fibra óptica por encima de los conductores, como se ha mostrado en Ilustración 30. En este tipo de torres, los valores de a , b , c y h posibles se muestran en la Tabla 13:

COTAS	CÓDIGOS CÓNDOR							
	1	2	3	4	5	6	7	8
b (m)	3,3	4,4	5,5	–	–	–	–	–
a = c (m)	3	3,2	3,6	3,8	4,1	4,3	4,6	4,9
h (m)	4,3	5,2	5,9	6,6	–	–	–	–

Tabla 13 - Cotas de las torres cóndor (Fuente: Catálogo de Imedexsa)

Para el correcto diseño de los del armado, la ITC – 07 define unas distancias de obligado cumplimiento, que depende de la tensión nominal de la línea. A continuación, se incluye en Tabla 14 dichas distancias.

Tensión nominal de la red U_n (kV)	Tensión más elevada de la red U_s (kV)	D_{el} (m)	D_{pp} (m)
3	3,6	0,08	0,1
6	7,2	0,09	0,1
10	12	0,12	0,15
15	17,5	0,16	0,2
20	24	0,22	0,25
25	30	0,27	0,33
30	36	0,35	0,4
45	52	0,6	0,7
66	72,5	0,7	0,8
110	123	1	1,15
132	145	1,2	1,4

<i>Tensión nominal de la red U_n (kV)</i>	<i>Tensión más elevada de la red U_s (kV)</i>	<i>D_{el} (m)</i>	<i>D_{pp} (m)</i>
150	170	1,3	1,5
220	245	1,7	2
400	420	2,8	3,2

Tabla 14 - D_{el} y D_{pp} en función de la tensión (Fuente: ITC - 07)

Donde, de acuerdo con la ITC - 07:

- D_{el} : Distancia de aislamiento en aire mínima entre conductores y objetos puestos a tierra. En el proyecto de estudio, esta distancia será de **1,7 m**.
- D_{pp} : Distancia de aislamiento en aire mínima entre conductores para prevenir descargas entre ellos. En el proyecto que nos compete, esta distancia será de **2 m**.

El armado se ha elegido mediante el software PLS-CADD. Sin embargo, la elección se puede realizar de forma teórica.

Para poder determinar el armado más apropiado, es necesario calcular el ángulo swing (β).

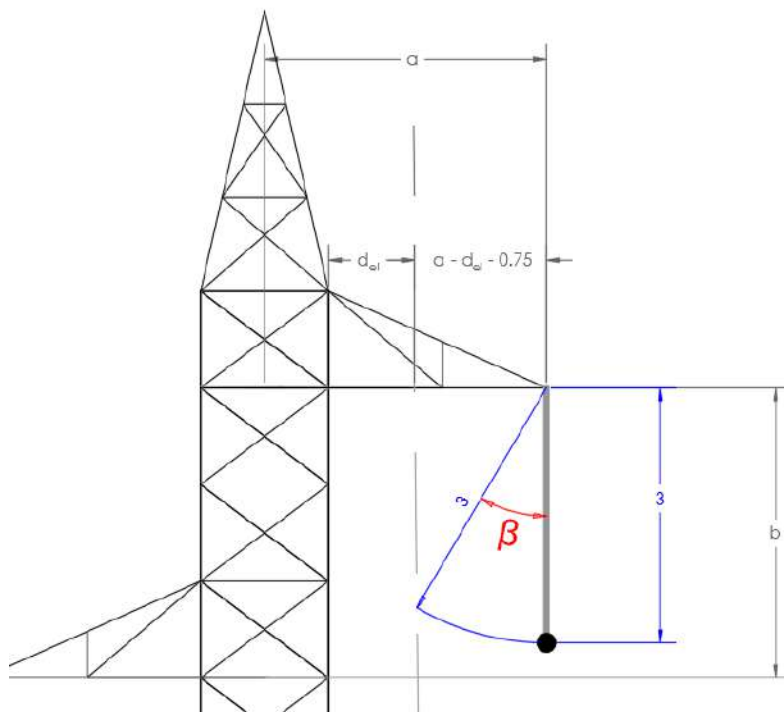


Ilustración 31 - representación del ángulo swing

Este ángulo, como se muestra en la Ilustración 31, depende de la distancia a (característica del armado), de la distancia D_{el} (1,7 m), de la distancia de la cadena de aisladores (3 m, en este caso¹) y de la mitad de la distancia de la cabeza (0,75 m para torres tipo cóndor).

De acuerdo con la misma Ilustración 31, este ángulo se puede calcular como:

$$\beta = \arcsen\left(\frac{a - D_{el} - 0,75}{3}\right) = \arcsen\left(\frac{a - 1,7 - 0,75}{3}\right)$$

Por lo tanto, se ha calculado este ángulo para los distintos valores de a que se mostraban en el catálogo:

¹ Este valor se demostrará más adelante, se puede comprobar en la Tabla 27.

a (m)	swing (°)
3	11
3,2	14
3,6	23
3,8	27
4,1	33
4,3	38
4,6	46
4,9	55

Tabla 15 - Valor del swing en función de "a"

Que, expresado en forma gráfica, queda:

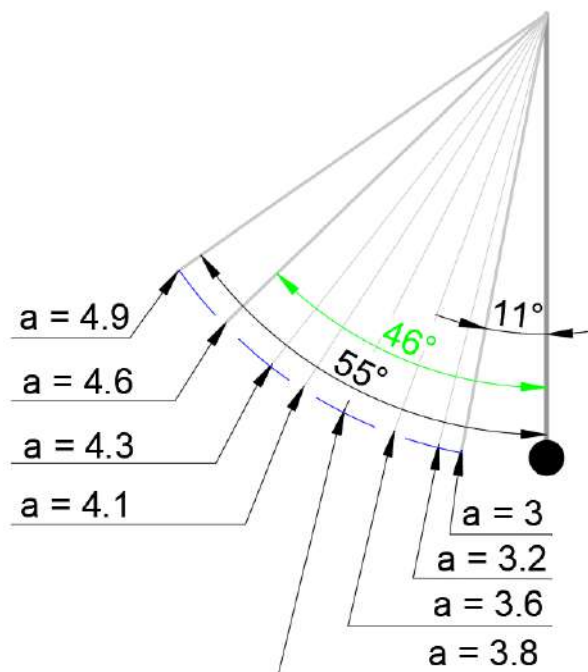


Ilustración 32 - Valor del swing en función de "a"

Se seleccionará aquel ángulo inmediatamente mayor a 40° , que es un valor lo bastante conservador para conservar las distancias eléctricas para el caso climático más desfavorable como el de flecha máxima de viento, que se estudiará más en profundidad en el apartado 6.3.1. En concreto, en la Tabla 104 se muestran el ángulo y el porcentaje de superación respecto a estos 40° .

En este caso, el swing será: $\beta = 46^\circ$, que se corresponde con un valor de a de 4,6 m.

$$a = c = 4,6 \text{ m};$$

Esta longitud corresponde con el código 7 en la Tabla 13.

Por otro lado, como ya se ha comentado, el valor mínimo de distancia entre conductores debe de ser de 2 m para prevenir descargas. Para la disposición en tresbolillo elegida, las distancias entre conductores son las siguientes:

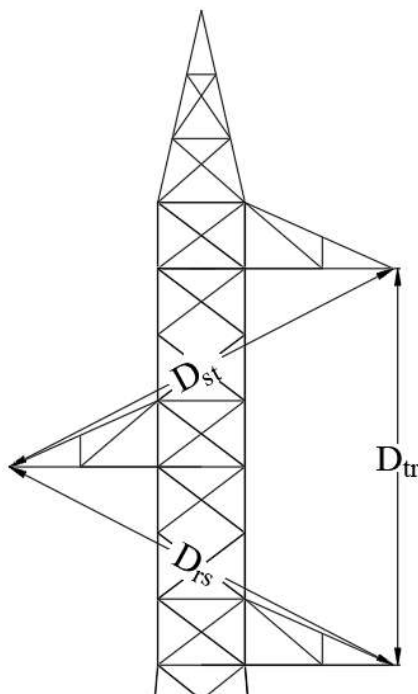


Ilustración 33 - Distancias entre conductores

Donde:

$$D_{rs} = D_{st} = \sqrt{b^2 + (2a)^2}$$

$$D_{tr} = 2 \cdot b$$

Para el valor de a seleccionado, y los valores de b disponibles en el catálogo, se obtienen los siguientes valores de distancias entre conductores posibles:

a (m)	b (m)	D _{rs} , D _{st} (m)	D _{tr} (m)
4,6	3,3	9,77	9,2
	4,4	10,20	9,2
	5,5	10,72	9,2

Ilustración 34 - Distancias entre conductores en función de los valores de a y b

Como todas cumplen con la normativa al ser todas mayores a 2 m, se elegirá la distancia más corta de b por optimización del beneficio económico y por afectar lo mínimo al ecosistema de la zona, de esta forma:

$$b = 3,3 \text{ m};$$

Esta longitud corresponde con el código 1 Tabla 13.

En principio, cualquier valor de h cumpliría las distancias eléctricas especificadas. Sin embargo, el valor de h debe de cumplir también que el ángulo que forman la horizontal y la recta entre el punto más alto de la cruceta y el brazo más próximo (β), nunca sea superior a 35° (Fuente: [SectorElectricidad](#)).

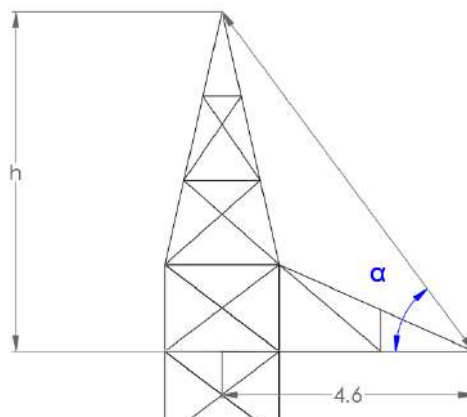


Ilustración 35 - Identificación de h

Este ángulo se puede calcular como:

$$\alpha < \text{atan}\left(\frac{h}{4,6}\right) \rightarrow 35^\circ < \text{atan}\left(\frac{h}{4,6}\right)$$

Lo que implica que h debe de ser superior a 3,22 m. En principio, cualquier valor de h cumple estos requisitos. No se cogerá la torre más alta por requisitos medioambientales. Se decide, finalmente, un valor de:

$$h = 5,9 \text{ m};$$

Que corresponde con el código 3.

Se concluye que el código de los apoyos, siguiendo la configuración *bach* será el siguiente:

$$\text{CO} - \text{S/N } \textit{bach} \rightarrow \text{CO} - \text{S1773},$$

que implica que se trata de un simple circuito, con la configuración ya explicada:

COTAS	CÓDIGOS CÓNDR							
	1	2	3	4	5	6	7	8
b (m)	3,3	4,4	5,5	—	—	—	—	—
a = c (m)	3	3,2	3,6	3,8	4,1	4,3	4,6	4,9

COTAS	CÓDIGOS CÓNDR							
	1	2	3	4	5	6	7	8
h (m)	4,3	5,2	5,9	6,6	–	–	–	–

Tabla 16 - Elección de cotas del armado

La S del código S1773 indica que se llevará un único cable de fibra óptica.

Expresado de forma gráfica en la Ilustración 36:

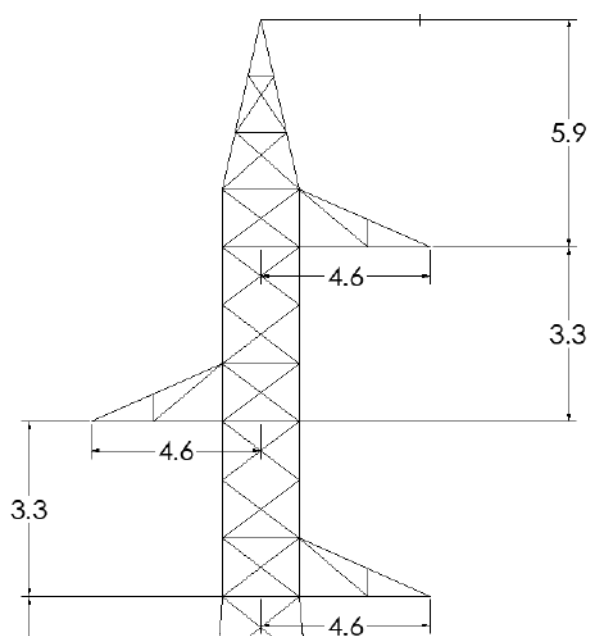


Ilustración 36 - Armado

La altura útil, el esfuerzo nominal y la función de cada apoyo necesitan de un análisis más exhaustivo que se ha llevado a cabo mediante el software de simulación PLS -CADD. El simulador permite colocar los apoyos y tender el cable. De esta forma, se pueden mover los apoyos y jugar con las alturas útiles para respetar las distancias reglamentarias.

Finalmente, se obtienen los resultados que se reflejan en la Tabla 17:

N ° Apoyo	Nombre del Apoyo	Función	GEOMETRÍA DEL APOYO (m)			
			b	a	c	h
Pórtico SET Corrales	Pórtico SET Corrales	Pórtico SET	-	-	-	-
1	CO-18000-18-S1773	ÁNGULO-FIN DE LÍNEA	3,3	4,6	4,6	5,9
2	CO-12000-24-S1773	ÁNGULO-ANCLAJE	3,3	4,6	4,6	5,9
3	CO-3000-30-S1773	ALINEACIÓN-SUSPENSIÓN	3,3	4,6	4,6	5,9
4	CO-9000-27-S1773	ALINEACIÓN-SUSPENSIÓN	3,3	4,6	4,6	5,9
5	CO-7000-15-S1773	ALINEACIÓN-AMARRE	3,3	4,6	4,6	5,9
6	CO-3000-21-S1773	ALINEACIÓN-SUSPENSIÓN	3,3	4,6	4,6	5,9
7	CO-3000-24-S1773	ALINEACIÓN-SUSPENSIÓN	3,3	4,6	4,6	5,9
8	CO-3000-21-S1773	ALINEACIÓN-SUSPENSIÓN	3,3	4,6	4,6	5,9
9	CO-7000-24-S1773	ALINEACIÓN-AMARRE	3,3	4,6	4,6	5,9
10	CO-7000-15-S1773	ALINEACIÓN-AMARRE	3,3	4,6	4,6	5,9
11	CO-3000-27-S1773	ALINEACIÓN-SUSPENSIÓN	3,3	4,6	4,6	5,9
PAS 12	CO-18000-15-PAS_SC	PAS	5,5	4,1	4,1	5,9

Tabla 17 - Distribución de apoyos

Donde:

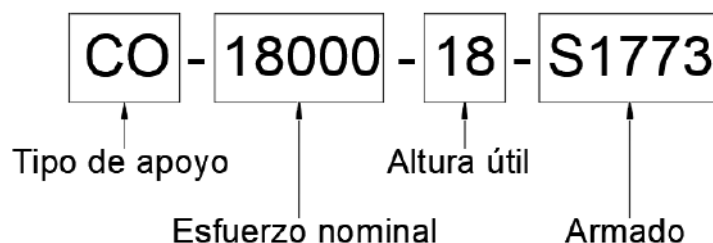


Ilustración 37 - Explicación del nombre del apoyo

Nótese que no es imprescindible usar el mismo apoyo a lo largo de toda la línea. Sin embargo, en este caso, dada la longitud de la línea, se ha optado por hacerlo de esta forma.

Cada apoyo necesita una **cimentación** para estar sujeto al suelo incluso en las condiciones más desfavorables. Las cimentaciones son bloques de hormigón a los que se anclan los apoyos. Son, principalmente, objetos de seguridad: protegen al apoyo del vuelco. Para apoyos tipo cóndor, se tienen las siguientes formas de cimentaciones: sección cuadrada recta, sección circular con cueva y sección cuadrada con cueva:

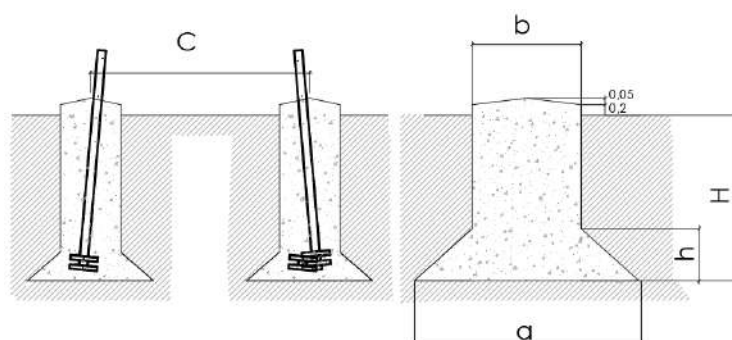


Ilustración 38 - Perfil de una cimentación cuadrada con cueva y circular con cueva

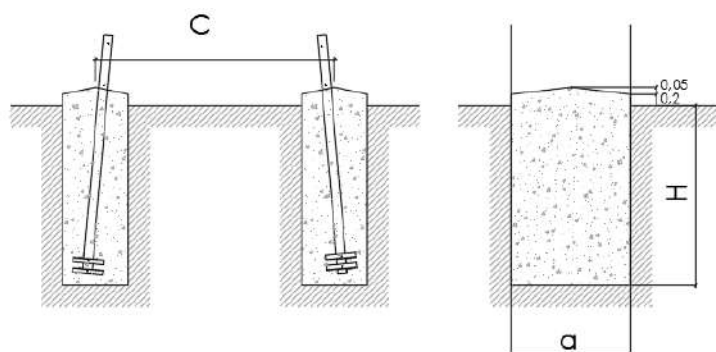


Ilustración 39 - Perfil de una cimentación cuadrada recta

Las **cimentaciones cuadradas rectas** tienen la ventaja de ser más sencillas de construir, más baratas y fáciles de instalar. Por ello, serán las que se elijan para la línea de estudio. El catálogo de Imedexsa asegura que las cimentaciones tengan un coeficiente de seguridad de 1,5 respecto al momento de vuelco en cualquier condición.

Como el momento que se ejerce en la cimentación depende de la altura nominal del apoyo (a mayor altura, mayor es la distancia entre el centro de gravedad de la cruceta y el suelo) cada apoyo con una altura nominal distinta tendrá distinta cimentación. En general, los

apoyos tipo fin de línea, además, tienen cimentaciones más grandes, al solo tener cables conductores de un lado del apoyo, el desequilibrio es mayor.

Del propio catálogo se obtienen las siguientes cimentaciones para los tipos de apoyo correspondientes al proyecto:

<i>N ° Apoyo</i>	<i>Nombre del Apoyo</i>	CIMENTACIONES					
		<i>a</i>	<i>c</i>	<i>H</i>	<i>V_{exc} unit (m³)</i>	<i>V_{exc} (m³)</i>	<i>V_{horm} (m³)</i>
1	CO-18000-18-S1773	1.55	4.85	3.2	7.69	30.76	32.84
2	CO-12000-24-S1773	1.35	5.92	2.85	5.19	20.76	22.34
3	CO-3000-30-S1773	0.90	6.20	2.25	1.82	7.28	7.98
4	CO-9000-27-S1773	1.20	6.40	2.50	3.60	14.40	15.65
5	CO-7000-15-S1773	1.05	3.93	2.55	2.81	11.24	12.20
6	CO-3000-21-S1773	0.90	4.83	2.15	1.74	6.96	7.66
7	CO-3000-24-S1773	0.90	5.30	2.15	1.74	6.96	7.66
8	CO-3000-21-S1773	0.90	4.83	2.15	1.74	6.96	7.66
9	CO-7000-24-S1773	1.15	5.30	2.60	3.44	13.76	14.91
10	CO-7000-15-S1773	1.05	3.93	2.55	2.81	11.24	12.20
11	CO-3000-27-S1773	0.90	5.72	2.20	1.78	7.12	7.82
PAS 12	CO-18000-15-PAS_SC	1.50	4.32	3.20	7.20	28.80	30.75

Tabla 18 - Cimentaciones

5.1.2 DISEÑO DEL CONDUCTOR DE FASE

El tramo de estudio para este apartado es el correspondiente al tramo aéreo de la línea:

- Tramo 1: Desde la subestación SET Corrales hasta el apoyo 12 PAS. Este tramo tiene una longitud de 3,11 km y simple circuito simplex

La potencia necesaria a transportar es la correspondiente que evacúen los parques eólicos Biota y Olite. La potencia máxima de diseño en MWn será de 144,25. Los generadores no están constantemente generando esta potencia, produciendo una potencia irregular a lo largo del día y dependiente de la estación del año. Los cálculos se realizarán para la potencia nominal máxima citada anteriormente, 144,25 MWn. El número de circuitos y el número de conductores por fase se seleccionaron en el anteproyecto por el cliente y serán uno en ambos casos. Sin embargo, si no se cumpliera con los límites de intensidad máxima admisible que se explicarán posteriormente, se podría cambiar esta configuración y llevar más conductores por fase.

Para la selección del conductor, se utilizará el catálogo *Conductores desnudos de aluminio-acero para líneas eléctricas de alta tensión* de Iberdrola. Por intensidad máxima admisible², los conductores que se podrían utilizar para este proyecto son los que están resaltados en amarillo en Ilustración 40:

² Se calculará la intensidad necesaria por el conductor como la intensidad máxima que recorre el conductor en régimen permanente: $I_{con} = \frac{144,25 \text{ MW}}{\sqrt{3} \cdot 220 \text{ kV}} \approx 379 \text{ A}$, al tratarse de un único circuito con un conductor por fase.

Designación	Designación antigua	Reglamento		Código
		Densidad de corriente	Intensidad de corriente	
		A/mm ²	A	
47-AL1/8-ST1A	LA 56	3,7	202	5463004
67-AL1/11-ST1A	LA 78	3,10	244	5463007
100-AL1/17-ST1A	==	2,76	320	5463116
107-AL1/18-ST1A	LA 125 PENGUIN	2,68	336	5463012
152-AL1/25-ST1A	LA 175 OSTRICH	2,42	429	5463017
147-AL1/34-ST1A	LA 180	2,33	424	5463020
242-AL1/39-ST1A	LA 280 HAWK	2,04	574	5463023
337-AL1/44-ST1A	LA 380 GULL	1,87	712	5463032
402-AL1/52-ST1A	LA 455 CONDOR	1,75	799	5463035
483-AL1/33-ST1A	LA 510 RAIL	1,70	882	5463038
485-AL1/63-ST1A	LA 545 CARDINAL	1,62	890	5463041
565-AL1/72-ST1A	LA 635 FINCH	1,51	960	5463047
806-AL1/56-ST1A	LA 860 LAPWING	1,25	1077	5463056

Ilustración 40 - Catálogo de Cables Aéreos de Iberdrola (Fuente: Iberdrola)

Se estudian para cada cable las pérdidas por **efecto corona**, ya que se ha elegido criterio de selección aquel cable que no provoque pérdidas de efecto corona en seco.

Efecto corona

El campo eléctrico en un conductor tiene forma radial y sentido saliente del eje del conductor, siendo el campo en el propio eje nulo, y creciente hasta alcanzar su máximo en la superficie del conductor, como se indica en Ilustración 41. Es decir, se produce un gran gradiente de potencial en la superficie del conductor de una línea eléctrica: $\vec{E} = -\nabla V$.

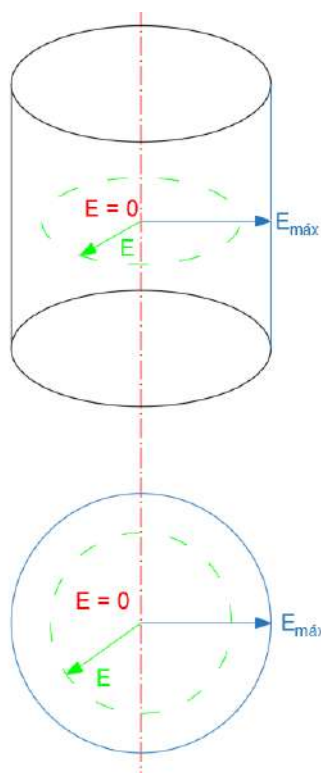


Ilustración 41 - Campo eléctrico en un conductor

Si el potencial del cable del conductor en la superficie es tal que rebasa la rigidez eléctrica del aire, el aire se comportará como conductor (en lugar de como aislante), provocando grandes pérdidas de potencia: **pérdidas por efecto corona**.

Este fenómeno se producirá cuando la tensión por el conductor supere la **tensión crítica disruptiva**. Se determinará esta tensión crítica por la **formulación de Peek** específica para un único circuito en simplex:

$$U_c = \frac{30}{\sqrt{2}} \cdot m_a \cdot m_c \cdot \delta \cdot r \cdot \ln \frac{DMG}{r} \text{ (kV}_{eficaz}\text{)} \quad E. 1 - \text{Tensión crítica disruptiva}$$

Donde:

- m_a : factor de corrección atmosférico. Toma el valor de 0,8 para tiempo lluvioso (condiciones húmedas) o tomará el valor 1 para condiciones secas.

$$m_{a, \text{ lluvioso}} = 0,8;$$

$$m_{a, \text{ seco}} = 1;$$

- m_c . factor de corrección del conductor. En este caso, tomará el valor 0,85, al ser un conductor formado por hilos.

$$m_c = 0,85;$$

- δ : Densidad relativa del aire respecto a 25°C y 760 mmHg según la expresión recogida en la UNE-EN 60071-2, siendo T_{amb} la temperatura ambiental, y h la altura media por donde discurre la línea en metros.

$$\delta = \frac{273+25}{273+T_{amb}} \cdot e^{-h/8150} \quad E. 2 - \text{Densidad relativa del aire}$$

Retomando la Tabla 8, donde se mostraban las coordenadas de los apoyos, añadiendo la altura útil de cada apoyo, se obtiene la Tabla 19:

N ° Apoyo	UTM (Huso 30N)
	Z
Pórtico SET Corrales	695,82
1	693,86
2	674,42
3	649,87
4	638,83
5	625,92
6	656,32
7	658,78
8	611,45
9	551,14
10	532,37
11	530,09
PAS 12	466,8
MEDIA	614,28

Tabla 19 - Latitud aproximada de los apoyos

Cálculo de la temperatura media ambiente³:

³ Fuente: [MeteoNavarra](#)

Mes	Días de lluvia	Días de no lluvia	Temperatura media (°C)	Temperatura días lluvia	Temperatura días no lluvia
E	14,4	16,6	5,5	5,11	5,89
F	12,6	15,4	6,5	5,85	7,15
M	13,5	17,5	9,3	8,10	10,50
A	16,3	13,7	11	11,95	10,05
M	15,9	15,1	14,7	15,08	14,32
J	10,1	19,9	18,5	12,46	24,54
J	7,7	23,3	21,1	10,48	31,72
A	8,3	22,7	21,4	11,46	31,34
S	9,7	20,3	18,1	11,70	24,50
O	13,7	17,3	13,9	12,29	15,51
N	15,2	14,8	9	9,12	8,88
D	14,8	16,2	6,1	5,82	6,38
MEDIA ANUAL	-	-	12,925	9,95	15,90

Tabla 20 - Temperatura media en Navarra, días de lluvia y no lluvia

Se concluye que se tomará una temperatura ambiente de 10°C para días lluviosos y 16° para días secos. Finalmente, utilizando la fórmula ya explicada, se obtiene un valor de densidad relativa del aire de:

$$\delta_{\text{lluvioso}} = 1,14;$$

$$\delta_{\text{seco}} = 1,11;$$

- r: Radio del conductor en centímetros. Dependerá del radio de cada conductor para cada caso.
- DMG: Diámetro medio geométrico en metros. De acuerdo con la configuración elegida en Ilustración 36, las distancias entre conductores son las siguientes:

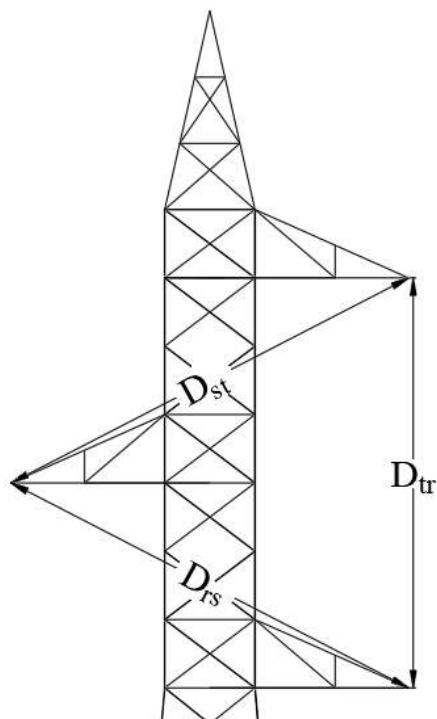


Ilustración 42 - Distancias entre conductores

Con $D_{rs} = D_{st} = 9,77 \text{ m}$ y $D_{tr} = 6,6 \text{ m}$, como se ha explicado en el apartado anterior.

Se calcula la distancia media geométrica:

$$DMG = \sqrt[3]{D_{rs} \cdot D_{st} \cdot D_{tr}} = \sqrt[3]{9,77 \cdot 9,77 \cdot 6,6} = 8,57 \text{ m E. 3 - DMG}$$

Se calcula mediante la $U_c = \frac{30}{\sqrt{2}} \cdot m_a \cdot m_c \cdot \delta \cdot r \cdot \ln \frac{DMG}{r} \text{ (kV}_{eficaz})$ E. 1 - Tensión crítica disruptiva para los conductores de estudio (Ilustración 40), obteniéndose los resultados que se reflejan en la Tabla 21:

Conductor	Tensión crítica disruptiva en ambiente seco (kV)	Tensión crítica disruptiva en ambiente húmedo (kV)
LA - 175	99,87	79,89
LA - 180	100,95	80,76
LA - 280	121,75	97,40
LA - 380	138,51	110,81

LA - 455	149,23	119,39

Tabla 21 - Tensiones críticas de cada conductor

Siendo la tensión simple más elevada de los conductores de esta línea:

$$Us_{f-n} = \frac{245}{\sqrt{3}} \text{ kV} = 141,45 \text{ kV}$$

Se obtiene el siguiente gráfico de tensiones, donde se muestra la tensión más elevada de la red y la tensión crítica disruptiva por cada conductor.

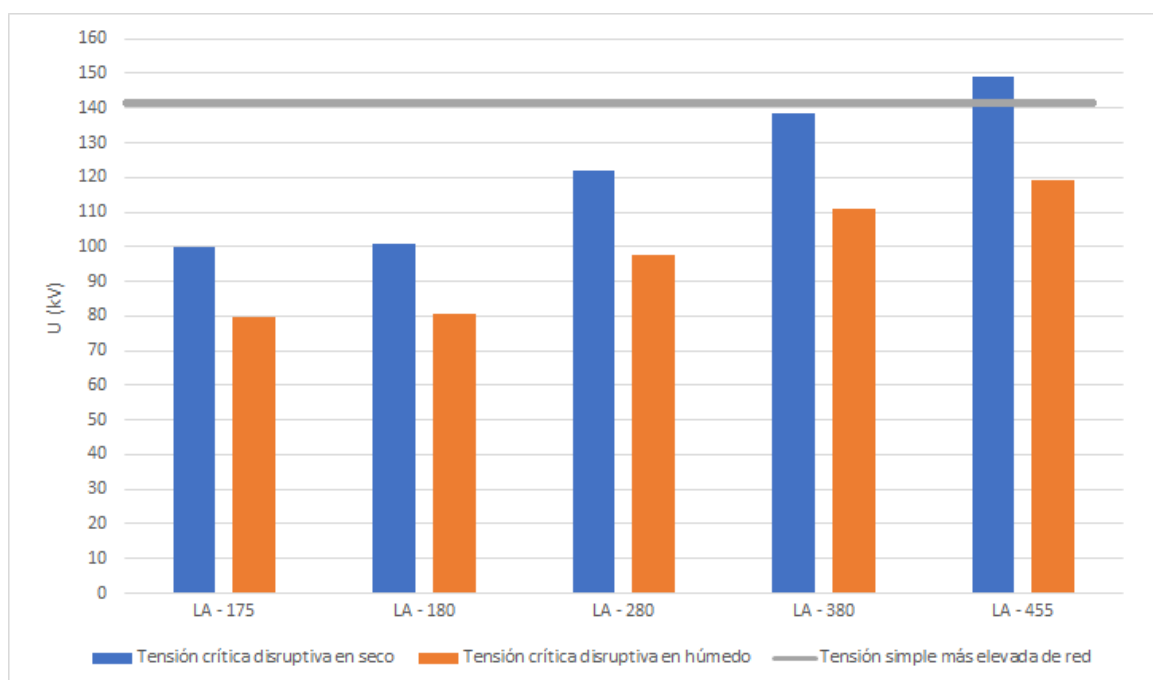


Tabla 22 - Tensiones críticas de cada conductor

Como se puede observar, se ha parado de evaluar conductores una vez se haya obtenido una tensión crítica disruptiva en seco mayor a la tensión simple más elevada de la red: **este conductor no tendrá pérdidas por efecto corona en seco**. El conductor elegido para la línea L/220 kV SET Corrales – SET Promotores Olite será un conductor **CÓNDOR LA – 455**.

Las pérdidas por efecto corona (por unidad lineal) se determinan mediante la siguiente expresión, que es específica para un único circuito en simplex:

$$P_{co} = 3 \cdot \left(\frac{241}{\delta} \right) \cdot (f + 25) \cdot \sqrt{\frac{r}{DMG}} \cdot (U_{sf-n} - U_c)^2 \cdot 10^{-5} \left(\frac{kW}{km} \right)$$

Donde:

- P_{co} : pérdidas de potencia por efecto corona por unidad de longitud.
- δ : retomando la $\delta = \frac{273+25}{273+T_{amb}} \cdot e^{-h/8150}$ E. 2:

$$\delta_{lluvioso} = 1,14;$$

$$\delta_{seco} = 1,11;$$

- f : es la frecuencia de operación de la línea en Hz, en este caso, al ser un sistema español, la frecuencia de la red es de 50 Hz:

$$f = 50 \text{ Hz};$$

- r : es el radio del conductor en metros.

$$r = 0,0139 \text{ m};$$

- DMG : es la distancia media geométrica entre fases en metros. Como se ha explicado anteriormente:

$$DMG = 8,57 \text{ m};$$

- U_{sf-n} : es la tensión simple más elevada en kV.

Para una red de 220 kV, de acuerdo con la ITC 07 la tensión más elevada son 245 kV, implica:

$$U_{sf-n} = \frac{245 \text{ kV}}{\sqrt{3}} = 141,45 \text{ kV}$$

- U_c : es la tensión crítica disruptiva en kV, que son las representadas en Tabla 21.

Las pérdidas instantáneas de efecto corona para cada cable marcado en amarillo en la Ilustración 40 se presentan en la Tabla 23:

<i>Pérdidas corona (kW)</i>	<i>Seco</i>	<i>Húmedo</i>
LA - 175	101	222
LA - 180	96	217
LA - 280	25	127
LA - 380	10	67
LA - 455	0	35

Tabla 23: Pérdidas por efecto corona

Estos datos se ven representados gráficamente en la Ilustración 43:

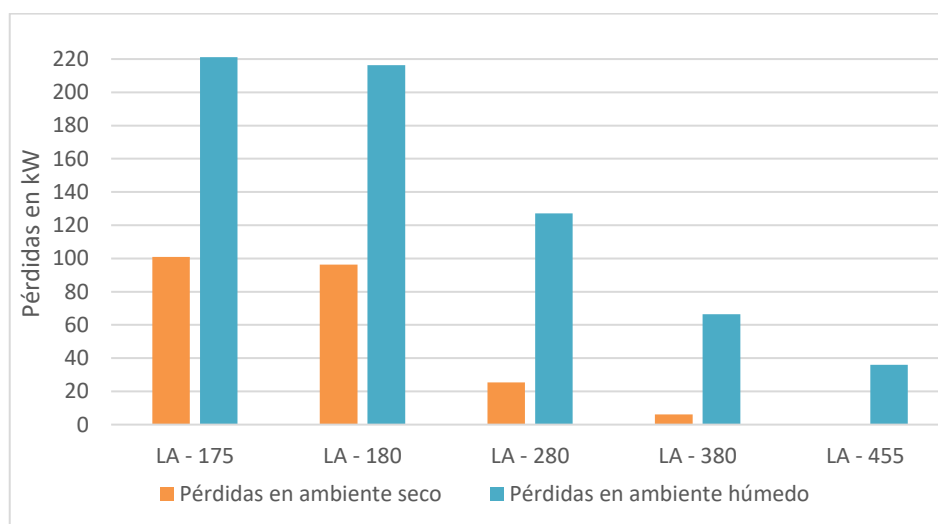


Ilustración 43 - Pérdidas por efecto corona en cada conductor

Una vez seleccionado el conductor, es menester comprobar que entra dentro de la normativa técnica.

El apartado 4. CÁLCULOS ELÉCTRICOS de la Normativa Técnica ITC-LAT 07 determina la densidad de corriente máxima de los conductores en régimen permanente mediante la siguiente tabla:

Sección nominal mm ²	Densidad de corriente A/mm ²		
	Cobre	Aluminio	Aleación de aluminio
10	8,75		
15	7,60	6,00	5,60
25	6,35	5,00	4,65
35	5,75	4,55	4,25
50	5,10	4,00	3,70
70	4,50	3,55	3,30
95	4,05	3,20	3,00
125	3,70	2,90	2,70
160	3,40	2,70	2,50
200	3,20	2,50	2,30
250	2,90	2,30	2,15
300	2,75	2,15	2,00
400	2,50	1,95	1,80
500	2,30	1,80	1,70
600	2,10	1,65	1,55

Ilustración 44: densidad de corriente (Fuente: ITC - 07)

Como el conductor seleccionado en este caso se trata de una aleación de aluminio acero, es necesario aplicar un coeficiente corrector determinado por la misma normativa. Dada la configuración del cable:

Designación	Designación antigua	Secciones			Número de alambres		Código
		AL1	ST1A	Total	AL1	ST1A	
		mm ²	mm ²	mm ²	n°	n°	
402-AL1/52-ST1A	LA 455 CONDOR	402,3	52,2	454,5	54	7	5463035

Ilustración 45 - Configuración del cable LA 455 (Fuente: Cables aéreos de Iberdrola)

Para una composición 54 + 7 el coeficiente reductor será 0,95. De esta forma, se resumen las características de la densidad de corriente en la Tabla 24:

CONDUCTOR LA-455	
Densidad de Corriente (A/mm ²)	1,87
Coeficiente corrector	0,95

CONDUCTOR LA-455	
Corriente máxima (A)	799

Tabla 24 - características de intensidad del conductor LA - 455

La máxima potencia de transporte de la línea se determinará mediante la siguiente expresión, que es específica para líneas de un único circuito simplex:

$$S_{m\acute{a}x} = \sqrt{3} \cdot U \cdot I_{adm}$$

Donde:

- U: Tensión nominal compuesta de la línea (kV), en el caso de estudio:

$$U = 220 \text{ kV};$$

- I_{adm} : Intensidad máxima admisible del conductor (kA)

$$I_{adm} = 0,799 \text{ kA};$$

Por tanto, la potencia máxima de transporte para las condiciones de diseño de la línea es:

$$S_{m\acute{a}x} = 305 \text{ MVA};$$

Como la potencia máxima de transporte para las condiciones de diseño es mayor a la potencia máxima que se requiere transportar, el **conductor seleccionado cumple con la normativa**.

De esta forma, quedan definidas las características eléctricas del conductor del tramo aéreo:

Tipo	LA – 455 CONDOR-ACSR
Material	Aluminio – Acero recubierto
Diámetro (mm).....	27,72
Sección total (mm ²).....	454,5
Composición del conductor.....	54+7
Peso (daN/m).....	1,491
Carga de rotura (daN).....	12.544
Módulo de elasticidad (daN/mm ²)	6.900

Coeficiente de dilatación lineal ($^{\circ}\text{C}^{-1}$)	19,3·10 ⁻⁶
Resistencia eléctrica con C.C. a 20°C (Ω/Km).....	0,0718
Intensidad máxima admisible (A)	799

5.1.3 CABLE DE FIBRA ÓPTICA

De acuerdo con lo requerido por Red Eléctrica de España el cable deberá tener 96 fibras de comunicaciones a la llegada a la subestación de Olite (REE).

Para cumplir con un cable que cumpla con estas especificaciones, se ha utilizado el catálogo de Prysmian *OPGW and ADSS Fiber Cable For Overhead Transmission Lines*. El cable de fibra óptica seleccionado ha sido un OPGW 84P81 (7632), al que a partir de ahora denominaremos OPGW a lo largo del proyecto. Para este cable, se necesitará colocar cajas de empalme cada 1,5 km, aproximadamente.

Las características del cable son las siguientes:

Denominación	OPGW 84P81 (7632)
N.º de fibras.....	96
Corriente máxima de falta 2s (kA).....	277
Sección total (mm ²).....	181,8
Diámetro total (mm).....	18,4
Peso del cable (kg/m)	0,798
Carga de rotura (kg)	10473,3
Módulo de elasticidad(daN/mm ²)	11.410
Coeficiente de dilatación lineal ($^{\circ}\text{C}^{-1}$)	14,8·10 ⁻⁶

5.1.4 AISLADORES

Para el diseño de los aisladores, se utilizará el catálogo de LaGranjaInsulators, *Aisladores de Vidrio*. Los aisladores de vidrio son más baratos que los de porcelana, pero tienen la desventaja de que el coeficiente de dilatación del vidrio es mayor al de la porcelana: se comporta peor ante el mismo cambio de temperatura. Sin embargo, al ser transparentes

ofrecen un control visual más directo, y es por ello por lo que son más utilizados que los de porcelana.

El diseño de los aisladores depende de un parámetro fundamental: **la línea de fuga**.

Se define línea de fuga como la distancia mínima en la superficie del aislador entre dos partes conductoras.

Para determinar la línea de fuga, es necesario conocer el nivel de contaminación de la zona en la que se situarán los aisladores. Es decir, el nivel de contaminación de la zona de la traza. Estos niveles de contaminación están definidos en el apartado 4.4 *Coordinación de aislamiento* de la ITC – 07, y se presentan en la Tabla 25:

Nivel de contaminación	Ejemplos de entornos típicos	Línea de fuga específica nominal mínima mm/kV ¹⁾
I Ligero	- Zonas sin industrias y con baja densidad de viviendas equipadas con calefacción. - Zonas con baja densidad de industrias o viviendas, pero sometidas a viento o lluvias frecuentes. - Zonas agrícolas 2) - Zonas montañosas - Todas estas zonas están situadas al menos de 10 km a 20 km del mar y no están expuestas a vientos directos desde el mar 3)	16,0
II Medio	- Zona con industrias que no producen humo especialmente contaminante y/o con densidad media de viviendas equipadas con calefacción. - Zonas con elevada densidad de viviendas y/o industrias pero sujetas a vientos frecuentes y/o lluvia. - Zonas expuestas a vientos desde el mar, pero no muy próximas a la costa (al menos distantes bastantes kilómetros)3).	20,0
III Fuerte	- Zonas con elevada densidad de industrias y suburbios de grandes ciudades con elevada densidad de calefacción generando contaminación. - Zonas cercanas al mar o en cualquier caso, expuestas a vientos relativamente fuertes provenientes del mar 3).	25,0
IV Muy fuerte	- Zonas, generalmente de extensión moderada, sometidas a polvos conductores y a humo industrial que produce depósitos conductores particularmente espesos. - Zonas, generalmente de extensión moderada, muy próximas a la costa y expuestas a pulverización salina o a vientos muy fuertes y contaminados desde el mar. - Zonas desérticas, caracterizadas por no tener lluvia durante largos periodos, expuestas a fuertes vientos que transportan arena y sal, y sometidas a condensación regular.	31,0

Tabla 25 - Niveles de contaminación (Fuente: ITC - 07)

Las condiciones del área de Navarra donde se ubicará la línea corresponden a un nivel de contaminación entre 1 o 2; se le propuso al cliente un nivel de contaminación 2, pero fue exigido el diseño con nivel de contaminación 3. Por lo tanto, la línea de fuga mínima por kilovoltio será de 25 mm, que corresponde a una línea de fuga mínima de:

$$l_{fuga\ mín} = 25 \frac{mm}{kV} * U_{máx} = (25 \frac{mm}{kV} * 245\ kV) = 6125\ mm,$$

ya que la tensión máxima para una línea de 220 kV es de 245 kV.

Considerando una tracción máxima por conductor correspondiente a la carga máxima admisible un 40% de la carga de rotura (12.400 daN) en cadenas de amarre, se deberá garantizar que el coeficiente de seguridad de la cadena de aislamiento es superior a 2,5⁴.

$$C_s = \frac{Carga_{rotura\ aislador}}{0,4 * Carga_{rotura\ conductor}} = \frac{Carga_{rotura\ aislador}}{0,4 * 12.400} > 2,5$$

Esto implica que la carga de rotura del aislador deberá ser mayor a 124 kN.

La carga mínima de rotura mecánica de los aisladores del catálogo puede ser las siguientes.
40 kN, 70 kN, 100 kN, 120 kN, **160 kN**, 210 kN, 240 kN, 300 kN y 400 kN.

Por lo tanto, el aislador seleccionado tendrá una carga de rotura de 160 kN mínima, mayor a 124 kN. Al no estar la traza situada en zonas de contaminación alta o terreno desértico, el aislador será el que tenga carga de rotura mínima de 160 kN estándar, que responde a la denominación U 160 BS. Sus características se presentan en la Tabla 26:

AISLADOR	Línea de fuga (mm)	Paso (mm)	Diámetro (mm)	Carga de Rotura (kN)	Peso (kg)	Unión Normalizada
U 160 BS	380	146	280	160	5,9	20

Tabla 26 - Características del aislador U 160 BS

⁴ Límite que especifica la Instrucción Técnica Complementaria ITC LAT-07 LÍNEAS AÉREAS CON CONDUCTORES DESNUDOS.

Cadenas de suspensión

El número de aisladores en cadenas de suspensión se calcula como el cociente entre la línea de fuga total y la línea de fuga del aislador:

$$N^{\circ}_{\text{aisladores}} = \frac{L_{\text{fuga}}}{L_{\text{fuga, aisladores}}} = \frac{6.125 \text{ mm}}{380 \text{ mm}} = 16,1 \rightarrow N^{\circ}_{\text{aisladores}} = \mathbf{17};$$

Por ello, **las cadenas de suspensión** estarán formadas por una fila de 17 aisladores U 160 BS, lo cual garantiza los niveles de aislamiento de la línea.

$$L_{\text{fuga, línea}} = \mathbf{17 \text{ aisladores} \cdot 380 \text{ mm} = 6.460 \text{ mm}}$$

La longitud final de cada cadena de aisladores de suspensión es de 3,08 m, como se demostrará en el siguiente apartado (5.1.5).

El coeficiente de seguridad en cadenas de suspensión se obtiene como el cociente entre la carga nominal de rotura del aislador, 160 kN, y los valores tensión correspondiente a los valores de eolovano y gravivano máximos de la línea. Estos valores se calculan en el apartado de

Cálculos mecánicos.

$$CS = \frac{16.000}{\sqrt{(V \cdot p_v)^2 + (P \cdot p_c)^2}} = 11,3 > 2,5$$

- V: Máximo vano viento para apoyos de suspensión: **296 m**. P_v : sobrecarga debida al viento: **2,41 daN/m**.
- P: Máximo vano peso para apoyos de suspensión: **821 m**. P_c : resultante del peso del conductor: **1,49 daN/m**.

Cadenas de amarre

Las cadenas de amarre llevarán dos aisladores más que las de suspensión por razones operativas de mantenimiento de la línea. Resultando en una línea de fuga aún mayor:

$$L_{fuga,amarre} = 19 \text{ aisladores} \cdot 380 \text{ mm} = 7.220 \text{ mm}$$

Se comprueba, una vez más, el coeficiente de seguridad:

$$C_s = \frac{Carga_{rotura,aislador}}{0,4 * Carga_{rotura,conductor}} = \frac{16.000}{0,4 * 12.400} = 3,3 > 2,5$$

En conclusión, las características del aislamiento son las siguientes:

Se utilizarán cadenas de aislamiento de vidrio compuestas por aisladores tipo U160BS.

Denominación	U160BS
Paso (mm)	146
Diámetro (mm).....	280
Línea de fuga (mm).....	380
Carga mecánica (daN).....	16.000
Unión normalizada IEC-60120	20
Tensión soportada a 50 Hz bajo lluvia (kV)	45
Tensión soportada Impulso tipo rayo en seco (kV).....	110

5.1.5 HERRAJES

El objetivo de los herrajes es la unión del apoyo y el conductor o cable de tierra. El herraje debe de soportar la carga de rotura del aislador; en este caso 160 kN. Los herrajes se obtendrán del catálogo de *Industrias Arruti*.

5.1.5.1 Herrajes para el conductor

Para que los distintos componentes de los herrajes encajen de forma correcta, todos deben de tener la misma norma. Como en este caso el aislador es de norma 20 (véase la Tabla 26), los demás elementos también lo serán. Además, deben de soportar, al menos, la misma carga de rotura que el aislador, por lo que su carga de rotura debe de ser mayor a 160 kN⁵.

Cadenas de suspensión

Los elementos que forman una cadena de suspensión son: grillete recto, anilla de bola de protección, descargador, aislador, rótula de protección, raqueta de protección, y grapa de suspensión. Se han elegido de acuerdo con lo explicado: misma norma y carga de rotura mayor a 160 kN. La cadena de aisladores resulta:

Denominación	Cantidad	Carga de Rotura (kN)	Designación	Longitud unidad (m)	Longitud (m)	Peso unidad (kg)	Peso (kg)
Grillete normal N20	1	210	GN-20	0,094	0,094	1,000	1,000
Anilla de bola de protección N20	1	180	AB-20 P	0,170	0,170	1,15	1,150
Descargador	1	-	D-37 / 11	0,375	0,00	0,90	0,900
Aisladores N20	17	160	U 160 BS	0,146	2,482	5,90	100,300
Rótula larga de protección N20	1	180	R-20-P	0,105	0,105	1,550	1,550

⁵ Aunque es cierto que varios elementos que componen las cadenas, como la grapa de suspensión, no necesitan superar el 100% de la carga de rotura, con un 60% es suficiente (Fuente: [LikiNormas](#)). Se ha optado por un enfoque más conservador, guardando un 100% en cada caso.

Raqueta de protección	1	-	RA-37 / 16	0,375	0,00	2,50	2,500
Grapa de suspensión armada	1	120	GAS-7 / 28	0,080	0,080	6,95	6,950
TOTAL					3,081		114,35

Tabla 27 - Cadenas de suspensión

La longitud de la cadena de aisladores debe de cumplir, de acuerdo con la ITC – 07 que:

$$1,1 \cdot As < D_{add} + D_{el}$$

Con un valor de D_{add} de 3,5 m para tensiones de 220 kV y $D_{el} = 1,7$:

$$As < \frac{1,7 + 3,5}{1,1} = 4,4 \text{ m}$$

Por lo que cumple con normativa.

Se observa en la Ilustración 46 la cadena descrita:

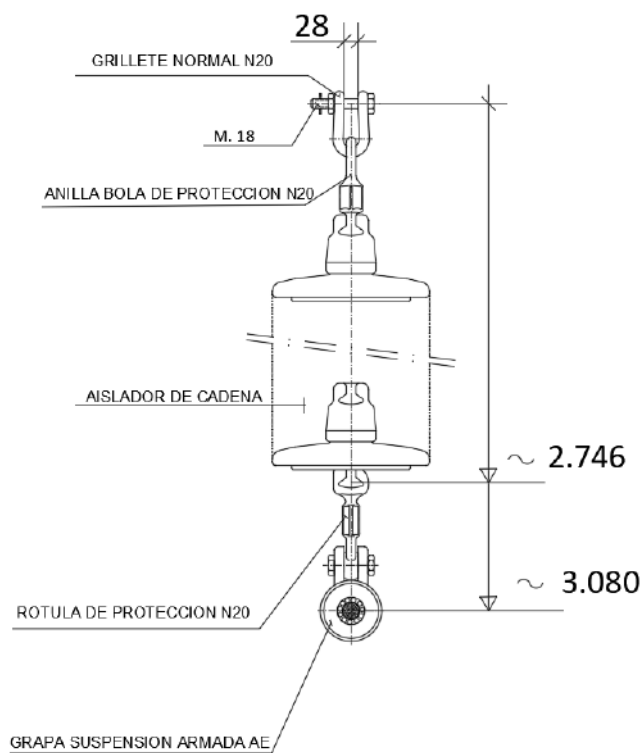


Ilustración 46 - Cadena de suspensión

Cadenas de amarre

Los elementos de una cadena de amarre son: grillete recto, eslabón, tensor de corredera, horquilla de bola de protección, descargador, aisladores, rótula de protección, raqueta de protección, horquilla revirada y grapa de amarre. Realizando un análisis paralelo al de la cadena de suspensión, los elementos resultan:

<i>Denominación</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Carga de Rotura</i>	<i>Designación</i>	<i>Longitud unidad (m)</i>	<i>Longitud (m)</i>	<i>Peso unidad (kg)</i>	<i>Peso (kg)</i>
Grillete recto	2	21.000,00	GN-20	0,09	0,19	1,00	2,00
Eslabón N20	1	21.000,00	ESP-20	0,09	0,09	0,60	0,60
Tensor de corredera N20	1	21.000,00	T-2	0,51	0,51	5,80	5,80
Horquilla bola de protección N20	1	18.000,00	HBP-20	0,091	0,05	0,95	0,95

Denominación	Cantidad	Carga de Rotura	Designación	Longitud unidad (m)	Longitud (m)	Peso unidad (kg)	Peso (kg)
Descargador	1	-	D-37 / 11	0,375	0,00	0,90	0,900
Aisladores	19	16.000	U 160 BS	0,146	2,774	5,90	112,10 0
Rótula larga de protección N20	1	21.000,0 0	R-20-P / 21	0,11	0,11	1,60	1,60
Raqueta de protección	1	-	RA-37 / 16	0,375	0,00	2,50	2,50
Horquilla revirada N20 AE	1	18.000,0 0	HR-20 / E	0,080	0,04	1,10	1,10
Grapa de amarre a compresión AE	1	-	C-455 (SERIE K)	0,700	0,35	3,5	3,50
TOTAL					4,099		131,05 0

Tabla 28 - Cadena de amarre

La cadena descrita es la siguiente:

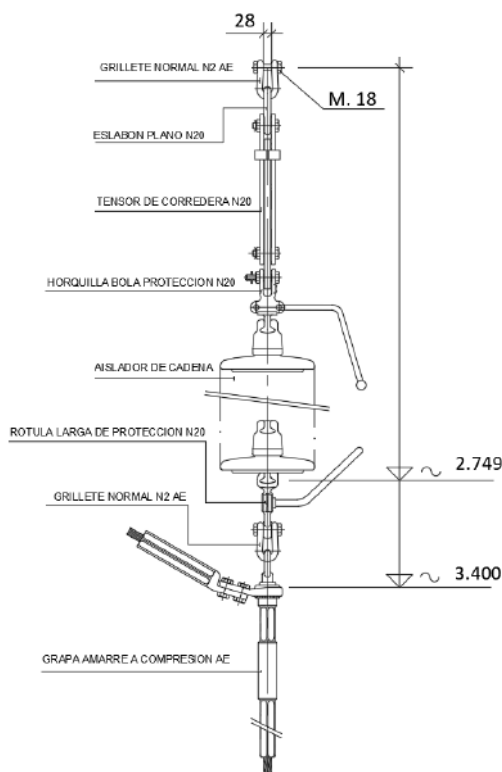


Ilustración 47 - Cadena de amarre

5.1.5.2 Herrajes para fibra óptica

Suspensión

Las cadenas de suspensión en los cables de fibra óptica tienen que cumplir el siguiente coeficiente de seguridad:

$$CS = \frac{CR}{\sqrt{(V \cdot p_v)^2 + (P \cdot p_c)^2}} = > 2,5$$

- CR: carga de rotura de la cadena de suspensión
- V: Máximo vano viento para apoyos de suspensión: **296 m**. P_v : sobrecarga para esa hipótesis, en este caso, viento. $P_v = 1,58 \text{ daN}$.
- P: Máximo vano peso para apoyos de suspensión: **953 m**. P_c : peso del conductor, $P_c = 0,77 \text{ daN}$.

De donde se deduce que la carga de rotura de la cadena de suspensión debe de ser mayor a 2.175 daN. Para los cables de fibra óptica se elegirá una carga de rotura de la cadena de suspensión será de 6.000 daN:

$$CS = \frac{6.000}{\sqrt{(V \cdot p_v)^2 + (P \cdot p_c)^2}} = 6,9 > 2,5$$

Denominación	Cantidad	Carga de Rotura (daN)	Designación	Longitud unidad (m)	Longitud (m)	Peso unidad (kg)	Peso (kg)
Grillete normal recto GN-16	1	13.500	GN-16	0,068	0,068	0,500	0,500
Eslabón revirado ER-16	1	12.500	ER-16	0,105	0,105	0,475	0,475
Grapa GSA para F.O 14/18 mm	1	8.500	GAS-4/F.O/18	0,375	1,800	2,624	2,624
Cable de fibra óptica OPGW 96 F	-	10.473	OPGW 96	-	0,000	-	-
TOTAL					2,123		3,599

Tabla 29 - Cadena de suspensión (F.O.)

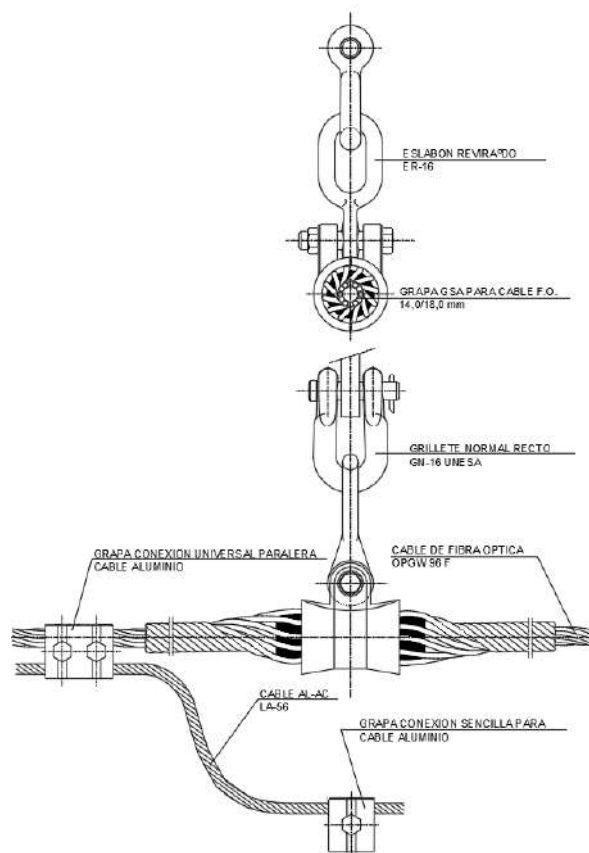


Ilustración 48 - Cadena de suspensión (F.O.)

Cadenas de amarre bajante

Los componentes de la cadena de amarre deben de soportar, por lo menos, el 75% de la carga de rotura del OPGW. Es decir, la carga de rotura debe de ser mayor:

$$CR > 0,75 * 10.474 \text{ daN} = 7.855 \text{ daN}$$

Los elementos escogidos son los siguientes:

Denominación	Cantidad	Carga de Rotura (daN)	Designación	Longitud unidad (m)	Longitud (m)	Peso unidad (kg)	Peso (kg)
Grillete normal recto GN-16	2	13.500	GN-16	0,068	0,136	0,500	1,000
Eslabón revirado ER-16	2	12.500	ER-16	0,105	0,210	0,475	0,950

Denominación	Cantidad	Carga de Rotura (daN)	Designación	Longitud unidad (m)	Longitud (m)	Peso unidad (kg)	Peso (kg)
Tensor de corredera T-1	2	13.500	T-1	0,50	1	3,4	6,8
Guardacabos G-16	2	12.500	G-16	0,1	0,2	0,77	1,54
Cable de fibra óptica OPGW 96 F	-	10.473	OPGW 96	-	-	-	-
Retención perforada RAAW FO	2,000	12.000	R-20-P	1,38	2,76	-	-
Empalme de protección EPAW FO	2,000	12.000	RA-37 / 16	2,6	5,2	-	-
TOTAL					9,656		10,290

Tabla 30 - Cadena de amarre bajante

La cadena descrita es la siguiente:

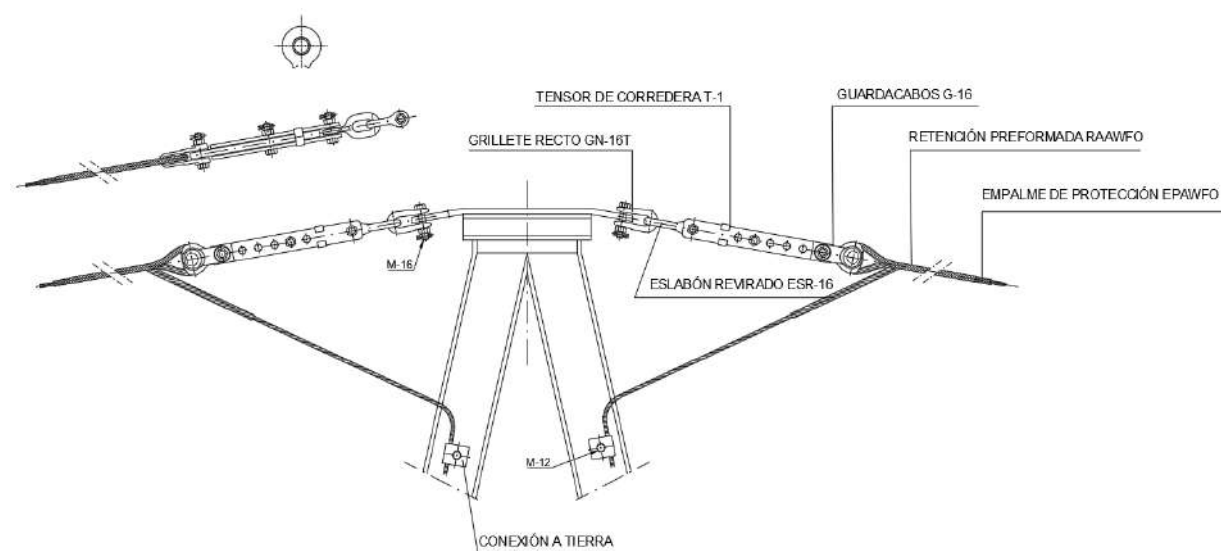


Ilustración 49 - Cadena de amarre bajante (F.O.)

Cadenas de amarre pasante

Por otro lado, la cadena de amarre pasante se describe de la siguiente manera:

Denominación	Cantidad	Carga de Rotura (daN)	Designación	Longitud unidad (m)	Longitud (m)	Peso unidad (kg)	Peso (kg)
Grillete normal recto GN-16	2	13.500	GN-16	0,068	0,136	0,500	1,000
Eslabón revirado ER-16	2	12.500	ER-16	0,105	0,210	0,475	0,95
Tensor de corredera T-1	2	13.500	T-1	0,500	1	3,4	6,8
Guardacabos G-16	2	12.500	G-16	0,100	0,2	0,77	1,54
Cable de fibra óptica OPGW 96 F	-	10.473	OPGW 96	-	0,000	-	-
Retención perforada RAAW FO	2,000	12.000	R-20-P	1,38	2,76	-	-
Empalme de protección EPAW FO	2,000	12.000	RA-37 / 16	2,6	5,2	-	-
TOTAL					9,656		10,290

Tabla 31 - Cadena de amarre pasante

Que corresponde con la cadena descrita:

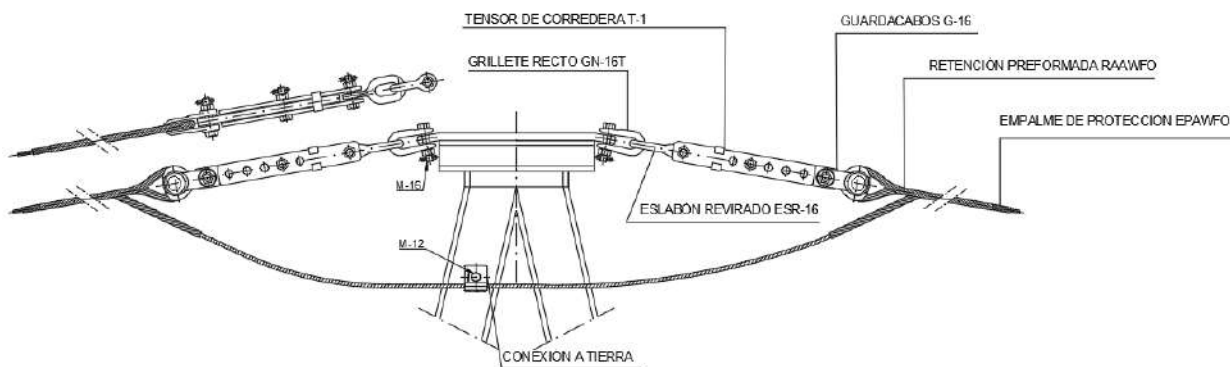


Ilustración 50 - Cadena de amarre pasante (F.O.)

5.1.6 PUESTA A TIERRA

El proceso de selección de puesta a tierra de un sistema eléctrico es el siguiente:

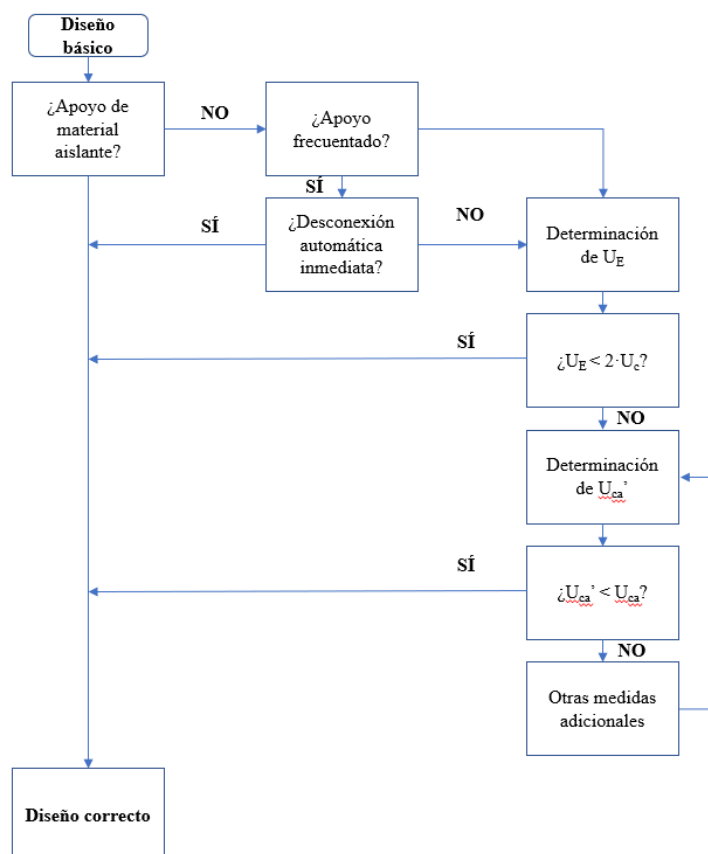


Ilustración 51 - Sistema de elección de puesta a tierra

Como los apoyos son torres metálicas, el diseño de la puesta a tierra de los apoyos requiere de una diferenciación de apoyos: apoyos frecuentados y apoyos no frecuentados. La ITC – 07 los define de la siguiente forma:

- **Apoyos Frecuentados:** Se considerarán apoyos frecuentados todos aquellos apoyos situados en suelos clasificados como urbanos o urbanizables programados en los Planes de Ordenación del Territorio.
- **Apoyos No Frecuentados:** Se considerarán no frecuentados los apoyos que no se puedan incluir como frecuentados según lo indicado anteriormente.

No frecuentados

Se ha seleccionado como puesta a tierra de los apoyos no frecuentados 2 picas de difusión vertical de 2 m de longitud y 14 mm de diámetro, como se muestra en la figura:

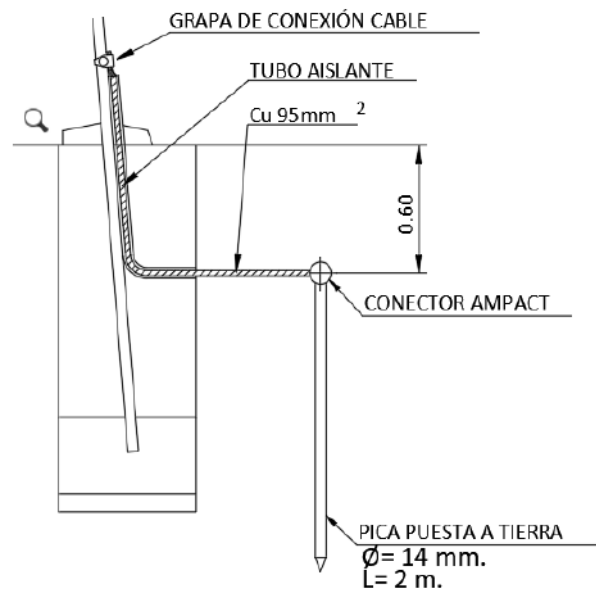


Ilustración 52 - Pica de puesta a tierra

Como mediante las picas de puesta a tierra se puede garantizar la desconexión inmediata, no será necesario calcular las tensiones de paso y de contacto.

Frecuentados

Por otro lado, para los apoyos frecuentados se ha elegido como sistema de puesta a tierra un anillo difusor de cobre desnudo de 50 mm² de sección y 4 picas de difusión vertical de 2 m de longitud y 14 mm de diámetro. Como se ha indicado previamente, se garantizará el cumplimiento de la tensión de paso y de contacto.

La **tensión de contacto** es la diferencia de potencial que sufre el cuerpo humano al tocar un elemento conductor cuando por el circula corriente de falta. Por otro lado, la **tensión de paso**

es la diferencia de potencial entre los pies de una persona que se encuentre a un metro del conductor en falta.

La tensión de contacto se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$U_c = U_{ca} \cdot \left(1 + \frac{R_{a1} + 1,5\rho_s}{1.000}\right)$$

Por otro lado, la tensión de paso se calcula de la siguiente manera:

$$U_p = U_{pa} \cdot \left(1 + \frac{4 \cdot R_{a1} + 4 \cdot R_{a2}}{1.000}\right)$$

Donde:

- R_{a1} : resistencia del calzado, aproximadamente de **2.000 Ω** .

$$R_{a1} = 2.000 \Omega;$$

- ρ_s : resistividad superficial del terreno. Como el anillo de cobre seleccionado no permite resistividades mayores a **200 Ω/m** , se utilizará este valor de resistividad para evaluar el caso límite.

$$\rho_s = 200 \Omega/m;$$

- R_{a2} : resistencia de contacto entre suelo y electrodo, se calcula como $3 \rho_s$.

$$R_{a2} = 600 \Omega/m;$$

Por otro lado, los valores de las tensiones de contacto aplicadas admisibles U_{ca} están normalizadas:

Duración de la corriente de falta, t_F (s)	Tensión de contacto aplicada admisible, U_{ca} (V)
0.05	735
0.10	633
0.20	528
0.30	420
0.40	310
0.50	204
1.00	107
2.00	90
5.00	81
10.00	80
> 10.00	50

Ilustración 53 - RLAT, R.D. 223/2008 de 15 de febrero

Las líneas de alta tensión de distribución se protegen con protecciones a distancia, que tienen un tiempo de actuación inferior a 0,4 s. Por ello, se estudiará este caso como límite.

Siendo la tensión de contacto máxima aplicada U_{pa} 10 veces el orden de U_{ca} , se calculan las expresiones descritas:

t_F (s)	U_{ca} (V)	U_c calzado (V)	U_c descalzo (V)	U_{pa} (V)	U_p (V)	$2 \cdot U_c$ (V)
0,05	735	1690,5	955,5	7350	45570	3381
0,1	633	1455,9	822,9	6330	39246	2911,8
0,2	528	1214,4	686,4	5280	32736	2428,8
0,3	420	966	546	4200	26040	1932
0,4	310	713	403	3100	19220	1426

Tabla 32 - Tensiones de paso y contacto

Por lo tanto, la tensión U_E , tensión de puesta a tierra, debe de ser inferior a la última columna de esta tabla. No se estudia para el caso de una persona descalza, ya que de acuerdo con normativa no es necesario: no se cruzan pantanos, playas, campings ni similares.

El objetivo es calcular dicha tensión U_E , y poder compararla con $2U_c$.

La tensión de falta se calcula como la intensidad que circula por la tierra en caso de falta multiplicada por la impedancia que hay en la tierra en caso de falta.

$$\vec{U}_E = \vec{I}_E \cdot \vec{Z}_{total}$$

Se calculará esta tensión para condiciones de falta monofásica franca, ya que es la que constituye más del 80% de las faltas anuales en España. Para ello, se hará uso de los diagramas de secuencia:

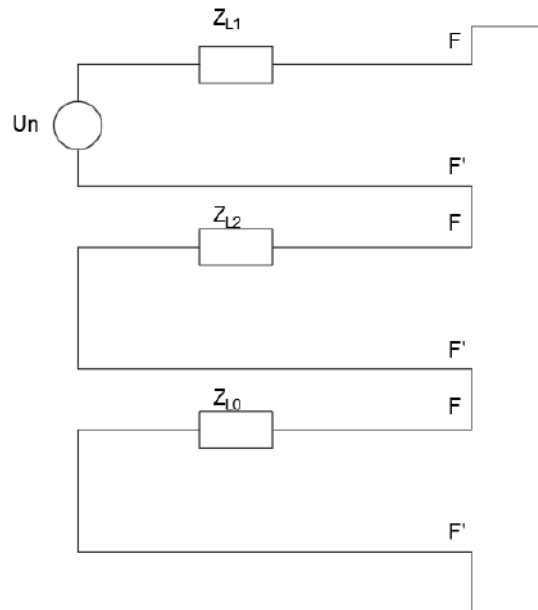


Ilustración 54 - Falta monofásica en 012

Donde:⁶

- $Z_{L1'} = Z_{L2'} = 0,0771 + j \cdot 0,4191 \Omega/km$
- $Z_{L0'} = 0,1331 + j \cdot 0,9797 \Omega/km$
- $U_n = \frac{220}{\sqrt{3}} kV$

Teniendo en cuenta que la longitud de la línea es de 3,11 km, se obtiene una intensidad de falta en sistema trifásico RST de:

$$I_{f012} = \frac{\frac{220.000}{\sqrt{3}}}{2 \cdot Z_{L1} + Z_{L0}} \rightarrow I_{fRST} = 3 \cdot I_{f012} = 22 kA < -81^\circ.$$

⁶ Estos parámetros se calculan en detalle más adelante, en el apartado de Cálculos eléctricos.

Sin embargo, esta no es la intensidad que se desvía a tierra:

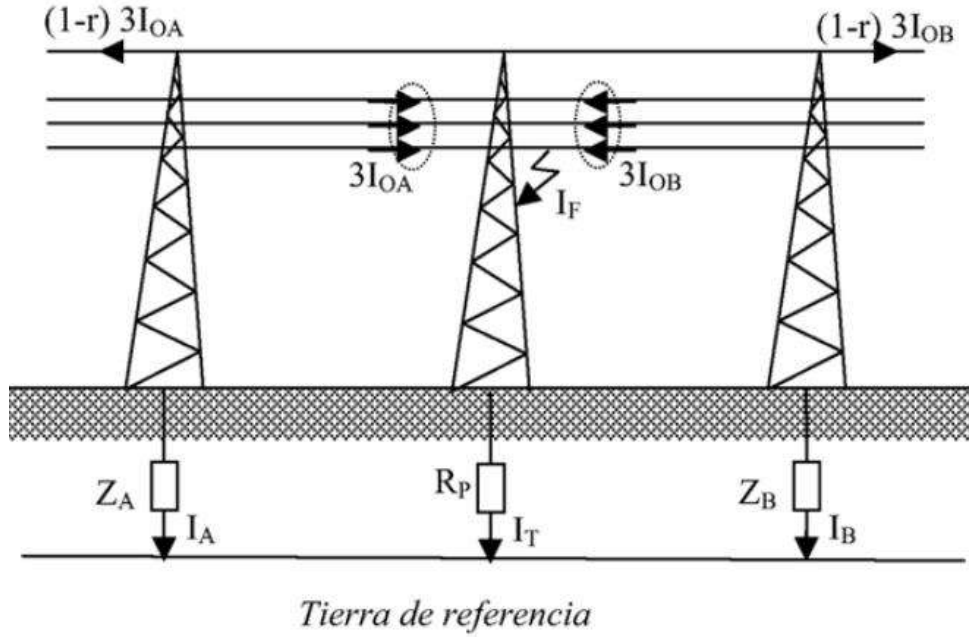


Ilustración 55 – Intensidades de falta (Fuente: RLAT, R.D. 223/2008 de 15 de febrero)

Atendiendo al diagrama anterior, se demuestra que la intensidad que se desvía a tierra desde la falta es $\vec{I}_E = \vec{r} * \vec{I}_F$. Y que la impedancia de tierra es $Z_{total} = \frac{1}{\frac{1}{R_p} + \frac{2}{Z_p}}$. Con $Z_A = Z_B = Z_p$.

Será necesario, por lo tanto, calcular el parámetro $\vec{r}$:

$$\vec{r} = \frac{3 \cdot \vec{I}_0 - \vec{I}_0'}{\vec{I}_0}$$

Que depende a su vez del parámetro $\vec{I}_0'$:

$$\vec{I}_0' = k \cdot \vec{I}_0$$

$$k = \frac{\vec{Z}_{aw0} + \vec{Z}_{bw0} + \vec{Z}_{cw0}}{\vec{Z}_{ww0}}$$

Estos valores de impedancia se han calculado en detalle en el apartado de Cálculos eléctricos.

Los resultados se plasman en la Tabla 33:

k	r	$I_E (A)$
2,83	0,056	1232 <-81°

Tabla 33 - Cálculo de parámetros

Por otro lado, para el cálculo de la resistencia de falta a tierra necesitamos calcular la resistencia del anillo de cobre. Para ello, se hará uso de la siguiente tabla:

Forma del electrodo	Profundidad del anillo	Longitud de las picas	$k_r \left(\frac{\Omega}{\Omega \cdot m} \right)$
Anillo rectangular sin picas	0,5 m	—	0,155
Anillo con 4 picas		2	0,110
		4	0,086
		6	0,071
		8	0,061
Anillo rectangular sin picas	0,8 m	—	0,148
Anillo con 4 picas		2	0,105
		4	0,083
		6	0,069
		8	0,048

Tabla 34 - Cálculo de la resistencia del anillo (Fuente: RLAT, R.D. 223/2008 de 15 de febrero)

Como se han enterrado a 0,8 m y las picas miden 2 m, la resistencia será:

$$R_t = \rho \cdot K_r = 21 \Omega$$

Con la siguiente expresión, se calcula la impedancia:

$$\vec{Z}_A = \vec{Z}_B = \vec{Z}_P = \frac{1}{2} \cdot (\vec{Z}_{ww0} + \sqrt{\vec{Z}_{ww0}(4 \cdot R_t + \vec{Z}_{ww0})})$$

Siendo la impedancia homopolar aquella correspondiente a un vano de longitud media, para este proyecto, 260 m.

Se concluye:

$$Z_{total} = \frac{1}{\frac{1}{R_p} + \frac{2}{Z_p}} = \frac{1}{\frac{1}{21} + \frac{2}{2,03 < 47^\circ}} = 0,98 \Omega < 45^\circ$$

Finalmente:

$$\vec{U}_E = \vec{I}_E \cdot \vec{Z}_{total} = 1213 V < -36^\circ$$

$2*U_c (V)$	$U_E (V)$
3381	1213
2911,8	1213
2428,8	1213
1932	1213
1426	1213

Tabla 35 - Comparación de la tensión de paso y la tensión a tierra

Se comprueba la hipótesis de que la tensión U_E es menor que la tensión $2U_c$, por lo que el diseño del anillo de cobre es correcto.

5.1.7 SALVAPÁJAROS

En el Real Decreto 1432/2008, de 29 de agosto se determinan las medidas necesarias acerca de la protección de la avifauna contra la colisión y la electrocución en líneas eléctricas de Alta Tensión. Por lo tanto, la línea de estudio deberá llevar dispositivos salvapájaros en los cables de tierra.

En la línea objeto será necesario colocar salvapájaros de tipo BAGTR, ya que estos son los utilizados para presencia de aves con alto riesgo de colisión cada 10 metros. El dispositivo se muestra en la Ilustración 56:

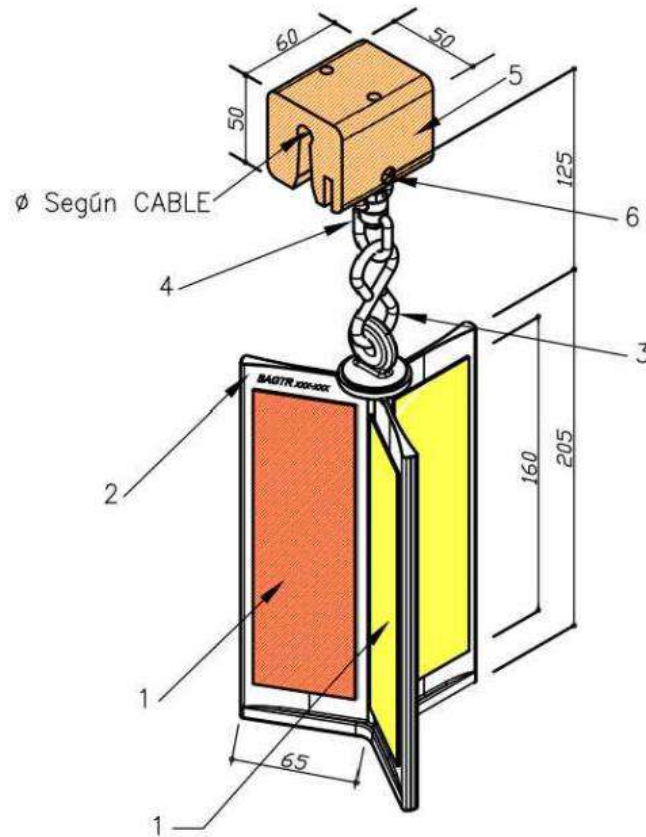


Ilustración 56 - Salvapájaros tipo BAGTR

5.2 DIMENSIONAMIENTO DE LA LÍNEA SUBTERRÁNEA

5.2.1 DISEÑO DEL CONDUCTOR DE FASE

Para el dimensionamiento se utilizará el catálogo del fabricante Taihan “SISTEMAS DE CABLE DE XLPE PARA EXTRA ALTA TENSIÓN”. En concreto, se utilizará la configuración de cable subterráneo tipo Pantalla Metálica, que corresponde a la Ilustración 57:

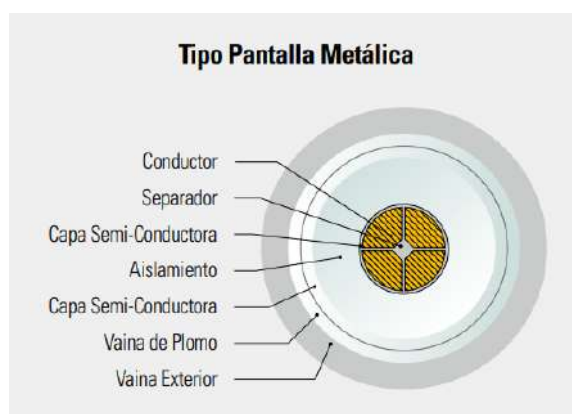


Ilustración 57 - Configuración del conductor subterráneo

A fin de conseguir un correcto dimensionamiento del conductor subterráneo, se deben tener en cuenta los factores correctores respecto a temperatura del suelo, naturaleza del suelo, profundidad del tendido, y agrupación del circuito, como rige la norma ITC - 06 LÍNEAS SUBTERRANEAS CON CABLES AISLADOS.

5.2.1.1 Resistividad térmica del terreno

La resistividad térmica del suelo de referencia es de 1,5 K.m/W. Para cualquier otro valor, se deberá acudir a su coeficiente corrector correspondiente, tabulado en la sección 6.1.2.2.2 de la ITC – 06.

Según la Norma UNE – 21144, para líneas en España de 220 kV la resistividad térmica del suelo es aproximadamente 1 K.m/W. Sin embargo, se cogerá como resistividad térmica 1,5 K.m/W ya que nos situamos en terrenos húmedos en los que será necesario realizar

perforaciones dirigidas⁷, por lo que se requiere un enfoque más conservador. La resistividad térmica depende del diámetro del conductor a utilizar, sin embargo, como para el caso de estudio la resistividad del terreno se asumirá la de referencia, no será menester aplicar ninguna corrección, tal y como se indica en la Tabla 36.

Tipo de instalación	Sección del conductor mm ²	Resistividad térmica del terreno, K.m/W						
		0,8	0,9	1,0	1,5	2,0	2,5	3
Cables directamente enterrados	25	1,25	1,20	1,16	1,00	0,89	0,81	0,75
	35	1,25	1,21	1,16	1,00	0,89	0,81	0,75
	50	1,26	1,26	1,16	1,00	0,89	0,81	0,74
	70	1,27	1,22	1,17	1,00	0,89	0,81	0,74
	95	1,28	1,22	1,18	1,00	0,89	0,80	0,74
	120	1,28	1,22	1,18	1,00	0,88	0,80	0,74
	150	1,28	1,23	1,18	1,00	0,88	0,80	0,74
	185	1,29	1,23	1,18	1,00	0,88	0,80	0,74
	240	1,29	1,23	1,18	1,00	0,88	0,80	0,73
	300	1,30	1,24	1,19	1,00	0,88	0,80	0,73
Cables en interior de tubos enterrados	400	1,30	1,24	1,19	1,00	0,88	0,79	0,73
	25	1,12	1,10	1,08	1,00	0,93	0,88	0,83
	35	1,13	1,11	1,09	1,00	0,93	0,88	0,83
	50	1,13	1,11	1,09	1,00	0,93	0,87	0,83
	70	1,13	1,11	1,09	1,00	0,93	0,87	0,82
	95	1,14	1,12	1,09	1,00	0,93	0,87	0,82
	120	1,14	1,12	1,10	1,00	0,93	0,87	0,82
	150	1,14	1,12	1,10	1,00	0,93	0,87	0,82
	185	1,14	1,12	1,10	1,00	0,93	0,87	0,82
	240	1,15	1,12	1,10	1,00	0,92	0,86	0,81
	400	1,16	1,13	1,10	1,00	0,92	0,86	0,81

Tabla 36 - Coeficientes para resistividades térmicas distintas a 1,5 k.m/W (Fuente: ITC - 06)

La resistividad térmica del terreno depende, además, de dos factores fundamentales: su naturaleza y el nivel de humedad. Por ello, el coeficiente corrector respecto a este parámetro dependerá de estos mismos factores.

A menor tamaño de grano, menor es la resistividad del suelo. Por ello, el coeficiente corrector aumenta al aumentar este tamaño. Por otro lado, disminuir la humedad aumenta la

⁷ Este concepto se explicará más adelante, en el apartado 5.2.4

resistividad. Los coeficientes reductores disminuyen al aumentar la cantidad de agua en el terreno. Estos dos efectos se pueden apreciar en la Tabla 37.

Resistividad térmica del terreno (K.m/W)	Naturaleza del terreno y grado de humedad
0,40	Inundado
0,50	Muy húmedo
0,70	Húmedo
0,85	Poco húmedo
1,00	Seco
1,20	Arcilloso muy seco
1,50	Arenoso muy seco
2,00	De piedra arenisca
2,50	De piedra caliza
3,00	De piedra granítica

Tabla 37 - Coeficientes reductores respecto a la resistividad del terreno (Fuente: ITC - 06)

Para el caso de estudio que nos compete, el coeficiente reductor será de 0,85 ya que la Comunidad Foral de Navarra se encuentra en sexta posición en las comunidades con más milímetros cúbicos acumulados de lluvia, pero no está cercano al mar, por lo que puede considerarse **poco húmedo**.

5.2.1.2 Profundidad del terreno

La profundidad del terreno dependerá de la elección de la zanja, cuyo desarrollo se explicará más adelante. Para una profundidad de 1,7 m, el factor corrector correspondiente se obtiene interpolando la Tabla 38, y es de 0,94.

Factor de Profundidad de tendido	
Profundidad	Factor
0,7	1,05
1	1,00
1,2	0,97

<i>Factor de Profundidad de tendido</i>	
<i>Profundidad</i>	<i>Factor</i>
1,5	0,95
2	0,92
2,5	0,89
3	0,87
3,5	0,86

Tabla 38 - Coeficientes reductores por profundidad (Fuente: Catálogo de Taihan)

5.2.1.3 Separación entre circuitos

De acuerdo con la ITC – 06, se deberá aplicar un factor corrector debido a la cercanía de otros circuitos a la terna debido al campo magnético que inducen unos cables sobre otros: dos cables en cercanía crean un campo inducido sobre el otro, que disminuye la sección por la que circula la densidad de corriente, aumentando su resistencia. Estos factores se corresponden con la Tabla 39:

Factor de corrección											
Tipo de instalación	Separación de los ternos	Número de ternos de la zanja									
		2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Cables directamente enterrados	En contacto (d=0 cm)	0,76	0,65	0,58	0,53	0,50	0,47	0,45	0,43	0,42	
	d = 0,2 m	0,82	0,73	0,68	0,64	0,61	0,59	0,57	0,56	0,55	
	d = 0,4 m	0,86	0,78	0,75	0,72	0,70	0,68	0,67	0,66	0,65	
	d = 0,6 m	0,88	0,82	0,79	0,77	0,76	0,74	0,74	0,73	-	
	d = 0,8 m	0,90	0,85	0,83	0,81	0,80	0,79	-	-	-	
Cables bajo tubo	En contacto (d=0 cm)	0,80	0,70	0,64	0,60	0,57	0,54	0,52	0,50	0,49	
	d = 0,2 m	0,83	0,75	0,70	0,67	0,64	0,62	0,60	0,59	0,58	
	d = 0,4 m	0,87	0,80	0,77	0,74	0,72	0,71	0,70	0,69	0,68	
	d = 0,6 m	0,89	0,83	0,81	0,79	0,78	0,77	0,76	0,75	-	
	d = 0,8 m	0,90	0,86	0,84	0,82	0,81	-	-	-	-	

Tabla 39 - Factores de corrección debidos a cercanías de otros ternos (Fuente: ITC – 06)

Siendo d la distancia máxima horizontal entre ternas de cables, como se representa en la Ilustración 58:

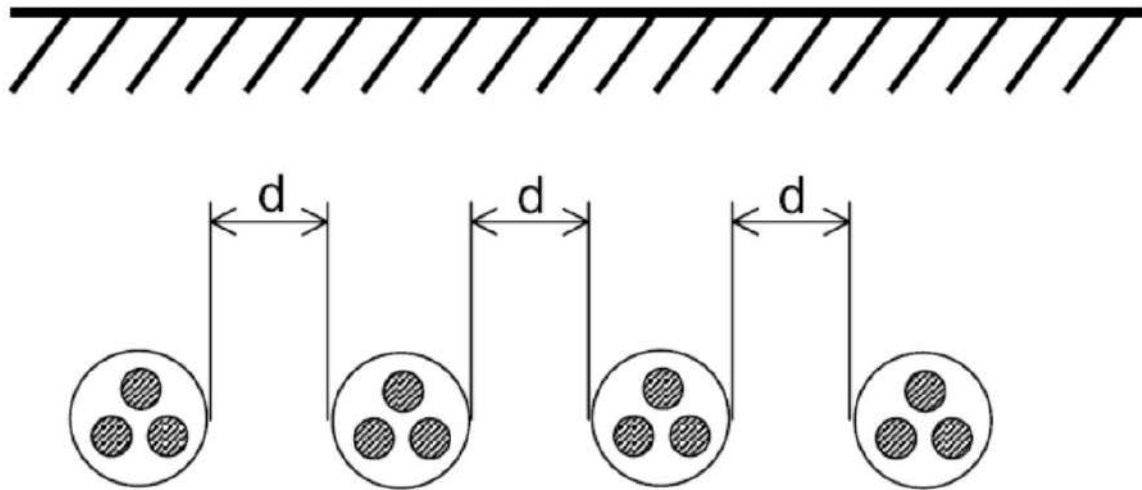


Ilustración 58 - Imagen ilustrativa de la distancia d (Fuente: ITC – 06)

Como en este caso se diseñará un único circuito, que corresponde a una única terna, el factor de corrección será 1.

Teniendo todos estos factores en cuenta, se puede calcular un factor de corrección total, como se presenta en Tabla 40:

FACTORES REDUCTORES	
Temperatura del suelo	1
Resistividad térmica del suelo	0,85
Profundidad de tendido	0,94
Agrupación de circuitos	1
TOTAL	0,80

Tabla 40 - Factores reductores

Una vez calculado el factor de corrección (0,80 para el caso de estudio), se procede a la elección de conductor.

Este conductor ha de ser tal que soporte la intensidad máxima⁸ por el conductor, una vez habiendo aplicado el factor previamente mencionado. Es decir:

$$I_{m\acute{a}x\text{ admisible}} * Coef > I_{m\acute{a}x\text{ RP}}$$

De acuerdo con el catálogo de Taihan, el conductor que cumpla con estas características y optimice el coste es un Aluminio – 400.

Al - 400	
Material	Aluminio
Sección nominal (mm ²)	400
Capacidad nominal (A)	528
Capacidad real (A)	431

Tabla 41 - Conductor seleccionado

Las características del conductor se muestran en la tabla Tabla 42, cuya configuración es de acuerdo con la Ilustración 57:

Nivel de Tensión (kV)	ID	Sección (mm)	Material	Corriente nominal (A)	Capacidad real (A)	Resistencia (20°C) (Ω/km)	Material Aislante	Espesor del aislamiento (mm)	Espesor capa semiconductora interna	Espesor capa semiconductora externa	Espesor de la vaina externa	Espesor de vaina de plomo	Diámetro final (Aprox) (mm)
220	220,1	400	AL	528	431	0,077 8	XLPE	23	1,3	1,5	5	3,2	102,6

Tabla 42 - Características del conductor Al – 400

⁸ La intensidad máxima por el conductor se calculará como la intensidad que corresponde a la potencia máxima por el conductor en régimen permanente: $I_{con} = \frac{144,25\text{ MW}}{\sqrt{3} \cdot 220\text{ kV}} \approx 379\text{ A}$, al tratarse de un único circuito con un conductor por fase.

5.2.2 CABLE DE FIBRA ÓPTICA

Del mismo modo que en el tramo aéreo, el cable de fibra óptica debe de tener 96 fibras. En este caso, se ha seleccionado un OPSYCOM PKP de 96 fibras.

Contará con cubierta de polietileno de baja densidad de mínimo 0,8 mm de espesor. El cable está reforzado con hilos de poliamida y con una cubierta de polietileno de baja densidad mínimo de 1,5 mm de espesor.

5.2.3 DISEÑO DE LA ZANJA

El diseño de la zanja dependerá enormemente del terreno sobre los cables subterráneos. Se muestra, de nuevo, en la Ilustración 59, la traza subterránea.

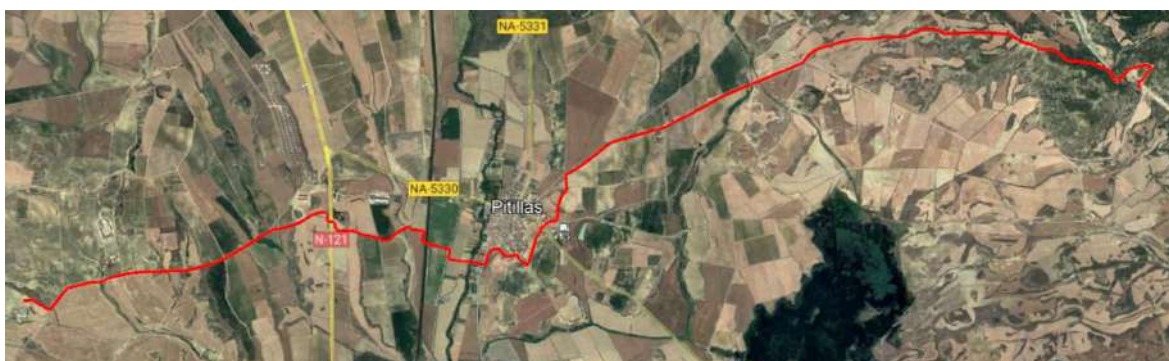


Ilustración 59 - Traza subterránea

Como se ha comentado previamente en el Emplazamiento, se bordeará la localidad de Pitillas. Aunque la gran parte de la línea discurre por un camino público, la línea cruza en varias ocasiones por terreno de cultivo. El terreno de cultivo necesita un soterramiento de los cables mayor al terreno en calzada (que suele estar entre un metro, o metro y medio), por vibraciones de maquinaria pesada como tractores o cosechadoras. Además, el terreno de cultivo a veces requiere de hormigonado del cableado, para evitar problemas de aumento de la humedad del suelo por regadío. Al ser más restrictivo este terreno que el de camino, se utilizará esta zanja.

Teniendo todo esto en cuenta, se ha elegido la siguiente:

CANALIZACIÓN EN TERRENO DE CULTIVO

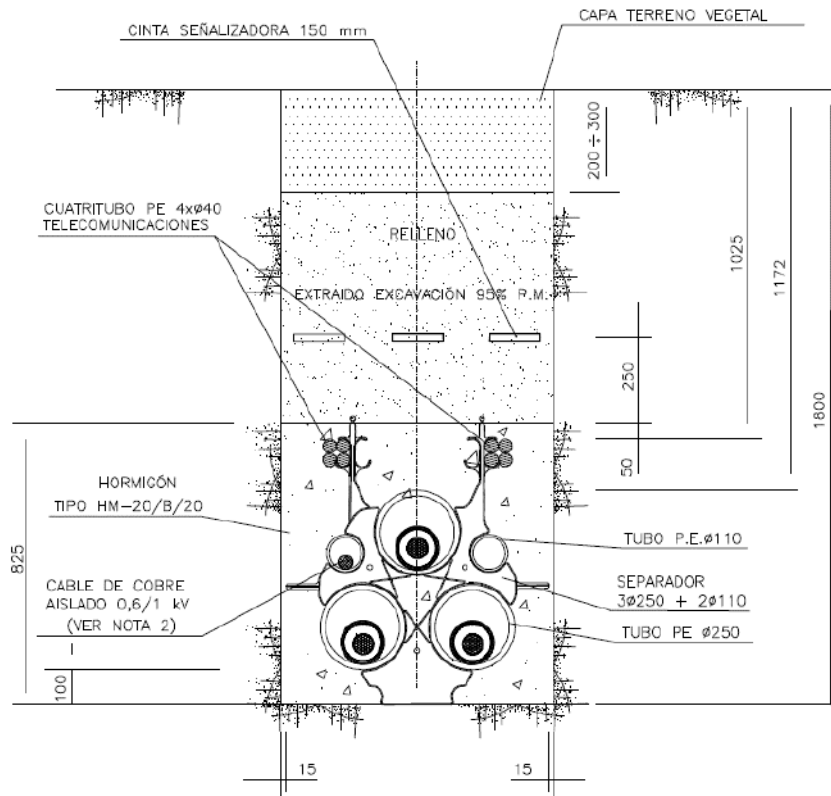


Ilustración 60 - Zanja seleccionada (Fuente: zanjas normalizadas de REE)

5.2.4 PERFORACIONES DIRIGIDAS O HINCAS

En caso de que hubiese cruzamientos que no permitan la apertura de la zanja a través de ellos, será necesarias las perforaciones dirigidas o hincas. Estos cruzamientos incluyen carreteras, ríos, vías de tren, y similares. Esto se debe a que, por seguridad, estos cruzamientos necesitan una excavación más profunda.

En el caso de estudio, los cruzamientos que requerirán esta solución se presentan en Tabla 43:

Cruzamiento	Vértice Inicio	Vértice Fin	Cruzamientos	Organismos Afectados
C _{LSAT} -21	28	29	Carretera NA-5330	Departamento de OOPP, Transportes y Comunicaciones del Gobierno de Navarra
C _{LSAT} -27	41	42	Carretera NA-5332	Departamento de OOPP, Transportes y Comunicaciones del Gobierno de Navarra
C _{LSAT} -29	41	42	Río Cidacos	Confederación Hidrográfica del Ebro
C _{LSAT} -37	44	45	FFCC Castejón - Alsasua	ADIF
C _{LSAT} -42	52	53	Carretera N-121	Departamento de OOPP, Transportes y Comunicaciones del Gobierno de Navarra
C _{LSAT} -48	60	61	Barranco de Vallacuera	Confederación Hidrográfica del Ebro
C _{LSAT} -49	61	62	Barranco de Vallacuera	Confederación Hidrográfica del Ebro
C _{LSAT} -51	63	64	Barranco de Vallacuera	Confederación Hidrográfica del Ebro

Tabla 43 - Cruzamientos que requieren perforaciones dirigidas o hincas

La longitud de las perforaciones dirigidas o hincas dependen del cruzamiento que haya que bordear y se especificarán en el plano correspondiente.

Sin embargo, hay que tener en cuenta que, como se ha explicado anteriormente, el nivel de soterramiento tiene efectos sobre la capacidad del cable.

Se añadirá un coeficiente corrector mayor, teniendo en cuenta dicha profundidad, eligiéndolo para el caso más desfavorable:

<i>Factor de Profundidad de tendido</i>	
<i>Profundidad</i>	<i>Factor</i>
0,7	1,05
1	1,00
1,2	0,97
1,5	0,95
2	0,92

Factor de Profundidad de tendido	
Profundidad	Factor
2,5	0,89
3	0,87
3,5	0,86

Tabla 44 - Factor de profundidad de tendido

Resulta la nueva agrupación de coeficientes correctores:

FACTORES REDUCTORES	
Temperatura del suelo	1
Resistividad térmica del suelo	0,85
Profundidad de tendido	0,86
Agrupación de circuitos	1
TOTAL	0,73

Tabla 45 - Factores reductores en P.D.

Por lo que la nueva capacidad por el cable será:

AI - 400	
Material	Aluminio
Sección nominal (mm ²)	400
Capacidad nominal (A)	528
Capacidad real (A)	386

Tabla 46 - Capacidad del cable en P.D.

Se sigue cumpliendo que esta intensidad es mayor a la que necesita transportar el cable, 379 A, por lo que no es necesario volver a dimensionar.

5.2.5 PUESTA A TIERRA

La puesta a tierra de las líneas subterráneas depende principalmente de la longitud de la línea a diseñar. A partir de los 700 m, no se recomienda un sistema de puesta a tierra *single-point*. Si no que se requiere un sistema más sofisticado: sistema *cross-bonding*. El objetivo del sistema de puesta a tierra es neutralizar el efecto de tensiones inducidas en los cables conductores.

Por ello, se dividirá la longitud total de la línea en secciones de 3. Es decir, para una longitud de 13,56 km, tendremos 5 grupos de 3, donde se irán empalmando las secciones. En esos mismos empalmes se tienen los descargadores. Se requiere que los grupos sean de 3 para poder mantener el equilibrio del sistema. Además, la longitud de cada fase debe de ser similar a las otras fases, que se consigue cruzando las pantallas.

Queda la disposición descrita en la Ilustración 61:

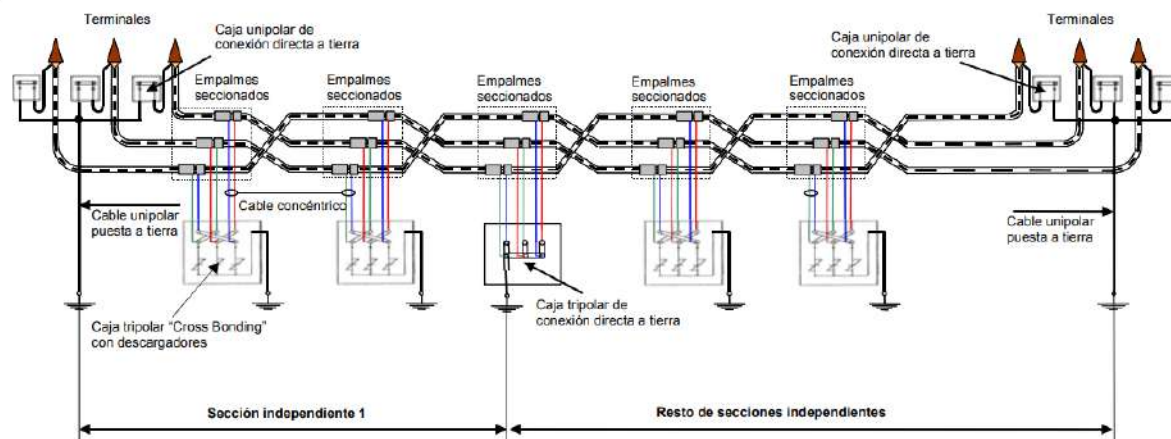


Ilustración 61 - Cross-bonding

5.2.6 PARARRAYOS

Dado que la línea es aero-subterránea, será necesario colocar terminales de 220 kV en los apoyos tipo PAS. El terminal debe de poder soportar, al menos, la corriente nominal y la corriente de cortocircuito del cable del conductor. Se deberá colocar un pararrayos en los

apoyos tipo PAS para poder hacer frente a las sobretensiones tipo rayo. En concreto, estos pararrayos se colocarán entre el tramo aéreo y el terminal.

Para la selección del pararrayos, se utilizará el catálogo de ABB.

Lo primero que hay que determinar es la tensión nominal del descargador U_r , que es únicamente función de las sobretensiones de la línea.

Las líneas están protegidas por protecciones de distancia a ambos extremos. Además, al ser una red de 220 kV, se encuentran comunicados por el cable de telecomunicaciones. Estas protecciones de distancia tienen un tiempo de despeje de falta máximo de 400 ms. Elegimos, gracias a este dato y la tensión máxima de la red, $U_m = 245$ kV, la tensión nominal mínima del descargador U_{r0} . Este cálculo se obtiene de una tabla del catálogo ya mencionado:

<i>Duración del fallo</i>	<i>Tensión máxima de la red</i>	<i>Tensión nominal mínima U_{r0}</i>
≤ 1 s	≥ 123 kV	$= 0,72 * U_m$

Tabla 47 - Cálculo de la tensión del descargador (Fuente: ABB)

Para el caso que nos compete, $U_{r0} = 176,4$ kV. Se recomienda coger como tensión nominal del descargador el valor inmediatamente superior, que entre los valores admisibles del catálogo es $U_r = 180$ kV.

Clasificación Tipo	Clase de descarga de línea	Capacidad de energía (2 impulsos) kJ/kV (U_r)	Gama de aplicación normal (U_m)
EXLIM R	2	5.0	≤ 170 kV
PEXLIM R	2	5.1	≤ 170 kV
EXLIM Q	3	7.8	170 -420 kV
PEXLIM Q	3	7.8	170 -420 kV
FXI IM P	4	10.8	362 -550 kV
PEXLIM P	4	12	362 -550 kV
HS PEXLIM P	4	10.5	362 -550 kV
EXLIM T	5	15.4	420 -800 kV
HS PEXLIM T	5	15.4	420 -800 kV

Tabla 48 - Tipo de pararrayos (Fuente: ABB)

Con la tensión máxima explicada, 245 kV, se pueden seleccionar cualquier dispositivo entre el EXLIM Q y PEXLIM Q, como se muestra en la Tabla 48.

Este descargador tiene una tensión de U_{pl} pico de 423 kV ($2,35 \cdot 180 \text{ kV}$), es decir, una protección de 423 kV ante descarga de 10 kA y una U_{ps} pico de 356,58 kV ($1,981 \cdot 180 \text{ kV}$) a 1 kA, que es una protección de impulso en condiciones de funcionamiento a 1kA.

Así se demuestra en la Tabla 49.

Clasificación Tipo	Corriente de des- carga nominal (I_n)	U_{pl}/U_r a 10 kA _p	U_{ps}/U_r
EXLIM R	10	2.590	2.060 a 0,5 kA _p
PEXLIM R	10	2.590	2.060 a 0,5 kA _p
EXLIM Q	10	2.350	1.981 a 1,0 kA _p
PEXLIM Q	10	2.350	1.981 a 1,0 kA _p
EXLIM P	20	2.275	2.020 a 2,0 kA _p
PEXLIM P	20	2.275	2.020 a 2,0 kA _p
HS PEXLIM P	20	2.275	2.020 a 2,0 kA _p
EXLIM T	20	2.200	2.020 a 2,0 kA _p

Tabla 49 - Valores de U_{pl} y U_{ps}

Se elegirá entre esos dos, el descargador PEXLIM Q de óxido de cinc.

Estas son sus características:

Sumario de datos de rendimiento

Tensiones de red (U_m) _m	52 - 420 kV
Tensiones nominales (U_r)	42 - 360 kV
Corriente de descarga nominal (IEC)	10 kA _{pico}
Corriente de clasificación (ANSI/IEEE)	10 kA _{pico}
Resistencia de corriente de descarga	
Corriente alta 4/10 µs	100 kA _{pico}
Corriente baja 2000 µs	900 A _{pico}
Capacidad de energía:	
Clase de descarga de línea (IEC)	Clase 3
[2 impulsos, (IEC Cl. 8.5.5)]	7,8 kJ/kV (U_r)
Cumple con/sobrepasa los requisitos de la prueba de descarga de líneas de transmisión ANSI para sistemas de 362 kV.	
Capacidad de cortocircuito/alivio de presión	50 kA _{sim}
Aislamiento externo	Cumple con/sobrepasa las normas
Resistencia mecánica:	
Carga de servicio estática admisible declarada (DPSSL)	2.500 Nm
Carga de servicio dinámica admisible máxima (MPDSL)	4.000 Nm
Condiciones de funcionamiento:	
Temperatura ambiente	-50 °C a +45 °C
Altitud de diseño	máx. 1.000 m
(Mayores altitudes bajo pedido)	
Frecuencia	15 - 62 Hz

Tabla 50 - Características del pararrayos

Tensión máxima de red	Tensión nominal	Tensión de trabajo continuo máxima 1)		Capacidad de sobretensiones temporales 2)		Tensión residual máxima con onda de corriente							
		según IEC	según ANSI/IEEE			30/60 µs			8/20 µs				
U_m	U_r	U_C	MCOV	1 s	10 s	0,5 kA	1 kA	2 kA	5 kA	10 kA	20 kA	40 kA	
kV _{rms}	kV _{rms}	kV _{rms}	kV _{rms}	kV _{rms}	kV _{rms}	kV _{pico}	kV _{pico}	kV _{pico}	kV _{pico}	kV _{pico}	kV _{pico}	kV _{pico}	kV _{pico}
245	180	144	144	207	198	346	357	371	402	423	466	521	

Tabla 51 - Características del pararrayos (2)

Se muestra una imagen de dicho pararrayos:



Ilustración 62 – Pararrayos (1)

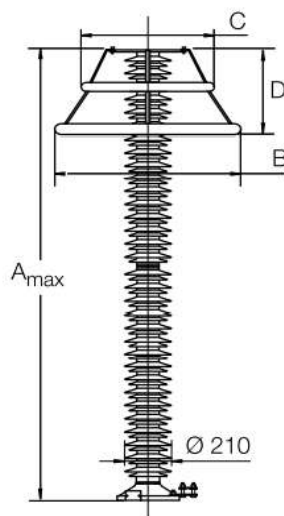


Ilustración 63 - Pararrayos (2)

$A_{\text{máx}}$ (mm)	B (mm)	C (mm)	D (mm)
2565	800	600	550

Tabla 52 - Dimensiones del pararrayos

5.3 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA LÍNEA

Con todo lo anterior explicado, se concluye que las características generales de la línea aero-subterránea SET Corrales – SET Promotores Olite son las siguientes:

Sistema	Corriente Alterna Trifásica
Nivel de contaminación	3
Zona	B
Frecuencia (Hz)	50
Tensión nominal (kV)	220
Tensión más elevada de la red (kV)	245
Categoría	Especial
Potencia de diseño (MW _n)	144,25
Potencia máxima admisible en aéreo (MVA)	304,46
Potencia máxima admisible en subterráneo (MVA)	150
Longitud total (km)	16,67
Origen.....	Pórtico SET Corrales
Fin	SET Promotores Olite
Provincias afectadas	Comunidad Foral de Navarra
Longitud del tramo aéreo (km).....	3,11
N.º de circuitos	1
N.º de conductores por fase en aéreo	1
Conductor del tramo aéreo	LA – 455 CONDOR-ACSR
N.º de fibra óptica en aéreo	1
Cable de fibra óptica en el tramo aéreo	OPGW 84P81 (7632)
Aisladores de vidrio	U160BS
Longitud del tramo subterráneo	13,56 km
N.º de conductores por fase en subterráneo.....	1
Conductor del tramo subterráneo	Al-400
N.º de fibra óptica en subterráneo	1
Cable de fibra óptica en el tramo aéreo	OPSYCOM PKP (96 fibras)

Capítulo 6. CÁLCULOS

6.1 CÁLCULOS ELÉCTRICOS

6.1.1 LÍNEA AÉREA

6.1.1.1 Parámetros de líneas

Se tienen cuatro elementos diferenciales primordiales en las líneas eléctricas: resistencia [Ω/m] e inductancia [H/m] serie, capacidad [F/m] y conductancia [S/m] paralelo.

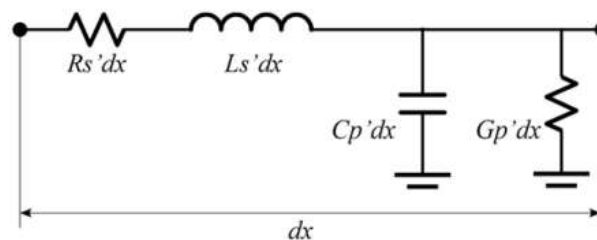


Ilustración 64 – Elemento diferencial de línea (fuente: “Parámetros y modelos de líneas”, F. M. Echavarren Cerezo, A. D. Díaz Casado, Universidad Pontificia de Comillas, 2021)

Los elementos serie representan la caída de tensión en cada diferencial de línea en función de la intensidad que recorre dicho diferencial. Por otro lado, los elementos paralelo representan la fuga de intensidad por cada diferencial dependiente de la tensión. Estos efectos vendrán demostrados en las matrices de impedancia serie y admitancia paralelo que tienen como dimensión [$\text{N} \times \text{N}$], siendo N el recuento de conductores activos y pasivos del sistema.

6.1.1.1.1 Resistencia serie: R_s' [Ω/m]

Representa la oposición (o resistencia) que tiene cualquier material de la naturaleza a que la corriente circule por él.

$$R_{S'_{DC,Tref}} = \frac{\rho [\Omega * m]}{S [m^2]}$$

Siendo ρ la resistividad eléctrica del material (medida en corriente continua y a una temperatura de referencia) y S la sección de dicho material.

El conductor se vuelve más resistente a la circulación de intensidad al aumentar la temperatura, ya que un mayor movimiento de electrones por el conductor dificulta el paso de corriente. Por ello, se debe de corregir este valor de resistencia a la temperatura de uso.

$F_{C_{Temperatura}} = 1 + \alpha \Delta T$, siendo α el coeficiente térmico de resistividad.

Por otro lado, se debe también de realizar una corrección a corriente alterna, debida al efecto de proximidad (efectos que tienen unos conductores sobre otros en corriente alterna) y al efecto skin (efecto que tiene un conductor sobre sí mismo).

El efecto de proximidad se demuestra mediante la Ley de Ampère. Un conductor por el que circula intensidad crea un campo magnético. Si existe otro conductor cercano por el que también circula intensidad, las líneas de campos de ambos se ven enfrentadas, redistribuyendo la densidad de corriente por el conductor, surgiendo zonas por las que no circula intensidad. Al disminuir la sección efectiva, aumenta la resistencia.

$F_{C_{Proximidad}} = 1 + y_p$, siendo y_p un coeficiente obtenido mediante fórmulas empíricas estandarizadas.

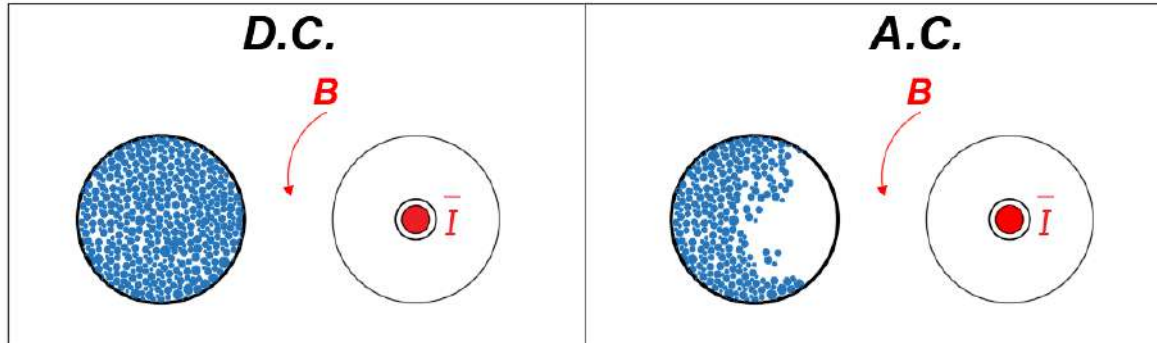


Ilustración 65 - Efecto de proximidad

Ocurre algo similar en el **efecto skin**. Al crearse campos magnéticos inducidos por la Ley de Ampère, la densidad de corriente aumenta con la proximidad a la superficie. Una vez más, al disminuir la sección efectiva, aumenta la resistencia.

$F_{C_{skin}} = 1 + y_s$, siendo y_s un coeficiente obtenido mediante fórmulas empíricas estandarizadas.

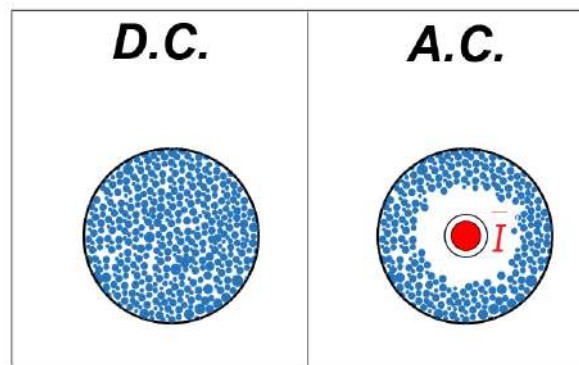


Ilustración 66 - Efecto skin

De esta forma, la resistencia serie por unidad de longitud se resume en:

$$Rs'_{AC,T} = Rs'_{DC,Tref} \cdot (1 + \alpha \Delta T) \cdot (1 + y_s) \cdot (1 + y_p)$$

Con los siguientes datos del conductor seleccionado:

Designación	Designación antigua	Secciones			Número de alambres		Diámetros de los alambres		Diámetros		Masa lineal	Carga de rotura	Resistencia en C.C.	Módulo de elasticidad	Coefficiente de dilatación lineal	Reglamento		Código
		ALI	STIA	Total	ALI	STIA	ALI	STIA	Alma	Conductor			a 20 °C	E	α	Densidad de corriente	Intensidad de corriente	
		mm ²	mm ²	mm ²	n°	n°	mm	mm	mm	mm			Ω/km	daN/mm ²	$^{\circ}\text{C}\times 10^{-6}$	A/mm ²	A	
402-ALI/52-STIA	LA 455 CONDOR	402,3	52,2	454,5	54	7	3,08	3,08	9,24	27,72	1521	12400	0,0718	8900	19,3	1,75	799	5463035

Tabla 53 - Características del conductor LA - 455 (Fuente: Cables aéreos de Iberdrola)

Para el caso que nos compete, la temperatura de referencia será de 20°C. Como temperatura final se tomará la temperatura máxima del conductor, 85°.

La resistencia a 20° en C.C. es de $0,0718 \cdot 10^{-3} \Omega/\text{m}$. Como coeficiente térmico de resistividad del material se utilizará 0,004, que es el correspondiente al aluminio. Para calcular y_s e y_p se recurren a las fórmulas de estándar IEC 287.

Resultado un valor de resistencia serie en C.A.:

$$Rs'_{AC,T} = 0,077 \Omega/\text{km};$$

6.1.1.1.2 Inductancia serie: Ls' [H/m]

Representa el cambio entre las corrientes y las caídas de tensión provocadas por los campos magnéticos inducidos en el cable.

La **Ley de Ampère** y la **Ley de Lenz** determinan la relación entre la variación de corriente alterna que circula por un conductor y las fuerzas que se inducen tanto en el mismo conductor (inductancia propia) como en otros que se encuentren a su alrededor (inductancia mutua). Para el correcto estudio de línea aéreas, no solo se necesita la relación entre los cables conductores del circuito, sino que también hay que tener en cuenta el efecto de la inductancia del terreno, que actúa también como conductor. Para tener en cuenta dicho efecto a las Leyes de Ampère y Lenz se les debe sumar **el Teorema de Carson**, que detalla el efecto del terreno en cables conductores. Obteniéndose las siguientes fórmulas de cada elemento de **la matriz de impedancias serie**.

$$Zs'_{ii} = Rs'_i + Rg' + \frac{j\omega\mu_0}{2\pi} \ln\left(\frac{De}{RMG_i}\right)$$

$$Zs'_{ij} = Rg' + \frac{j\omega\mu_0}{2\pi} \ln\left(\frac{De}{D_{ij}}\right)$$

Siendo:

- **Rsi'**: resistencia serie calculada previamente (por unidad de longitud).

$$Rs'_{AC,T} = 0,077 \, \Omega/\text{km};$$

- **Rg'**: resistencia del terreno. Se obtiene mediante una fórmula empírica: $Rg' = 9,869 \cdot 10^{-7} \cdot f$, siendo f la frecuencia del sistema, para el proyecto que nos compete f=50 Hz.

$$Rg' = 4,93 \cdot 10^{-5} \frac{\Omega}{\text{m}};$$

- **ω**: pulsación del sistema, para el proyecto que nos compete, $\omega=2\pi \cdot 50$ rad/s.

$$\omega = 100\pi \text{ rad/s};$$

- **μ₀**: permeabilidad magnética del vacío,

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ H/m};$$

- **De**: la distancia equivalente del terreno. Se obtiene mediante una fórmula empírica: $De = 658.368 \sqrt{\frac{\rho_t}{f}}$, con ρ_t siendo la resistividad del terreno, que, para el caso de estudio, es aproximadamente $100 \frac{\Omega}{\text{m}}$.

$$De = 931 \text{ m};$$

- **D_{ij}**: distancia entre el conductor i y el conductor j [m].
- **RMGi**: radio medio geométrico de cada conductor i. Se calcula como $RMG_i \approx e^{\frac{1}{4}} \cdot r_i$, siendo r_i el radio del conductor. [m].

Para un cálculo preciso de esta matriz se ha utilizado un código en el Software Matlab.

Para el caso de estudio de este proyecto de fin de grado, el cálculo de las distancias entre conductores se ha realizado para el apoyo más utilizado, que ha sido el explicado en el apartado de dimensionamiento de la línea. Este apoyo se corresponde con el apoyo CONDOR del fabricante Imedexsa. A continuación, se presentan las medidas del armado del apoyo en cuestión:

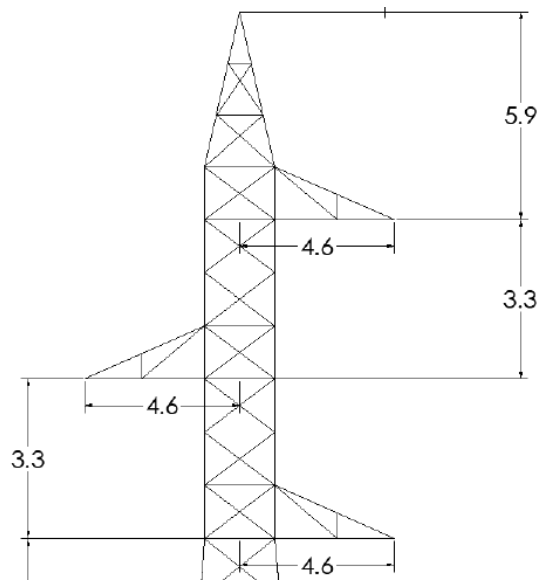


Ilustración 67 - Apoyo más utilizado

Con una altura adicional a la cruceta de 21 m.

Este apoyo se corresponde con la siguiente matriz de distancias:

$$D_{ij} = \begin{bmatrix} 0 & 9,77 & 6,60 & 13,32 \\ 9,77 & 0 & 9,77 & 10,29 \\ 6,60 & 9,77 & 0 & 7,48 \\ 13,32 & 10,29 & 7,48 & 0 \end{bmatrix} m$$

Finalmente, la matriz de impedancia serie para la línea aérea Los Corrales – Olite es la siguiente:

$$Z'_{ij} = \begin{bmatrix} 0,126 + j0,714 & 0,049 + j0,286 & 0,049 + j0,311 & 0,049 + j0,267 \\ 0,049 + j0,286 & 0,126 + j0,714 & 0,049 + j0,286 & 0,049 + j0,283 \\ 0,049 + j0,311 & 0,049 + j0,286 & 0,126 + j0,714 & 0,049 + j0,303 \\ 0,049 + j0,267 & 0,049 + j0,283 & 0,049 + j0,303 & 0,049 + j0,708 \end{bmatrix} \Omega/km$$

6.1.1.1.3 Susceptancia paralelo: C_s' [F/m]

En líneas aéreas se consideran los efectos de la conductancia despreciables.

La susceptancia paralelo representa la capacidad de cada condensador virtual formado por cada par de conductores, que se separan mediante un aislante.

Se asume el terreno como una superficie equipotencial de potencial nulo para poder aplicar el teorema de las imágenes, siendo el propio terreno el eje de simetría. Aplicando este teorema, se obtendrá la matriz de potenciales de Maxwell:

$$P_{ii} = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \ln\left(\frac{2H_i}{r_i}\right)$$

$$P_{ii} = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \ln\left(\frac{D_{ii'}}{D_{ij'}}\right)$$

Siendo:

- $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ (permitividad eléctrica del vacío)
- **H_i** : distancia entre el conductor y el terreno [m]
- **$D_{ij'}$** : distancia entre un conductor i y el espejo de un conductor j [m]

Para obtener la matriz de capacidades paralelo (C_p') simplemente deberemos invertir la matriz P de potenciales de Maxwell.

Para poder realizar los cálculos de manera eficiente, se realizarán a través del software Matlab, al igual que en el caso anterior.

- Matriz de distancias entre conductores y sus imágenes:

$$D_{ij} = \begin{bmatrix} 42,00 & 46,22 & 48,60 & 54,69 \\ 46,22 & 48,60 & 52,71 & 57,98 \\ 48,60 & 52,71 & 55,20 & 61,27 \\ 54,69 & 57,98 & 61,27 & 67,00 \end{bmatrix} m$$

- Matriz de potenciales de Maxwell

$$P_{ij} = \begin{bmatrix} 144,16 & 27,94 & 35,91 & 25,40 \\ 27,94 & 146,79 & 30,30 & 31,10 \\ 35,91 & 30,30 & 149,10 & 37,82 \\ 25,40 & 31,10 & 37,82 & 160,33 \end{bmatrix} km/nF$$

- Matriz de admitancias:

$$Y'_{ij} = \begin{bmatrix} j2,392 & -j0,316 & -j0,459 & -j0,209 \\ -j0,316 & j2,335 & -j0,315 & -j0,329 \\ -j0,459 & -j0,315 & j2,391 & -j0,430 \\ -j0,209 & -j0,329 & -j0,430 & j2,158 \end{bmatrix} \mu S/m$$

6.1.2 REDUCCIÓN AL MONOFÁSICO EQUIVALENTE

A fin de poder manejar los parámetros de las líneas de una forma sencilla, se reducirá la matriz de impedancia serie y admitancia paralelo a su monofásico equivalente.

6.1.2.1 Eliminación de conductores pasivos

En el caso de las líneas aéreas son los cables de guarda.

Actualmente, nuestro sistema matricial de impedancias y admitancias se comporta de la siguiente manera:

$$\begin{bmatrix} \Delta V_C \\ \Delta V_W \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{s_{cc}} & Z_{s_{cw}} \\ Z_{s_{wc}} & Z_{s_{ww}} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_C \\ I_W \end{bmatrix}; \quad \begin{bmatrix} \Delta I_C \\ \Delta I_W \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{p_{cc}} & Y_{p_{cw}} \\ Y_{p_{wc}} & Y_{p_{ww}} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} V_C \\ V_W \end{bmatrix}$$

Como los conductores se encuentran puestos a tierra en dos extremos (cada vez que se enganchan a un apoyo), la eliminación del conductor pasivo en la impedancia serie se realiza de la siguiente manera:

$Z_c = Z_{s_{cc}} - Z_{s_{cw}} * Z_{s_{ww}}^{-1} * Z_{s_{wc}}$ (que es la relación de la caída de tensión en función únicamente de las corrientes del conductor)

Con estos valores:

$$Z'_{ij} = \begin{array}{c} \begin{array}{cc|cc} \textcolor{red}{Zs'_{cc}} & & & \textcolor{brown}{Zs'_{cw}} \\ \hline 0,126 + j0,714 & 0,049 + j0,286 & 0,049 + j0,311 & 0,049 + j0,267 \\ 0,049 + j0,286 & 0,126 + j0,714 & 0,049 + j0,286 & 0,049 + j0,283 \\ 0,049 + j0,311 & 0,049 + j0,286 & 0,126 + j0,714 & 0,049 + j0,303 \\ \hline 0,049 + j0,267 & 0,049 + j0,283 & 0,049 + j0,303 & 0,049 + j0,708 \\ \hline \textcolor{green}{Zs'_{wc}} & & & \textcolor{blue}{Zs'_{ww}} \end{array} \end{array} \Omega/\text{km}$$

Resulta:

$$Z_c = \begin{bmatrix} 0,0972 + j0,6194 & 0,0194 + j0,1857 & 0,0186 + j0,2031 \\ 0,0194 + j0,1857 & 0,0959 + j0,6072 & 0,0179 + j0,1717 \\ 0,0186 + j0,2031 & 0,0179 + j0,1717 & 0,0943 + j0,5913 \end{bmatrix} \Omega/\text{km}$$

En el caso de la admitancia paralelo, la reducción se consigue de una forma mucho más directa.

Con:

$$Y'_{ij} = \begin{array}{c} \begin{array}{cc|cc} \textcolor{red}{Yp'_{cc}} & & & \textcolor{brown}{Yp'_{cw}} \\ \hline j2,392 & -j0,316 & -j0,459 & -j0,209 \\ -j0,316 & j2,335 & -j0,315 & -j0,329 \\ -j0,459 & -j0,315 & j2,391 & -j0,430 \\ \hline -j0,209 & -j0,329 & -j0,430 & j2,158 \\ \hline \textcolor{green}{Yp'_{wc}} & & & \textcolor{blue}{Yp'_{ww}} \end{array} \end{array} \mu\text{S}/\text{m}$$

$$Y_c = Yp_{cc} = \begin{bmatrix} j2,392 & -j0,316 & -j0,459 \\ -j0,316 & j2,335 & -j0,315 \\ -j0,459 & -j0,315 & j2,391 \end{bmatrix} \mu\text{S}/\text{m}$$

6.1.2.2 Reducción a conductores de fase equivalentes

Reducen aquellas fases que tengan un número de conductores por fase mayor a 1, a un único conductor. No aplica en este caso, al tratarse de un único conductor por fase (configuración simplex).

6.1.2.3 Obtención del monofásico equivalente

Es necesario que el sistema sea equilibrado, es decir, que las tres fases tengan el mismo valor en secuencia directa. Esto implica que los valores de la diagonal principal (tanto en la matriz de impedancia serie como en la matriz admitancia paralelo) sean iguales entre sí, y que los valores fuera de la diagonal principal sean iguales entre sí. Como no es el caso, se asume el equilibrio ponderando el valor de cada fase como un tercio del valor total.

Se concluye:

$$Z_s = 0,077 + j0,419 \Omega/km$$

$$Y_p = j2,73 \mu S/km$$

6.1.2.4 Modelos de líneas

Se obtiene el modelo de cada punto x de la línea a partir de los parámetros de las líneas y sus condiciones iniciales.

La dinámica de tensión e intensidad que rige la línea es:

$$\frac{\partial^2 V}{\partial x^2} = -Zs' \cdot \frac{\partial I}{\partial x}$$

Resolviendo la E.D.O y aplicando funciones hiperbólicas:

$$\begin{bmatrix} V(x) \\ I(x) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} ch(\gamma x) & -Zc \cdot sh(\gamma x) \\ -\frac{1}{Zc} \cdot sh(\gamma x) & ch(\gamma x) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} V_0 \\ I_0 \end{bmatrix}$$

Con:

- Z_c : impedancia característica de la línea. $Z_c = \sqrt{\frac{Zs'}{Yp'}}$, que para el caso de estudio es

$$Z_c = \sqrt{\frac{Zs}{Yp}} = 393 - j36 \Omega$$

Este parámetro define el balance entre potencia activa y reactiva. Si la impedancia de la línea es mayor a la característica, esta consumirá reactiva y

si es menor generará reactiva. En este caso, se tiene una impedancia de línea de $Z_s = \left(0,077 + j0,419 \frac{\Omega}{km}\right) * 3,11 km = 0,24 + j1,30$, lo que implica que la línea genera reactiva.

- γ : constante de propagación de la línea.

$$\gamma = \sqrt{Z_s * Y_p} = \alpha + j\beta = 0,098 + j1,075 \text{ mrad/km}$$

La constante de propagación determina la velocidad de transmisión de energía por la línea. En concreto, el término β , constante de desplazamiento, indica la longitud de onda que se debe recorrer hasta que la onda se vuelva a repetir. Esto implica que: $\beta = \frac{2\pi}{\lambda}$, siendo λ la longitud de onda. Se puede calcular, por tanto, la velocidad de propagación de energía como $v = \lambda * f \approx 292.000 \text{ km/s}$, que corresponde a un 97% de la velocidad de la luz.

Se puede concretar esta expresión para obtener los valores de tensión e intensidad al final de la línea de la siguiente forma:

$$\begin{bmatrix} V(l) \\ I(l) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} ch(\gamma l) & -Z_c \cdot sh(\gamma l) \\ -\frac{1}{Z_c} \cdot sh(\gamma l) & ch(\gamma l) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} V_0 \\ I_0 \end{bmatrix}$$

6.1.3 CAÍDA DE TENSIÓN

Con la fórmula anterior, se consigue la caída de tensión para cada punto de la línea. La evolución de dicha caída de tensión se ha evaluado siguiendo la tabla 20 de la “NTS de la conformación de los módulos de generación de electricidad según el reglamento UE 2016/631”, donde se indica que la relación máxima entre potencia activa y potencia reactiva (punto más desfavorable) debe de ser de 0,3. Esto implica:

$$fp = \cos(\varphi) = \cos\left(\text{atan}\left(\frac{0,3}{1}\right)\right) = 0,958$$

De esta forma, se obtiene la siguiente caída de tensión:

$$\Delta U = \frac{U_L - U_0}{U_0} = 0,18\%$$

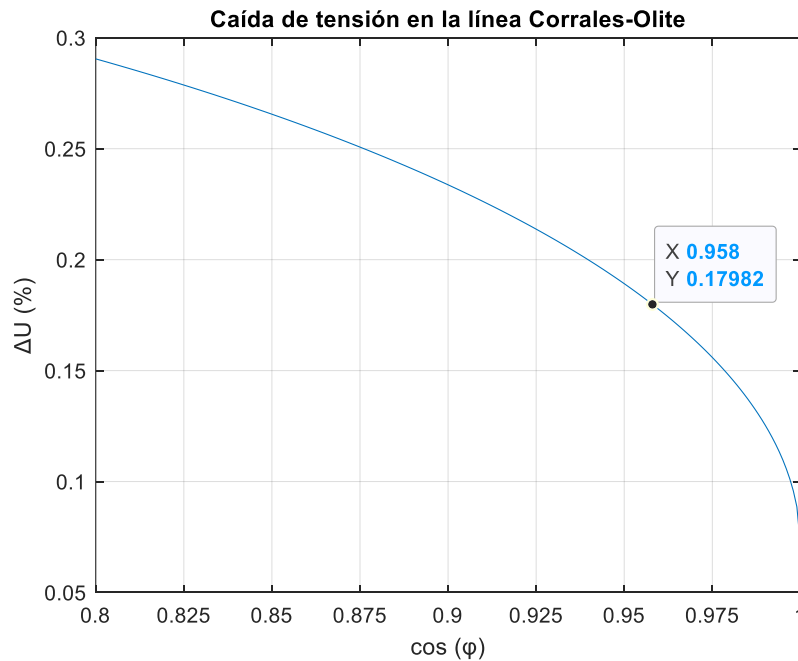


Ilustración 68 - Caída de tensión en el tramo aéreo

6.1.4 PÉRDIDAS DE POTENCIA

Las pérdidas de potencia son causadas tanto por calor (efecto Joule) como por las fugas de intensidad, representadas por los elementos paralelo de la línea, como se ha explicado previamente.

Se evaluarán estas pérdidas para el punto de funcionamiento más desfavorable ($\text{fp}=0,958$).

Calculando la potencia en cualquier punto x de la línea mediante la siguiente expresión:

$$P_x = \text{real}(\sqrt{3} \cdot U(x) \cdot I(x))$$

Con $U(x)$ e $I(x)$ las calculadas en cada punto x con la ecuación del apartado 6.1.2.4.

De esta forma, las pérdidas de potencia activa para la línea son:

$$\Delta P = 0,075\%$$

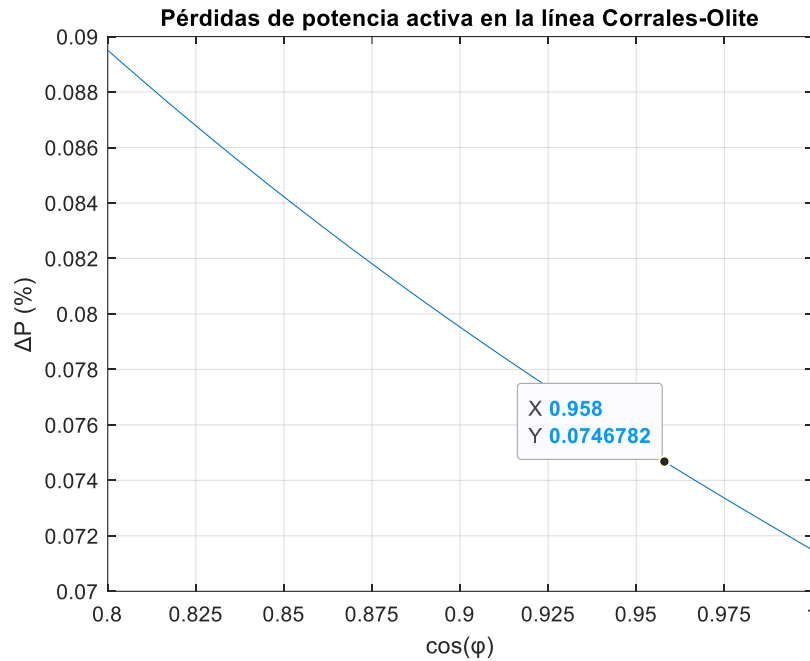


Ilustración 69 - Pérdidas de potencia en el tramo aéreo

6.1.5 MODELOS DE SECUENCIA

Al tratarse de un sistema trifásico equilibrado, se pueden obtener las componentes de secuencia directa, inversa y homopolar de la línea, que permitirán un estudio sencillo en caso de faltas en la línea.

Las componentes de secuencia únicamente pueden transformar sistemas equilibrados a otros sistemas equilibrados. Por lo que la matriz que debemos usar para realizar dicha transformación será la que se ha explicado antes que se obtiene de ponderar los efectos de cada fase por un tercio:

$$Z_{RST} = \begin{bmatrix} 0,0958 + j0,606 & 0,0187 + j0,1868 & 0,0187 + j0,1868 \\ 0,0187 + j0,1868 & 0,0958 + j0,606 & 0,0187 + j0,1868 \\ 0,0187 + j0,1868 & 0,0187 + j0,1868 & 0,0958 + j0,606 \end{bmatrix} \Omega/km$$

Se define la matriz A de giro de ternas de componentes en ejes 012 a ejes RST como:

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 < -120^\circ & 1 < 120^\circ \\ 1 & 1 < 120^\circ & 1 < -120^\circ \end{bmatrix}$$

Se obtienen mediante el teorema de Fortescue las componentes de secuencia directa, inversa y homopolar del tramo aéreo de la línea Los Corrales – Olite:

$$Z_{012} = A^{-1} * Z_{RST} * A = \begin{bmatrix} 0,1332 + j0,9796 & 0 & 0 \\ 0 & 0,0771 + j0,4192 & 0 \\ 0 & 0 & 0,0771 + j0,4192 \end{bmatrix} \Omega/km$$

6.1.6 LÍNEA SUBTERRÁNEA

Se realiza un análisis similar para obtener los parámetros del tramo subterráneo. Este análisis se simplifica respecto al tramo aéreo, ya que el fabricante del cable proporciona información acerca del monofásico equivalente (L, R y C), no siendo necesario el cálculo de la matriz de impedancias y su posterior reducción al monofásico equivalente.

Resulta:

Monofásico equivalente de la línea subterránea:

$$Z_s = 0,090 + j0,27 \Omega/km$$

$$Y_p = j41,15 \mu S/km$$

Impedancia característica y constante de propagación:

$$Z_c = \sqrt{\frac{Z_s}{Y_p}} = 82,51 - j13,24$$

$$\gamma = \sqrt{Z_s * Y_p} = \alpha + j\beta = 0,544 + j3,39$$

Esta constante de propagación implica una velocidad de propagación de $v = \lambda * f \approx 92.670 \text{ km/s}$, que corresponde a un 31% de la velocidad de la luz.

Si comparamos esta velocidad respecto a la de la línea aérea, se obtiene el siguiente gráfico:

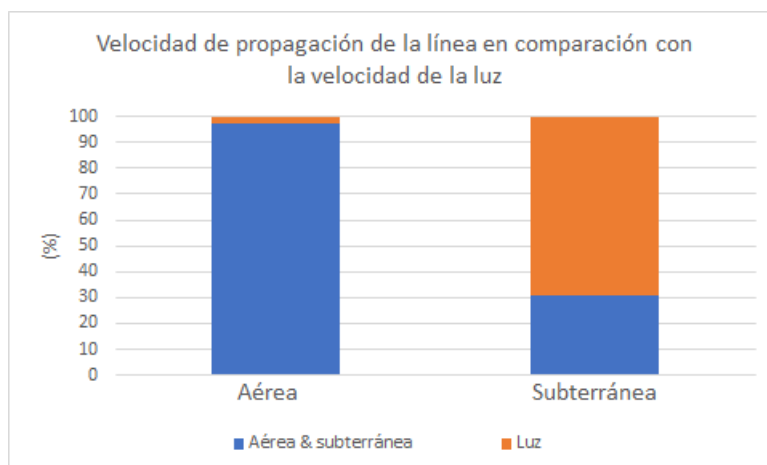


Ilustración 70 - Velocidad de propagación respecto a la velocidad de la luz

Esta diferencia se debe a que las líneas aéreas tienen como medio de transporte el aire (son conductores desnudos), que tiene características muy similares a las del vacío, por lo que se tiene una velocidad de propagación casi tan rápida como la luz. Sin embargo, en caso de líneas subterráneas, al ser cables aislados, el medio de transporte es aislante, por lo que se reduce esta velocidad hasta un 30% de la velocidad de la luz en el vacío.

6.1.7 CAÍDA DE TENSIÓN

$$\begin{bmatrix} V(x) \\ I(x) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} ch(\gamma x) & -Z_c \cdot sh(\gamma x) \\ -\frac{1}{Z_c} \cdot sh(\gamma x) & ch(\gamma x) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} V_0 \\ I_0 \end{bmatrix}$$

Con la misma fórmula que se dedujo para líneas aéreas, se calcula la caída de tensión para líneas subterráneas. Especificando para un factor de potencia de 0,958, se obtiene:

$$\Delta U = 0,763\%$$

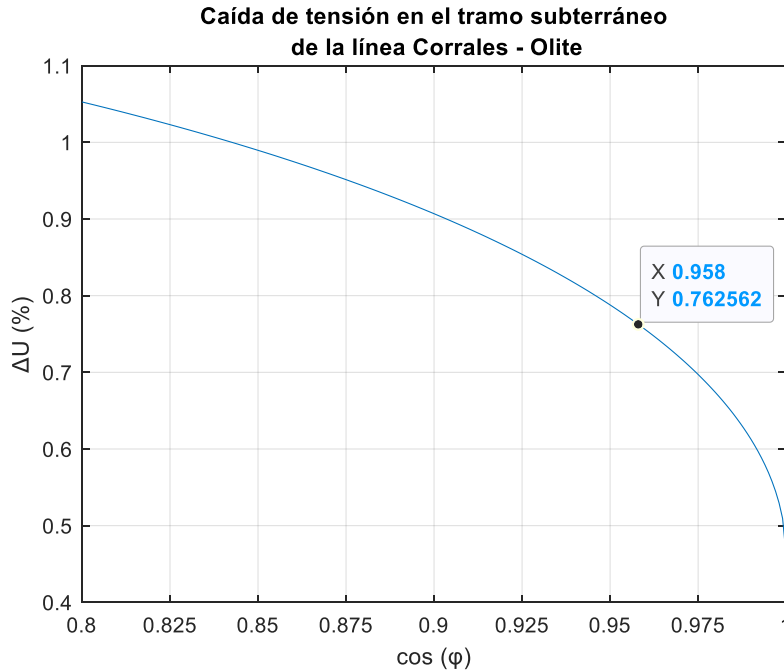


Ilustración 71 - Caída de tensión en el tramo subterráneo

6.1.8 PÉRDIDAS DE POTENCIA

Calculando la potencia en cualquier punto x de la línea mediante la siguiente expresión:

$$P_x = \text{real}(\sqrt{3} \cdot U(x) \cdot I(x) *)$$

Con $U(x)$ e $I(x)$ las calculadas en cada punto x con la ecuación del apartado 6.1.2.4.

De esta forma, las pérdidas de potencia activa para la línea son:

$$\Delta P = 0,404\%$$

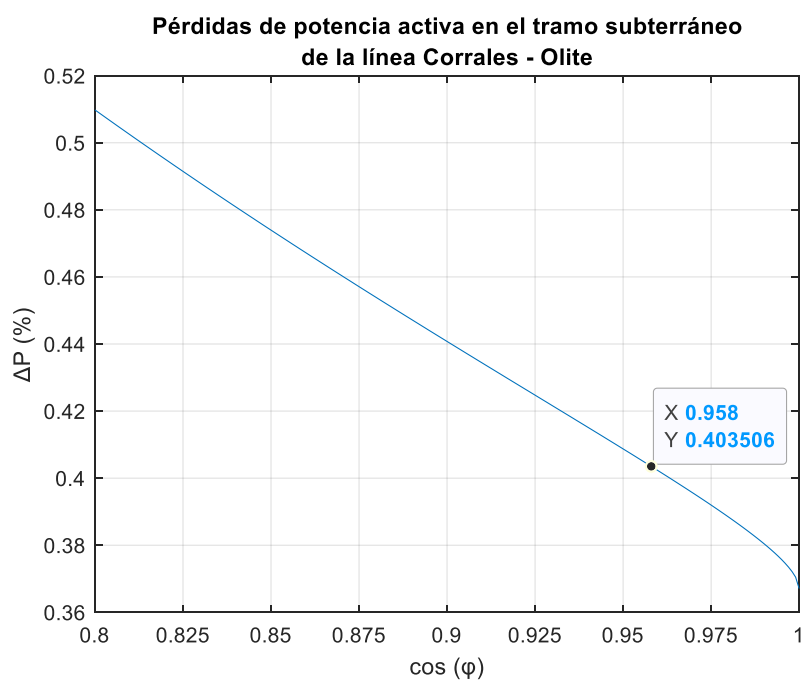


Ilustración 72 - Pérdidas de potencia del tramo subterráneo

6.2 CÁLCULOS ELECTROMAGNÉTICOS

6.2.1 LIMITACIÓN DE LOS CAMPOS MAGNÉTICOS

El **Real Decreto 1066/2001**, de 28 de septiembre por el que se aprueba el Reglamento que establece condiciones de protección del dominio público radioeléctrico, restricciones a las emisiones radioeléctricas y medidas de protección sanitaria frente a emisiones radioeléctricas, establece en el Anexo II, apartado 3, cuadro 3.1: “*Límites de referencia*” los límites para campos electromagnéticos en líneas eléctricas. Este límite se calcula como $5/f$, siendo f la frecuencia en kHz, obteniéndose un campo magnético límite para nuestro caso de estudio de $100 \mu T$:

Gama de frecuencia	Intensidad de campo E (V/m)	Intensidad de campo H (A/m)	Campo B (μT)	Densidad de potencia equivalente de onda plana (W/m ²)
0-1 Hz	—	$3,2 \times 10^4$	4×10^4	—
1-8 Hz	10.000	$3,2 \times 10^4/f^2$	$4 \times 10^4/f^2$	—
8-25 Hz	10.000	$4.000/f$	$5.000/f$	—
0,025-0,8 kHz	$250/f$	$4/f$	$5/f$	—
0,8-3 kHz	$250/f$	5	6,25	—
3-150 kHz	87	5	6,25	—
0,15-1 MHz	87	$0,73/f$	$0,92/f$	—
1-10 MHz	$87/f^{1/2}$	$0,73/f$	$0,92/f$	—
10-400 MHz	28	$0,73/f$	0,092	2
400-2.000 MHz	$1,375 f^{1/2}$	$0,0037 f^{1/2}$	$0,0046 f^{1/2}$	$f/200$
2-300 GHz	61	0,16	0,20	10

Tabla 54 - Límites de referencia (Fuente: R.D. 1066/2001)

$$B_{max} = \frac{5}{0,05} = 100 \mu T$$

Para calcular el campo magnético situado en un punto P, se aplicará la Ley de Biot y Savart. Descomponiendo en ejes x e y como muestran la Ilustración 73 y la Ilustración 74, la expresión del campo magnético queda:

$$B_x = \frac{\mu_0 \cdot I}{4 \cdot \pi \cdot r_x} (T)$$

$$B_y = \frac{\mu_0 \cdot I}{4 \cdot \pi \cdot r_y} (T)$$

Finalmente, se obtendrá el campo magnético total superponiendo las tres fases:

$$B = B_r + B_s + B_t (T)$$

Para el tramo aéreo:

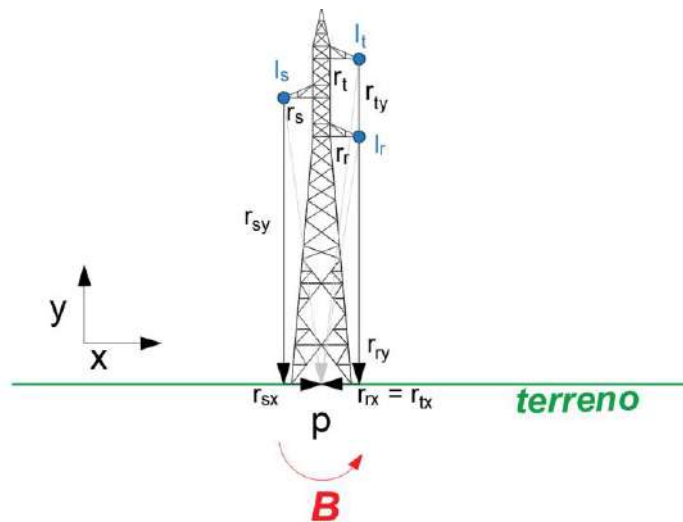


Ilustración 73 - Distribución de corrientes en el tramo aéreo

Para el tramo subterráneo:

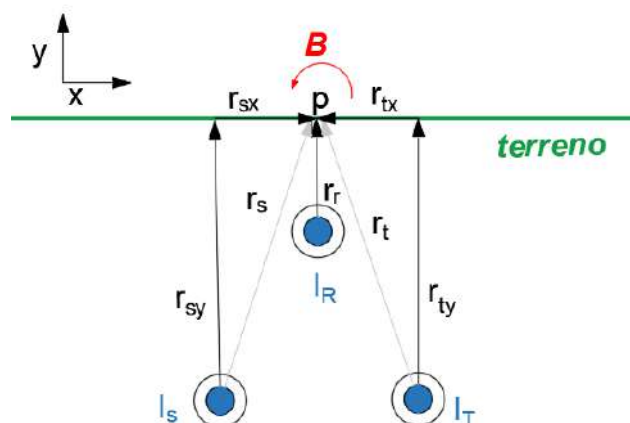


Ilustración 74 - Distribución de corrientes en el tramo subterráneo

Para el cálculo de este campo magnético, se ha tenido en cuenta la intensidad máxima de evacuación prevista para la línea. Dado que la permeabilidad magnética relativa del terreno es muy cercana a 1 para el caso del terreno de estudio (no existen zonas cercanas a minerales), se supondrá la misma fórmula para ambos casos. En caso de encontrarse el campo magnético muy cercano al límite recomendado expresado anteriormente, será necesario un estudio más exhaustivo.

Se ha utilizado el software Matlab para obtener la distribución de campo magnético en el suelo en función de la distancia en eje x al punto P, resultando:

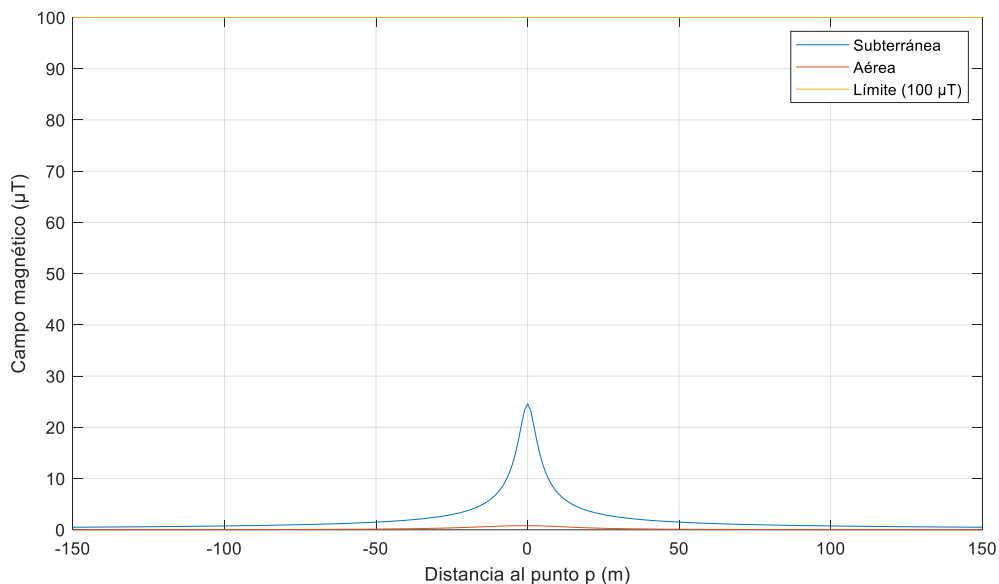


Ilustración 75 - Distribución del campo magnético

Haciendo *zum* en la distribución del tramo subterráneo:

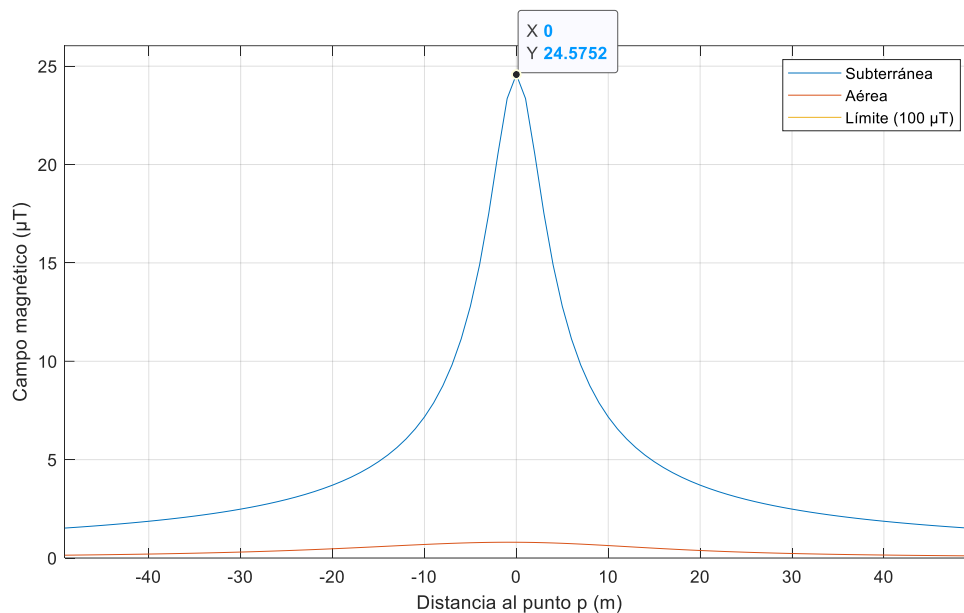


Ilustración 76 - Distribución del campo magnético en el tramo subterráneo

Haciendo *zum* en la distribución del tramo aéreo:

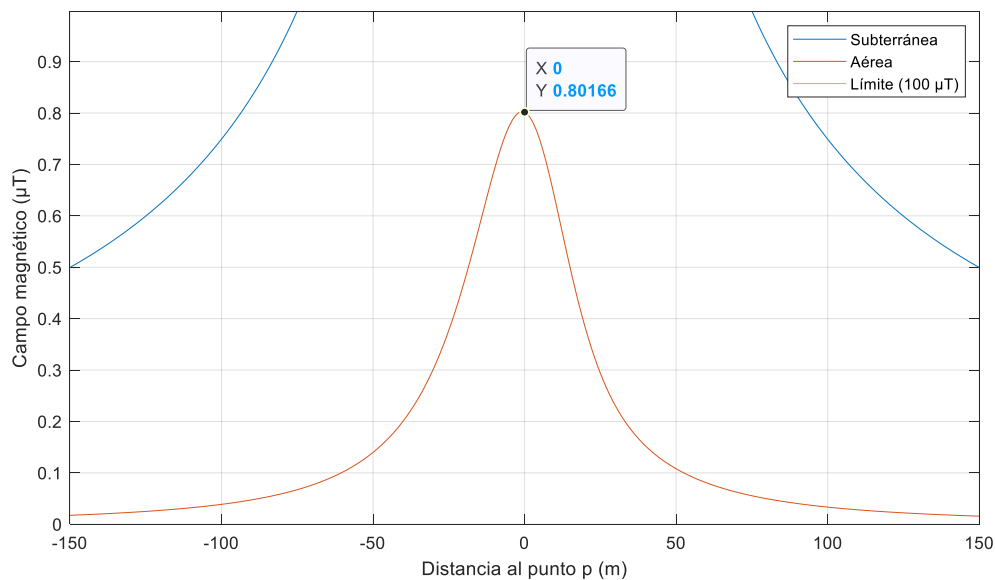


Ilustración 77 - Distribución del campo magnético en el tramo aéreo

Nótese como el máximo para el tramo subterráneo es, aproximadamente, $B_{m\acute{a}x,subt} = 25 \mu T$. Mientras que, para el tramo aéreo, el campo magnético máximo es de $B_{m\acute{a}x,a\acute{e}reo} = 0,8 \mu T$. Esto se debe a que la zanja del cable subterráneo se entierra a pocos metros del suelo, pero los apoyos elevan los conductores aéreos varias decenas de metros: al ser el campo magnético inversamente proporcional a la distancia al punto de estudio, obtenemos esta diferencia.

Como se puede observar, en ningún caso se supera el límite de $100 \mu T$ establecido por el Real Decreto 1066/2001.

6.3 CÁLCULOS MECÁNICOS

6.3.1 EN CONDUCTORES

De acuerdo con la ITC – 07, cualquier cálculo mecánico de una línea aérea debe de calcularse bajo la acción de ciertas cargas y sobrecargas: **cargas permanentes, fuerzas del viento, sobrecargas de hielo, desequilibrio de tracciones, esfuerzos por rotura, y esfuerzos resultantes de ángulo.**

6.3.1.1 Carga permanente

Es la carga debida al propio peso del conductor y sus respectivas componentes. Las condiciones EDS (*Every Day Stress*) establece la tensión a la que está sometida el conductor en condiciones normales de funcionamiento de la línea, es decir, sin sobrecargas y a la temperatura media habitual de la ubicación de la línea. En este caso, será a 15° y únicamente teniendo en cuenta como resultante el peso del cable.

Para el proyecto que nos compete, el peso de los cables es:

Conductor	OPGW
$p_c = 1,49 \text{ daN/m.}$	$p_c = 0,77 \text{ daN/m.}$

Tabla 55 - Peso de los cables

6.3.1.2 Fuerzas del viento

De acuerdo con la ITC- 07, se tomará la fuerza del viento como totalmente horizontal al apoyo. Para calcular la presión que ejerce el viento sobre dicho apoyo, se accede a la fórmula de la misma normativa técnica, que para conductores cuyo diámetro sea mayor a 16 mm, corresponde a:

$q = 50 * \left(\frac{V_v}{120}\right)^2 \frac{\text{daN}}{\text{m}^2}$, siendo V_v el viento mínimo referencia. Al considerarse esta línea de categoría especial (220 kV), se toma como $V_v = 140 \text{ km/h} = 38,89 \text{ m/s}$.

De esta forma, resulta una presión del viento de:

$$q = 50 * \left(\frac{V_v}{120} \right)^2 = 68 \frac{daN}{m^2}.$$

6.3.1.3 Sobrecargas de hielo

Para el correcto estudio de las fuerzas motivadas por la sobrecarga de hielo, es menester clasificar nuestra línea aérea en alguna de las siguientes zonas, de acuerdo con la ITC - 09:

- Zona A: Zonas que se encuentren a menos de 500 metros sobre el nivel del mar.
- **Zona B: Zonas que se encuentren entre 500 y 1.000 metros sobre el nivel del mar.**
- Zona C: Zonas que se encuentren a más de 1.000 metros sobre el nivel del mar.

Las alturas de los apoyos del proyecto Los Corrales – Olite se muestran a continuación (Zona 30N UTM):

<i>N.º Apoyo</i>	<i>Nombre del apoyo</i>	<i>Altura (m)</i>	<i>Zona</i>
Pórtico SET Corrales	Pórtico SET Corrales	674,82	Zona B
1	CO-18000-18-S1773	672,86	Zona B
2	CO-12000-24-S1773	653,42	Zona B
3	CO-3000-30-S1773	628,87	Zona B
4	CO-9000-27-S1773	617,83	Zona B
5	CO-7000-15-S1773	604,92	Zona B
6	CO-3000-21-S1773	635,32	Zona B
7	CO-3000-24-S1773	637,78	Zona B
8	CO-3000-21-S1773	590,45	Zona B
9	CO-7000-24-S1773	530,14	Zona B
10	CO-7000-15-S1773	511,37	Zona B

N.º Apoyo	Nombre del apoyo	Altura (m)	Zona
11	CO-3000-27-S1773	509,09	Zona B
PAS 12	CO-18000-15-PAS_SC	445,8	Zona A

Tabla 56 - Altura sobre nivel del mar de los apoyos

La zona más restrictiva de la línea es la zona B, los cálculos se realizarán de acuerdo con la normativa correspondiente a esta zona.

En Zona A

En zona A no se van a considerar sobrecargas de hielo. En este caso, al tener ciertos apoyos cuya altura supera los 500 m sobre el nivel del mar, se realizará un estudio de Zona B. Sin embargo, el cálculo de sobrecarga de hielo **no se realiza en ningún caso para Zona A.**

En Zona B

Las sobrecargas por metro de un manguito de hielo se calcularán mediante la siguiente fórmula: $S_c = 0,18 * \sqrt{d} \text{ daN/m}$, siendo d el diámetro del conductor. En este caso:

Conductor	OPGW
$S_{c,cond} = 0,18 * \sqrt{27,72} = 0,95 \text{ daN/m}$	$S_{c,FO} = 0,18 * \sqrt{16,4} = 0,73 \text{ daN/m}$

Tabla 57 – Sobrecargas de hielo

En Zona C

Las sobrecargas por metro de un manguito de hielo se calcularán mediante la siguiente fórmula: $S_c = 0,36 * d \text{ daN}$, siendo d el diámetro del conductor. En este caso, al tratarse de apoyos en Zona B, **no corresponde el cálculo en zona C.**

6.3.1.4 Hipótesis de partida:

6.3.1.4.1 TRACCIONES MÁXIMAS

La instrucción técnica complementaria 07 indica que las líneas eléctricas de alta tensión en Zona B deben de poder soportar las siguientes sobrecargas, donde se tomará el peso tanto del conductor como del hielo completamente vertical y las fuerzas debidas al viento como perpendiculares al conductor:

- **Tracción máxima de viento:** la correspondiente al peso propio del conductor y una sobrecarga de viento de 140 km/h a -10° . Se consigue mediante la siguiente suma vectorial, donde P_v es la sobrecarga de viento y P_c el peso propio del conductor:

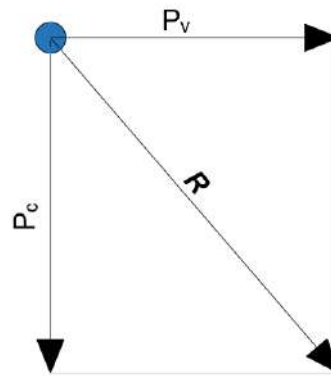


Ilustración 78 - Sobrecargas debidas al peso y al viento

$$R = \sqrt{P_v^2 + P_c^2}$$

A su vez, la sobrecarga de viento se calculará como la presión del viento a 140 km/h

($q = 68 \frac{daN}{m^2}$, calculada anteriormente) multiplicada por el diámetro, resultando una sobrecarga lineal que se mide en daN/m.

De esta forma, resulta:

En el conductor:

$$P_v = 68 * \frac{27,72}{1000} = 1,89 \text{ daN/m}$$

$$P_c = 1,49 \text{ daN/m}$$

$$\text{Tracción máxima viento: } R = \sqrt{P_v^2 + P_c^2} = \sqrt{1,89^2 + 1,49^2} = 2,41 \text{ daN/m}$$

En el cable de fibra óptica:

$$P_v = 68 * \frac{16,4}{1000} = 1,12 \text{ daN/m}$$

$$P_c = 0,77 \text{ daN/m}$$

$$\text{Tracción máxima viento: } R = \sqrt{P_v^2 + P_c^2} = 1,36 \text{ daN/m}$$

En resumen:

Conductor	OPGW
$R_v = 2,41 \text{ daN/m}$	$R_v = 1,36 \text{ daN/m}$

Tabla 58 – Tracción máxima de viento

- **Tracción máxima de hielo:** la correspondiente al peso propio del conductor y al peso del manguito de hielo a -15°C. Se consigue mediante la siguiente suma, donde P_h es el peso del manguito de hielo a -15°C y P_c es el peso propio del conductor:



Ilustración 79 - Sobrecargas debidas al peso del conductor y del hielo

$$R = P_c + P_h$$

A su vez, el peso del manguito de hielo es el calculado previamente: $S_c = 0,18 * \sqrt{27,72} = 0,95 \text{ daN/m}$ para el conductor o $S_c = 0,73 \text{ daN/m}$. Resulta:

En el conductor:

$$\text{Tracción máxima hielo: } R = P_c + P_h = 1,49 + 0,95 = 2,44 \text{ daN/m}$$

En el cable de fibra óptica:

$$\text{Tracción máxima hielo: } R = P_c + P_h = 0,77 + 0,73 = 1,50 \text{ daN/m}$$

En resumen:

Conductor	OPGW
$R_h = 2,44 \text{ daN/m}$	$R_h = 1,50 \text{ daN/m}$

Tabla 59 – Tracción máxima de hielo

- **Tracción máxima hielo con viento:** es la correspondiente a una sobrecarga de viento de 60 km/h, el peso propio del conductor y una sobrecarga de hielo a -15°C:

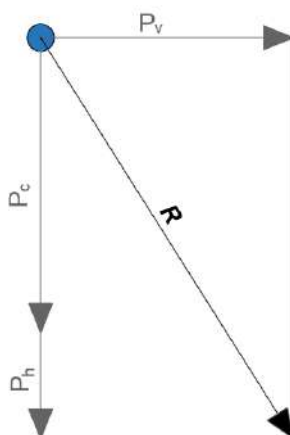


Ilustración 80 - Sobrecargas debidas al peso, hielo y viento

$$R = \sqrt{(P_c + P_h)^2 + P_v^2}$$

En este caso, la sobrecarga de viento deberá de tener en cuenta el espesor del manguito de hielo adicional, ya que este también se ve afectado por la fuerza del viento.

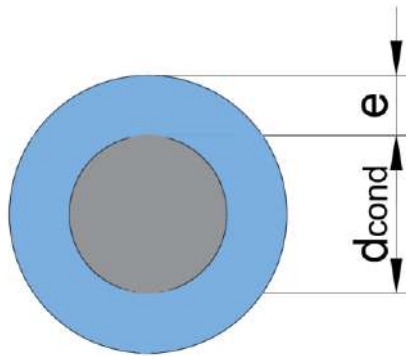


Ilustración 81 - Esquema de un manguito de hielo de espesor "e"

El espesor del manguito de hielo se obtiene mediante la siguiente fórmula:

$$e = -r_{cond} + \sqrt{r_{cond}^2 + \frac{240 * \sqrt{2} * r_{cond}}{\pi}}$$

Para el caso de estudio, el espesor del conductor resulta $e = 10,52 \text{ mm}$

A su vez, el espesor del cable de fibra óptica $e = 11,21 \text{ mm}$

El diámetro total constará de manguito y conductor: $d = d_{cond} + 2 * e = 48,8 \text{ mm}$

O, en su caso, la suma del manguito y el cable de fibra óptica $d = d_{cond} + 2 * e = 38,8 \text{ mm}$

A su vez, la presión del viento será:

⁹ Esta fórmula se obtiene a partir de una ecuación que tiene en cuenta la variación del espesor del manguito con la latitud, y es específica para Zona B. Fuente: [Universidad Politécnica de Cartagena](#)

$$q = 50 \cdot \left(\frac{60}{120}\right)^2 = 12,5 \text{ daN/m}^2$$

Finalmente:

En el conductor:

$$P_v = q \cdot d = 0,61 \text{ daN/m}$$

Tracción máxima hielo + viento $R = \sqrt{(P_c + P_h)^2 + P_v^2} = 2,52 \text{ daN/m}$

En el cable de fibra óptica:

$$P_v = q \cdot d = 0,49 \text{ daN/m}$$

Tracción máxima hielo + viento $R = \sqrt{(P_c + P_h)^2 + P_v^2} = 1,58 \text{ daN/m}$

En resumen:

Conductor	OPGW
$R_{h+v} = 2,52 \text{ daN/m}$	$R_{h+v} = 1,58 \text{ daN/m}$

Tabla 60 – Tracción máxima de hielo + viento

6.3.1.4.2 Flecha Máxima

La instrucción técnica complementaria 07 indica que para líneas eléctricas de alta tensión en Zona B se deben calcular las flechas máximas en las siguientes circunstancias:

- **Flecha máxima con viento:** Correspondiente al peso propio del conductor y una sobrecarga de viento 120 km/h a la temperatura de 15 ° C.

$$R = \sqrt{P_c^2 + P_v^2}$$

En el conductor:

En este caso, $q = 50 * \left(\frac{120}{120}\right)^2 = 50 \frac{daN}{m^2}$, lo que implica $P_v = q \cdot d = 1,39 daN$.

Finalmente, se concluye:

Carga para **flecha máxima con viento**: $R = \sqrt{P_c^2 + P_v^2} = 2,04 daN/m$

En el cable de fibra óptica:

En este caso, $q = 50 * \left(\frac{120}{120}\right)^2 = 50 \frac{daN}{m^2}$, lo que implica $P_v = q \cdot d = 0,82 daN$.

Finalmente, se concluye:

Carga para **flecha máxima con viento**: $R = \sqrt{P_c^2 + P_v^2} = 1,13 daN/m$

En resumen:

Conductor	OPGW
$R_{fv} = 2,04 daN/m$	$R_{fv} = 1,13 daN/m$

Tabla 61 – Tracción en flecha máxima con viento

- **Flecha máxima con hielo:** Superposición del peso del propio conductor y del manguito de hielo a 0°C.

$$R = P_c + P_h$$

El espesor del manguito siendo una vez más el calculado previamente

En el conductor:

Carga para **flecha máxima hielo**: $R = P_c + P_h = 1,49 + 0,95 = 2,44 daN/m$

En el cable de fibra óptica:

Carga para **flecha máxima hielo**: $R = P_c + P_h = 1,50 \text{ daN/m}$

En resumen:

Conductor	OPGW
$R_{fh} = 2,44 \text{ daN/m}$	$R_{fh} = 1,50 \text{ daN/m}$

Tabla 62 – Tracción en flecha máxima con hielo

- **Flecha máxima temperatura 85°C:** Debido al propio peso del conductor a la temperatura de 85 ° C.

En el conductor:

Carga para **flecha máxima a 85°**: $R = P_c = 1,49 \text{ daN/m}$

En el cable de fibra óptica:

Carga para **flecha máxima a 85°**: $R = P_c = 0,77 \text{ daN/m}$

En resumen:

Conductor	OPGW
$R_{f85^\circ} = 1,49 \text{ daN/m}$	$R_{f85^\circ} = 0,77 \text{ daN/m}$

Tabla 63 – Tracción en flecha máxima a 85°

6.3.1.4.3 Flecha Mínima

La instrucción técnica complementaria 07 indica que para líneas eléctricas de alta tensión en Zona B se deben calcular las flechas mínimas en las siguientes circunstancias:

- **Flecha mínima temperatura -15°C** Debido al propio peso del conductor a la temperatura de -15 ° C.

En el conductor:

Carga para *flecha mínima a* – 15°: $R = P_c = 1,49 \text{ daN/m}$

En el cable de fibra óptica:

Carga para *flecha mínima a* – 15°: $R = P_c = 0,77 \text{ daN/m}$

En resumen:

Conductor	OPGW
$R_{f85^\circ} = 1,49 \text{ daN/m}$	$R_{f85^\circ} = 0,77 \text{ daN/m}$

Tabla 64 – Tracción en flecha mínima a 85°

6.3.1.4.4 Limitación de Fenómenos Vibratorios

- **Desviación de cadenas con viento mitad:** Debido al peso propio y una sobrecarga de viento 25 daN/mm^2 a la temperatura de -10° C .

La presión de la desviación de cadenas con viento mitad se puede calcular como $P_{v|2} = q \cdot d$.

	Conductor	Cable de fibra
q	$q = 25 \text{ daN/mm}^2$	$q = 25 \text{ daN/mm}^2$
$P_{v 2}$	$P_{v 2} = q \cdot d = 0,694 \frac{\text{daN}}{\text{m}}$	$P_{v 2} = q \cdot d = 0,41 \frac{\text{daN}}{\text{m}}$

Tabla 65 - Cadenas de viento mitad

Se calculan las resultantes para este caso:

En el conductor:

Se concluye, carga de con viento mitad: $R = \sqrt{P_c^2 + P_{v|2}^2} = 1,65 \text{ daN/m}$

En el cable de fibra óptica:

Se concluye, carga de con viento mitad: $R = \sqrt{P_c^2 + P_{v/2}^2} = 0,88 \text{ daN/m}$

En resumen:

Conductor	OPGW
$R_{v/2} = 1,65 \text{ daN/m}$	$R_{v/2} = 0,88 \text{ daN/m}$

Tabla 66 - Cargas a viento mitad

- **Control de vibraciones:** Acción del peso propio a la temperatura de -5° C.

En el conductor:

Carga de control de vibraciones: $R = P_c = 1,49 \text{ daN/m}$

En el cable de fibra óptica:

Carga de control de vibraciones: $R = P_c = 0,77 \text{ daN/m}$

En resumen:

Conductor	OPGW
$R_{cv} = 1,49 \text{ daN/m}$	$R_{cv} = 0,77 \text{ daN/m}$

Tabla 67 - Cargas a viento mitad

Se muestra a continuación una tabla resumiendo los valores obtenidos para todas las hipótesis explicadas:

Tabla resumen para el conductor CÓNDOR:

Hipótesis	Temperatura (°C)	Sobrecarga hielo			Sobrecarga viento			Peso conductor (daN/m)	Resultante (daN/m)
		Espesor manguito (mm)	Densidad hielo (daN/m³)	Peso hielo (daN/m)	Presión viento (daN/mm²)	Diámetro incluido manguito (mm)	Sobrecarga viento (daN/m)		
Tracción máxima de viento	-10	0	750	0	68,06	27,76	1,889	1,49	2,41
Tracción máxima de hielo	-15	10,52	750	0,95	0	48,80	0	1,49	2,44
Tracción máxima de hielo + viento	-15	10,52	750	0,95	12,5	48,80	0,61	1,49	2,52
EDS	15	0	750	0	0	27,76	0	1,49	1,49
Flecha máxima temperatura (50°)	50	0	750	0	0	27,76	0	1,49	1,49
Flecha máxima temperatura (85°)	85	0	750	0	0	27,76	0	1,49	1,49
Flecha máxima viento	15	0	750	0	50	27,76	1,388	1,49	2,04
Flecha máxima hielo	0	10,52	750	0,95	0	48,80	0	1,49	2,44
Flecha mínima	-15	0	750	0	0	27,76	0	1,49	1,49
Desviación cadenas	-10	0	750	0	25	27,76	0,694	1,49	1,65
Control de vibraciones	-5	0	750	0	0	27,76	0	1,49	1,49

Tabla 68 - Resumen de hipótesis para el conductor CONDOR en zona B

Tabla resumen para el OPGW:

Hipótesis	Temperatura (°C)	Sobrecarga hielo			Sobrecarga viento			Peso conductor (daN/m)	Resultante (daN/m)
		Espesor manguito (mm)	Densidad hielo (daN/m ³)	Peso hielo (daN/m)	Presión viento (daN/mm ²)	Diámetro incluido manguito (mm)	Sobrecarga viento (daN/m)		
Tracción máxima de viento	-10	0	750	0	68,06	18,3896	1,252	0,798286	1,48
Tracción máxima de hielo	-15	11,11	750	0,77	0	40,6096	0	0,798286	1,57
Tracción máxima de hielo + viento	-15	11,11	750	0,77	12,5	40,6096	0,508	0,798286	1,65
EDS	15	0	750	0	0	18,3896	0	0,798286	0,8
Flecha máxima temperatura (50°)	50	0	750	0	0	18,3896	0	0,798286	0,8
Flecha máxima temperatura (85°)	85	0	750	0	0	18,3896	0	0,798286	0,8
Flecha máxima viento	15	0	750	0	50	18,3896	0,919	0,798286	1,22
Flecha máxima hielo	0	11,11	750	0,77	0	40,6096	0	0,798286	1,57
Flecha mínima	-15	0	750	0	0	18,3896	0	0,798286	0,8
Desviación cadenas	-10	0	750	0	25	18,3896	0,46	0,798286	0,92
Control de vibraciones	-5	0	750	0	0	18,3896	0	0,798286	0,8

Tabla 69 - Resumen de hipótesis para el conductor CONDOR en zona B

Un corte en una longitud aleatoria de un cable tendido tiene la siguiente distribución de tensiones:

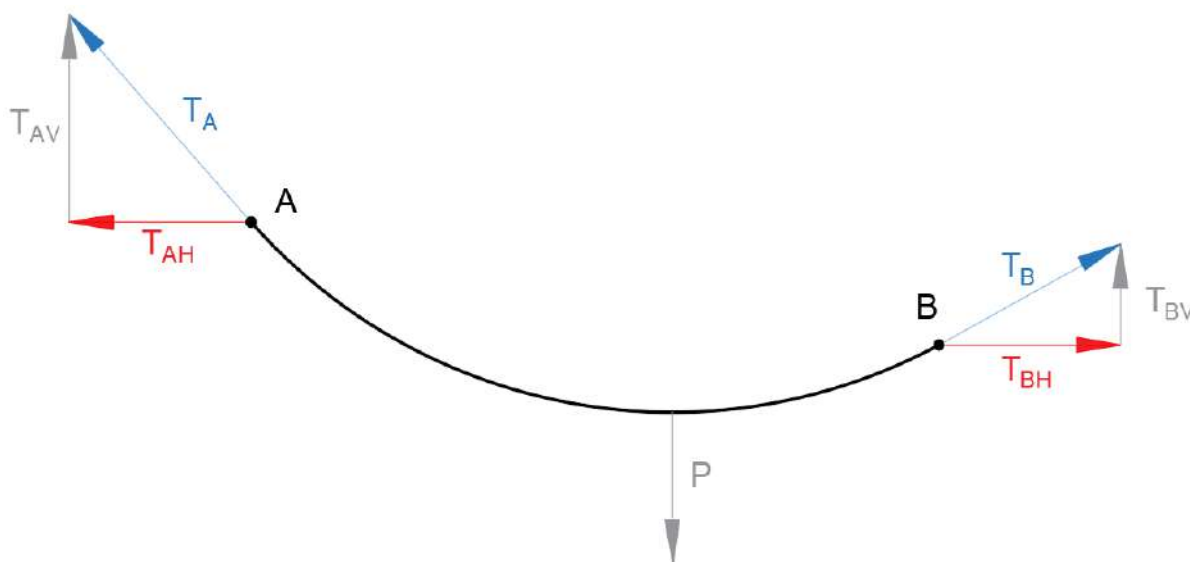


Ilustración 82 - Distribución de tensiones en un corte del cable

Aplicando equilibrio de fuerzas:

$$T_{AV} + T_{BV} - P = 0 \quad \text{E. 4}$$

$$T_{BH} - T_{AH} = 0 \quad \text{E. 5}$$

Se deduce de la $T_{BH} - T_{AH} = 0$ E. 5, que las tensiones horizontales en todo el vano se mantienen constantes.

Además, se puede calcular la tracción en cualquier punto de la línea como el peso que tendría un hilo ficticio, en las condiciones de estudio, multiplicado por un parámetro H que se obtiene directamente gracias al software PLS – CADD. Este parámetro se podría asimilar al radio de curvatura que tendría un círculo asemejado a la catenaria del cable tendido.

Se calculará, por lo tanto, la tracción para el punto más bajo de tendido de cable, **completamente horizontal**, para poder usar dicha tensión para el cálculo de la flecha:

$$f = \frac{T_0}{p_a} \cdot \left(\cosh\left(\frac{a \cdot p_a}{2 \cdot T_0}\right) - 1 \right)$$

siendo:

- p_a Resultante del cable (daN/m), para cada condición de estudio
- T_0 Componente horizontal de la tensión del cable correspondiente (daN)
- a Longitud del vano (m),

Resultan las siguientes tablas de tensión y flecha para las condiciones de estudio expuestas en este apartado:

Para el conductor cóndor:

Apoyo		Vano (m)	Tracción Máxima Viento			Tracción Máxima Hielo			Tracción Máxima Hielo+Viento		
Inicial	Final		Tensión (daN)	H (m)	Flecha (m)	Tensión (daN)	H (m)	Flecha (m)	Tensión (daN)	H (m)	Flecha (m)
P-SET CORRALES	1	61,26	1090	450	1,09	1165	472	1,04	1194	470	1,04
1	2	312,35	3513	1445	8,51	3627	1469	8,38	3710	1457	8,44
2	3	377,88	3524	1443	12,5	3636	1463	12,33	3723	1454	12,41
3	4	213,85	3499	1443	3,97	3609	1463	3,92	3695	1454	3,94
4	5	357,55	3521	1443	11,11	3634	1463	10,96	3721	1454	11,03
5	6	225,44	3370	1378	4,66	3527	1408	4,57	3599	1394	4,61
6	7	185,64	3333	1378	3,13	3454	1408	3,06	3527	1394	3,09
7	8	305,25	3396	1378	8,57	3567	1408	8,4	3639	1394	8,47
8	9	265,94	3402	1378	6,55	3590	1408	6,41	3661	1394	6,47
9	10	228,9	3342	1370	4,82	3500	1404	4,7	3567	1389	4,75
10	11	221,29	3374	1394	4,4	3478	1416	4,33	3560	1406	4,36
11	PAS 12	358,83	3463	1394	11,8	3637	1416	11,62	3718	1406	11,7

Tabla 70 – Tensión en el conductor (1)

Apoyo		Vano (m)	Flecha máxima (+85°C)			Flecha máxima viento (+15°C+120kmh)		
Inicial	Final		Tensión (daN)	H (m)	Flecha (m)	Tensión (daN)	H (m)	Flecha (m)
P-SET CORRALES	1	61,26	424	279	1,76	759	368	1,33
1	2	312,35	1716	1130	10,9	2806	1361	9,04
2	3	377,88	1777	1161	15,55	2838	1369	13,17
3	4	213,85	1757	1161	4,94	2815	1369	4,19
4	5	357,55	1775	1161	13,82	2836	1369	11,71
5	6	225,44	1573	1018	6,31	2650	1275	5,04
6	7	185,64	1533	1018	4,23	2612	1275	3,38
7	8	305,25	1598	1018	11,61	2675	1275	9,27
8	9	265,94	1607	1018	8,87	2683	1275	7,08
9	10	228,9	1497	974	6,78	2593	1251	5,28
10	11	221,29	1654	1097	5,59	2697	1315	4,66
11	PAS 12	358,83	1745	1097	15,01	2786	1315	12,52

Tabla 71 - Tensión en el conductor (2)

Apoyo		Vano (m)	Flecha máxima hielo (0°C+hB)			Flecha mínima (-15°C)		
Inicial	Final		Tensión (daN)	H (m)	Flecha (m)	Tensión (daN)	H (m)	Flecha (m)
P-SET	1	61,26	1007	408	1,2	788	523	0,94
CORRALES	2	312,35	3430	1388	8,87	2483	1646	7,47
1	3	377,88	3464	1392	12,95	2446	1612	11,18
2	4	213,85	3436	1392	4,12	2431	1612	3,55
3	5	357,55	3462	1392	11,52	2445	1612	9,94
4	6	225,44	3287	1310	4,91	2488	1627	3,95
5	7	185,64	3217	1310	3,29	2441	1627	2,65
6	8	305,25	3327	1310	9,02	2513	1627	7,26
7	9	265,94	3348	1310	6,89	2529	1627	5,55
8	10	228,9	3225	1291	5,11	2536	1666	3,96
9	11	221,29	3296	1341	4,57	2361	1572	3,9
10	PAS 12	358,83	3453	1341	12,27	2461	1572	10,46

Tabla 72 - Tensión en el conductor (3)

Apoyo		Vano (m)	Desviación cadenas (-5°C+PV/2)			Control de vibraciones (-5°C)			EDS (+15°C)		
Inicial	Final		Tensión (daN)	H (m)	Flecha (m)	Tensión (daN)	H (m)	Flecha (m)	Tensión (daN)	H (m)	Flecha (m)
P-SET CORRALES	1	61,26	801	482	1,02	695	461	1,07	573	379	1,29
1	2	312,35	2617	1573	7,82	2366	1567	7,85	2168	1434	8,58
2	3	377,88	2596	1552	11,62	2348	1546	11,66	2180	1433	12,58
3	4	213,85	2579	1552	3,69	2332	1546	3,71	2163	1433	4
4	5	357,55	2594	1552	10,33	2347	1546	10,36	2179	1433	11,19
5	6	225,44	2580	1533	4,19	2333	1524	4,22	2083	1357	4,73
6	7	185,64	2535	1533	2,81	2287	1524	2,83	2038	1357	3,18
7	8	305,25	2604	1533	7,71	2358	1524	7,75	2107	1357	8,71
8	9	265,94	2617	1533	5,89	2373	1524	5,92	2120	1357	6,65
9	10	228,9	2601	1552	4,25	2348	1542	4,28	2051	1344	4,91
10	11	221,29	2496	1507	4,06	2254	1500	4,08	2074	1379	4,44
11	PAS 12	358,83	2593	1507	10,91	2353	1500	10,96	2170	1379	11,93

Tabla 73 - Tensión en el conductor (4)

Para el cable OPGW:

Apoyo		Vano (m)	Tracción Máxima Viento			Tracción Máxima Hielo			Tracción Máxima Hielo+Viento		
Inicial	Final		Tensión (daN)	H (m)	Flecha (m)	Tensión (daN)	H (m)	Flecha (m)	Tensión (daN)	H (m)	Flecha (m)
P-SET CORRALES	1	61,26	893	596	0,81	985	613	0,79	1010	599	0,8
1	2	312,35	2174	1452	8,41	2301	1449	8,43	2381	1427	8,56
2	3	377,88	2178	1450	12,35	2309	1447	12,37	2393	1427	12,54
3	4	213,85	2165	1450	3,95	2294	1447	3,96	2378	1427	4,02
4	5	357,55	2180	1450	11,06	2314	1447	11,09	2398	1427	11,24
5	6	225,44	2077	1380	4,67	2227	1378	4,67	2295	1353	4,76
6	7	185,64	2055	1380	3,12	2174	1378	3,13	2243	1353	3,19
7	8	305,25	2089	1380	8,56	2246	1378	8,58	2314	1353	8,73
8	9	265,94	2094	1380	6,56	2268	1378	6,57	2334	1353	6,69
9	10	228,9	2060	1373	4,81	2197	1371	4,82	2260	1342	4,92
10	11	221,29	2076	1391	4,41	2198	1390	4,41	2277	1370	4,48
11	PAS 12	358,83	2126	1391	11,85	2309	1390	11,86	2386	1370	12,03

Tabla 74 - Tensión en el OPGW (1)

Apoyo		Vano (m)	Flecha máxima (+85°C)			Flecha máxima viento (+15°C+120kmh)		
Inicial	Final		Tensión (daN)	H (m)	Flecha (m)	Tensión (daN)	H (m)	Flecha (m)
P-SET CORRALES	1	61,26	258	312	1,54	609	493	0,98
1	2	312,35	980	1210	10,1	1733	1410	8,67
2	3	377,88	1006	1236	14,49	1744	1413	12,67
3	4	213,85	998	1236	4,64	1733	1413	4,06
4	5	357,55	1009	1236	12,99	1746	1413	11,35
5	6	225,44	900	1089	5,92	1643	1325	4,86
6	7	185,64	875	1089	3,96	1620	1325	3,25
7	8	305,25	910	1089	10,86	1654	1325	8,92
8	9	265,94	918	1089	8,31	1660	1325	6,83
9	10	228,9	854	1042	6,34	1615	1308	5,05
10	11	221,29	939	1165	5,26	1655	1351	4,54
11	PAS 12	358,83	992	1165	14,15	1706	1351	12,2

Tabla 75 - Tensión en el OPGW (2)

Apoyo		Vano (m)	Flecha máxima hielo (0°C+hB)			Flecha mínima (-15°C)		
Inicial	Final		Tensión (daN)	H (m)	Flecha (m)	Tensión (daN)	H (m)	Flecha (m)
P-SET CORRALES	1	61,26	847	526	0,92	707	868	0,55
1	2	312,35	2204	1387	8,81	1400	1739	7,03
2	3	377,88	2222	1391	12,86	1368	1692	10,58
3	4	213,85	2207	1391	4,12	1362	1692	3,39
4	5	357,55	2228	1391	11,53	1371	1692	9,48
5	6	225,44	2110	1304	4,94	1421	1736	3,71
6	7	185,64	2058	1304	3,31	1391	1736	2,48
7	8	305,25	2129	1304	9,06	1430	1736	6,8
8	9	265,94	2150	1304	6,94	1444	1736	5,21
9	10	228,9	2067	1288	5,13	1463	1802	3,66
10	11	221,29	2107	1331	4,6	1319	1642	3,73
11	PAS 12	358,83	2217	1331	12,38	1379	1642	10,03

Tabla 76 - Tensión en el OPGW (3)

Apoyo		Vano (m)	Desviación cadenas (-5°C+PV/2)			Control de vibraciones (-5°C)			EDS (+15°C)		
Inicial	Final		Tensión (daN)	H (m)	Flecha (m)	Tensión (daN)	H (m)	Flecha (m)	Tensión (daN)	H (m)	Flecha (m)
P-SET	1	61,26	695	741	0,65	597	732	0,66	447	546	0,88
CORRALES	2	312,35	1528	1644	7,43	1337	1660	7,36	1230	1525	8,01
1	3	377,88	1506	1614	11,09	1316	1626	11	1226	1513	11,83
2	4	213,85	1498	1614	3,55	1309	1626	3,53	1219	1513	3,79
3	5	357,55	1509	1614	9,94	1319	1626	9,86	1229	1513	10,6
4	6	225,44	1517	1612	3,99	1336	1631	3,95	1196	1457	4,42
5	7	185,64	1490	1612	2,67	1307	1631	2,64	1169	1457	2,96
6	8	305,25	1527	1612	7,33	1345	1631	7,24	1206	1457	8,11
7	9	265,94	1538	1612	5,61	1359	1631	5,55	1218	1457	6,21
8	10	228,9	1540	1646	4,01	1359	1672	3,95	1191	1462	4,51
9	11	221,29	1446	1560	3,93	1263	1572	3,9	1166	1451	4,23
10	PAS	358,83	1502	1560	10,56	1322	1572	10,48	1224	1451	11,36
11	12										

Tabla 77 - Tensión en el OPGW (4)

Coefficientes de seguridad

La ITC 07 indica que el coeficiente de seguridad para conductores y cables de guarda no debe ser inferior a 3. Este coeficiente de seguridad se calcula en cada caso como el cociente entre la carga de rotura y la tensión en ese vano.

Para el conductor cóndor:

<i>Apoyos</i>		<i>Carga de rotura</i>	<i>Tracción Máxima Viento</i>		<i>Tracción Máxima Hielo</i>		<i>Tracción Máxima Hielo+Viento</i>	
Inicial	Final		Tensión (daN)	CS	Tensión (daN)	CS	Tensión (daN)	CS
PT	1	12544	1090	12	1165	11	1194	11
1	2	12544	3513	4	3627	3	3710	3
2	3	12544	3524	4	3636	3	3723	3
3	4	12544	3499	4	3609	3	3695	3
4	5	12544	3521	4	3634	3	3721	3
5	6	12544	3370	4	3527	4	3599	3
6	7	12544	3333	4	3454	4	3527	4
7	8	12544	3396	4	3567	4	3639	3
8	9	12544	3402	4	3590	3	3661	3
9	10	12544	3342	4	3500	4	3567	4
10	11	12544	3374	4	3478	4	3560	4
11	PAS 12	12544	3463	4	3637	3	3718	3

Tabla 78 - CS para el conductor (1)

Apoyos		Carga de rotura	Flecha máxima (+85°C)		Flecha máxima viento (+15°C+120kmh)	
Inicial	Final		Tensión (daN)	CS	Tensión (daN)	CS
PT	1	12544	424	30	759	17
1	2	12544	1716	7	2806	4
2	3	12544	1777	7	2838	4
3	4	12544	1757	7	2815	4
4	5	12544	1775	7	2836	4
5	6	12544	1573	8	2650	5
6	7	12544	1533	8	2612	5
7	8	12544	1598	8	2675	5
8	9	12544	1607	8	2683	5
9	10	12544	1497	8	2593	5
10	11	12544	1654	8	2697	5
11	PAS 12	12544	1745	7	2786	5

Tabla 79 - CS para el conductor (2)

Apoyos		Carga de rotura	Flecha máxima hielo (0°C+hB)		Flecha mínima (-15°C)	
Inicial	Final		Tensión (daN)	CS	Tensión (daN)	CS
PT	1	12544	1007	12	788	16
1	2	12544	3430	4	2483	5
2	3	12544	3464	4	2446	5
3	4	12544	3436	4	2431	5
4	5	12544	3462	4	2445	5
5	6	12544	3287	4	2488	5
6	7	12544	3217	4	2441	5
7	8	12544	3327	4	2513	5
8	9	12544	3348	4	2529	5
9	10	12544	3225	4	2536	5
10	11	12544	3296	4	2361	5
11	PAS 12	12544	3453	4	2461	5

Tabla 80 - CS para el conductor (3)

Apoyos		Carga de rotura	Desviación cadenas (-5°C+PV/2)		Control de vibraciones (-5°C)		EDS (+15°C)	
Inicial	Final		Tensión (daN)	CS	Tensión (daN)	CS	Tensión (daN)	CS
PT	1	12544	801	16	695	18	573	22
1	2	12544	2617	5	2366	5	2168	6
2	3	12544	2596	5	2348	5	2180	6
3	4	12544	2579	5	2332	5	2163	6
4	5	12544	2594	5	2347	5	2179	6
5	6	12544	2580	5	2333	5	2083	6
6	7	12544	2535	5	2287	5	2038	6
7	8	12544	2604	5	2358	5	2107	6
8	9	12544	2617	5	2373	5	2120	6
9	10	12544	2601	5	2348	5	2051	6
10	11	12544	2496	5	2254	6	2074	6
11	PAS 12	12544	2593	5	2353	5	2170	6

Tabla 81 - CS para el conductor (4)

Para el cable OPGW:

Apoyos		Carga de rotura	Tracción Máxima Viento		Tracción Máxima Hielo		Tracción Máxima Hielo+Viento	
Inicial	Final		Tensión (daN)	CS	Tensión (daN)	CS	Tensión (daN)	CS
PT	1	10473,3	893	12	985	11	1010	10
1	2	10473,3	2174	5	2301	5	2381	4
2	3	10473,3	2178	5	2309	5	2393	4
3	4	10473,3	2165	5	2294	5	2378	4
4	5	10473,3	2180	5	2314	5	2398	4
5	6	10473,3	2077	5	2227	5	2295	5
6	7	10473,3	2055	5	2174	5	2243	5
7	8	10473,3	2089	5	2246	5	2314	5
8	9	10473,3	2094	5	2268	5	2334	4
9	10	10473,3	2060	5	2197	5	2260	5
10	11	10473,3	2076	5	2198	5	2277	5
11	PAS 12	10473,3	2126	5	2309	5	2386	4

Tabla 82 - CS para el OPGW

Apoyos		Carga de rotura	Flecha máxima (+85°C)		Flecha máxima viento (+15°C+120kmh)	
Inicial	Final		Tensión (daN)	CS	Tensión (daN)	CS
PT	1	10473,3	424	25	759	14
1	2	10473,3	1716	6	2806	4
2	3	10473,3	1777	6	2838	4
3	4	10473,3	1757	6	2815	4
4	5	10473,3	1775	6	2836	4
5	6	10473,3	1573	7	2650	4
6	7	10473,3	1533	7	2612	4
7	8	10473,3	1598	7	2675	4
8	9	10473,3	1607	7	2683	4
9	10	10473,3	1497	7	2593	4
10	11	10473,3	1654	6	2697	4
11	PAS 12	10473,3	1745	6	2786	4

Tabla 83 - CS para el OPWG (2)

Apoyos		Carga de rotura	Flecha máxima hielo (0°C+hB)		Flecha mínima (-15°C)	
Inicial	Final		Tensión (daN)	CS	Tensión (daN)	CS
PT	1	10473,3	1007	10	788	13
1	2	10473,3	3430	3	2483	4
2	3	10473,3	3464	3	2446	4
3	4	10473,3	3436	3	2431	4
4	5	10473,3	3462	3	2445	4
5	6	10473,3	3287	3	2488	4
6	7	10473,3	3217	3	2441	4
7	8	10473,3	3327	3	2513	4
8	9	10473,3	3348	3	2529	4
9	10	10473,3	3225	3	2536	4
10	11	10473,3	3296	3	2361	4
11	PAS 12	10473,3	3453	3	2461	4

Tabla 84 - CS para el OPGW (3)

Apoyos		Carga de rotura	Desviación cadenas (-5°C+PV/2)		Control de vibraciones (-5°C)		EDS (+15°C)	
Inicial	Final		Tensión (daN)	CS	Tensión (daN)	CS	Tensión (daN)	CS
PT	1	10473,3	801	13	695	15	573	18
1	2	10473,3	2617	4	2366	4	2168	5
2	3	10473,3	2596	4	2348	4	2180	5
3	4	10473,3	2579	4	2332	4	2163	5
4	5	10473,3	2594	4	2347	4	2179	5
5	6	10473,3	2580	4	2333	4	2083	5
6	7	10473,3	2535	4	2287	5	2038	5
7	8	10473,3	2604	4	2358	4	2107	5
8	9	10473,3	2617	4	2373	4	2120	5
9	10	10473,3	2601	4	2348	4	2051	5
10	11	10473,3	2496	4	2254	5	2074	5
11	PAS 12	10473,3	2593	4	2353	4	2170	5

Tabla 85 - CS para OPGW (4)

6.3.1.5 Tablas de regulación

Vano ideal de regulación

Como se ha explicado anteriormente, las tensiones horizontales en todo el vano se mantienen constantes.

Además, en apoyos de suspensión, el cable se sitúa colgado desde el apoyo, por lo que dicho apoyo no aplica fuerzas horizontales en el cable tensionado. Esto implica que la componente horizontal de las tensiones no sólo se mantiene constante en cada vano, si no en cada cadena de vanos sucesivos que estén unidos por apoyos de suspensión. A este conjunto de vanos se denomina **cantón**.

Se define, por tanto, el **vano ideal de regulación (a_r)**, como un vano ficticio cuya componente horizontal es la de su cantón correspondiente. Es decir, es el vano que define el comportamiento del cantón.

Por ejemplo, los siguientes 4 vanos pertenecen al mismo cantón, por ser vanos sucesivos con apoyos de suspensión entre ellos.

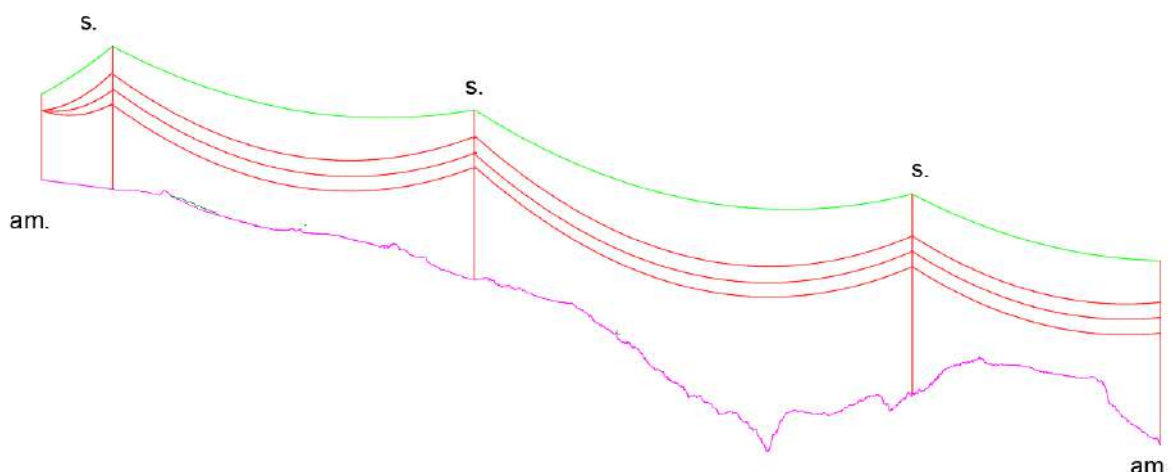


Ilustración 83 – Cantón

Cada vano de regulación se calcula como:

$$a_r = k \sqrt{\frac{\sum a_i^3}{\sum \frac{a_i^2}{a_i}}} \quad (\text{m})$$

Donde:

$$k = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{a_i'^3}{a_i^2}}{\sum_{i=1}^n \frac{a_i'^2}{a_i}}$$

$$a'_i = \sqrt{a_i^2 + b_i^2} \text{ (m)}$$

Con:

- a_i : Longitud del vano i medido en la dirección longitudinal (m)
- b_i : Desnivel del vano i medido en la dirección vertical (m), se calcula mediante las coordenadas UTM y la altura de cada apoyo.

En nuestro caso de estudio, estas son las funciones de cada apoyo:

<i>N ° Apoyo</i>	<i>Función</i>
Pórtico SET Corrales	Pórtico SET
1	ÁNGULO-FIN DE LÍNEA
2	ÁNGULO-ANCLAJE
3	ALINEACIÓN-SUSPENSIÓN
4	ALINEACIÓN-SUSPENSIÓN
5	ALINEACIÓN-AMARRE
6	ALINEACIÓN-SUSPENSIÓN
7	ALINEACIÓN-SUSPENSIÓN
8	ALINEACIÓN-SUSPENSIÓN
9	ALINEACIÓN-AMARRE
10	ALINEACIÓN-AMARRE
11	ALINEACIÓN-SUSPENSIÓN
PAS 12	PAS

Tabla 86 - Función de los apoyos

De donde se obtienen 7 cantones:

<i>Cantón 1</i>	<i>Cantón 2</i>	<i>Cantón 3</i>	<i>Cantón 4</i>	<i>Cantón 5</i>	<i>Cantón 6</i>	<i>Cantón 7</i>
PT-1	1-2	2-5	5-8	8-9	9-10	10-12

Tabla 87 - Cantones del proyecto Los Corrales - Olite

Calculando los vanos ideales de cada cantón, resulta la Tabla 88:

Apoyo		Longitud del vano	Longitud del cantón	Desnivel	a _i '	k	a _r
Inicial	Final						
PT	1	61,26	61,26	-1,96	61,29	1,0005	60,67
1	2	312,35	312,35	-13,44	312,64	1,0009	311,71
2	3	377,88	949,28	-18,55	378,34	1,0019	338,72
3	4	213,85		-14,04	214,31		
4	5	357,55		-24,91	358,42		
5	6	225,44	716,33	36,4	228,36	1,010	254,13
6	7	185,64		5,46	185,72		
7	8	305,25		-50,33	309,37		
8	9	265,94	265,94	-57,31	272,05	1,023	227,21
9	10	228,9	228,9	-27,77	230,58	1,0073	
10	11	221,29	580,12	9,72	221,50	1,014	
11	PAS 12	358,83		-75,29	366,64		

Tabla 88 - Cantones y vanos ideales de regulación

Tablas de regulación

Como a medida que pasa el tiempo la flecha del cable crece. Por lo tanto, desde la fase de diseño nos debemos de asegurar que las distancias eléctricas se cumplan incluso para el caso más desfavorable. Aquí entran en acción **las tablas de regulación**. Se define tabla de regulación como el tensado que necesita el cable el día de montaje, en distintas condiciones atmosféricas, de forma que se asegure que en toda su vida útil la flecha del cable no incumpla las distancias eléctricas.

Para ello, primero calcularemos la tensión de cada vano en el caso más desfavorable, y posteriormente se calculará la tensión del día de montaje (únicamente teniendo en cuenta el peso del conductor) para distintas temperaturas, gracias a la ecuación de cambio de condiciones:

$$T_2^2 \cdot \left[T_2 \cdot \frac{A \cdot a^2 \cdot p_1^2}{T_1^2} + B \cdot (\theta_2 - \theta_1) - T_1 \right] = A \cdot a^2 \cdot p_2^2$$

siendo:

- T_1, q_1, p_1 Tensión, temperatura y carga del cable en condiciones iniciales.
- T_2, q_2, p_2 Tensión, temperatura y carga del cable en condiciones finales.
- a Vano de cálculo.
- $A = \frac{S \cdot E}{24}$, siendo E el modulo de elasticidad del cable (información del fabricante)
- $B = S \cdot E \cdot \alpha$, en daN/° C, con α el coeficiente de dilatación del cable (información del

fabricante)

El caso más desfavorable es el caso de **hielo + viento**, cuyas condiciones vienen definidas en la Tabla 68 y la Tabla 69, con la información de los vanos ideales de regulación y la sobrecarga ya definida, se obtiene la tensión en cada vano mediante las siguientes fórmulas:

Tensión en cada vano:

$$T_i = T_m * \frac{a_i}{a_i'}$$

Siendo T_m la tracción en el punto medio del vano:

$$T_m = 0,25 * (2 * \frac{CR}{3} - p * b_i + \sqrt{\left(p * b_i - 2 * \frac{CR}{3}\right)^2 - 2 * p^2 * a_i'^2})$$

Con:

- CR: carga de rotura del cable.
- p, sobrecarga de hielo + viento.

Una vez obtenidas estas tensiones en cada vano para el OPGW y el conductor, mediante la ecuación de cambio de condiciones, se calculan en el momento de tendido las tensiones correspondientes. Condiciones finales: **únicamente se tiene en cuenta el peso**.

Las temperaturas mínimas y máximas para el tendido serán -5°C y 50°, respectivamente. Adicionalmente, se calculará para varias temperaturas intermedias, definiendo un intervalo de temperatura de 5°C.

Resultan las tablas de regulación:

Para el conductor:

Vano	Longitud de Vano (m)	Vano de regulación (m)	-5°C		0°C		5°C		10°C		15°C		20°C		25°C		30°C		35°C		40°C		45°C		50°C	
			Tn (daN)	Fl (m)	Tn (daN)	Fl (m)	Tn (daN)	Fl (m)	Tn (daN)	Fl (m)	Tn (daN)	Fl (m)	Tn (daN)	Fl (m)	Tn (daN)	Fl (m)	Tn (daN)	Fl (m)	Tn (daN)	Fl (m)	Tn (daN)	Fl (m)	Tn (daN)	Fl (m)	Tn (daN)	Fl (m)
P-SET CORRALES a Apoyo 1	60,84	60,67	719,8	0,96	680,57	1,02	646,71	1,07	616,36	1,13	590,07	1,18	565,95	1,23	544,77	1,27	525,33	1,32	507,92	1,37	491,8	1,41	477,26	1,45	463,54	1,5
Apoyo 1 a Apoyo 2	311,99	311,71	2594,59	7,02	2533,7	7,19	2477,35	7,35	2422,95	7,52	2370,54	7,68	2321,09	7,85	2272,84	8,01	2227,63	8,18	2184,62	8,34	2142,92	8,5	2102,57	8,66	2064,51	8,82
Apoyo 2 a Apoyo 3	377,43	338,72	2526,23	10,56	2476,34	10,78	2427,58	10,99	2381,78	11,2	2337,19	11,42	2294,75	11,63	2254,5	11,84	2214,66	12,05	2177,07	12,26	2140,86	12,47	2106,51	12,67	2073,12	12,88
Apoyo 3 a Apoyo 4	213,85	338,72	2526,23	3,39	2476,34	3,46	2427,58	3,53	2381,78	3,6	2337,19	3,66	2294,75	3,73	2254,5	3,8	2214,66	3,87	2177,07	3,93	2140,86	4	2106,51	4,07	2073,12	4,13
Apoyo 4 a Apoyo 5	357,55	338,72	2526,23	9,48	2476,34	9,67	2427,58	9,87	2381,78	10,06	2337,19	10,25	2294,75	10,44	2254,5	10,62	2214,66	10,82	2177,07	11	2140,86	11,19	2106,51	11,37	2073,12	11,56
Apoyo 5 a Apoyo 6	225,44	254,13	2577,12	3,73	2500,3	3,84	2427,79	3,95	2357,92	4,07	2292,54	4,19	2229,97	4,31	2171,17	4,42	2115,32	4,54	2063,4	4,65	2012,71	4,77	1966,08	4,88	1920,77	5
Apoyo 6 a Apoyo 7	185,64	254,13	2577,12	2,5	2500,3	2,58	2427,79	2,65	2357,92	2,73	2292,54	2,81	2229,97	2,89	2171,17	2,97	2115,32	3,05	2063,4	3,12	2012,71	3,2	1966,08	3,28	1920,77	3,35
Apoyo 7 a Apoyo 8	305,25	254,13	2577,12	6,85	2500,3	7,06	2427,79	7,27	2357,92	7,49	2292,54	7,7	2229,97	7,92	2171,17	8,13	2115,32	8,35	2063,4	8,56	2012,71	8,77	1966,08	8,98	1920,77	9,2
Apoyo 8 a Apoyo 9	265,94	254,13	2577,12	5,23	2500,3	5,39	2427,79	5,56	2357,92	5,72	2292,54	5,88	2229,97	6,05	2171,17	6,21	2115,32	6,38	2063,4	6,54	2012,71	6,7	1966,08	6,86	1920,77	7,02
Apoyo 9 a Apoyo 10	228,9	227,21	2652,8	3,72	2560,79	3,85	2474,6	3,99	2392,6	4,12	2314,91	4,26	2241,64	4,4	2172	4,54	2107	4,68	2045,81	4,82	1987,6	4,96	1933,36	5,1	1882,24	5,24
Apoyo 10 a Apoyo 11	221,29	309,35	2463,15	3,72	2409,34	3,8	2357,51	3,88	2307,72	3,97	2260	4,05	2215,32	4,13	2171,91	4,22	2130,71	4,3	2090,85	4,38	2052,81	4,46	2016,16	4,54	1981,41	4,62
Apoyo 11 a Apoyo PAS 12	358,83	309,35	2463,15	9,96	2409,34	10,18	2357,51	10,41	2307,72	10,63	2260	10,86	2215,32	11,08	2171,91	11,3	2130,71	11,52	2090,85	11,74	2052,81	11,95	2016,16	12,17	1981,41	12,39

Tabla 89 - Tabla de regulación del conductor

Para el OPGW:

Vano	Longitud de Vano (m)	Vano de regulación (m)	-5°C		0°C		5°C		10°C		15°C		20°C		25°C		30°C		35°C		40°C		45°C		50°C	
			Tn (daN)	Fl (m)	Tn (daN)	Fl (m)	Tn (daN)	Fl (m)	Tn (daN)	Fl (m)	Tn (daN)	Fl (m)	Tn (daN)	Fl (m)	Tn (daN)	Fl (m)	Tn (daN)	Fl (m)	Tn (daN)	Fl (m)	Tn (daN)	Fl (m)	Tn (daN)	Fl (m)	Tn (daN)	Fl (m)
P-SET CORRALES a Apoyo 1	61,63	60,79	584,08	0,66	538,95	0,71	500,97	0,77	467,08	0,82	438,27	0,88	413,02	0,93	391,32	0,98	371,65	1,03	354,51	1,08	339,38	1,13	325,52	1,18	313,18	1,23
Apoyo 1 a Apoyo 2	312,35	312,07	1358,15	7,18	1329,21	7,34	1301,31	7,49	1274,96	7,65	1250,16	7,8	1225,88	7,96	1203,15	8,11	1180,94	8,26	1159,76	8,41	1139,62	8,56	1120,52	8,7	1101,93	8,85
Apoyo 2 a Apoyo 3	377,88	338,93	1326,15	10,77	1301,85	10,97	1278,59	11,17	1256,36	11,37	1234,64	11,57	1214,48	11,76	1194,58	11,96	1175,71	12,15	1157,36	12,34	1139,79	12,53	1122,99	12,72	1106,71	12,91
Apoyo 3 a Apoyo 4	213,85	338,93	1326,15	3,45	1301,85	3,51	1278,59	3,58	1256,36	3,64	1234,64	3,71	1214,48	3,77	1194,58	3,83	1175,71	3,89	1157,36	3,95	1139,79	4,01	1122,99	4,07	1106,71	4,13
Apoyo 4 a Apoyo 5	357,55	338,93	1326,15	9,65	1301,85	9,83	1278,59	10,01	1256,36	10,19	1234,64	10,37	1214,48	10,54	1194,58	10,72	1175,71	10,89	1157,36	11,06	1139,79	11,23	1122,99	11,4	1106,71	11,57
Apoyo 5 a Apoyo 6	225,44	253,86	1338,49	3,84	1300,81	3,95	1265,73	4,06	1232,71	4,17	1200,73	4,28	1170,82	4,39	1142,46	4,5	1116,17	4,6	1090,91	4,71	1066,7	4,82	1044,03	4,92	1021,88	5,03
Apoyo 6 a Apoyo 7	185,64	253,86	1338,49	2,57	1300,81	2,65	1265,73	2,72	1232,71	2,79	1200,73	2,87	1170,82	2,94	1142,46	3,01	1116,17	3,08	1090,91	3,15	1066,7	3,23	1044,03	3,3	1021,88	3,37
Apoyo 7 a Apoyo 8	305,25	253,86	1338,49	7,05	1300,81	7,25	1265,73	7,45	1232,71	7,65	1200,73	7,86	1170,82	8,06	1142,46	8,26	1116,17	8,45	1090,91	8,65	1066,7	8,84	1044,03	9,04	1021,88	9,23
Apoyo 8 a Apoyo 9	265,94	253,86	1338,49	5,4	1300,81	5,55	1265,73	5,71	1232,71	5,86	1200,73	6,01	1170,82	6,17	1142,46	6,32	1116,17	6,47	1090,91	6,62	1066,7	6,77	1044,03	6,92	1021,88	7,07
Apoyo 9 a Apoyo 10	228,9	227,21	1377,01	3,83	1331,09	3,96	1289,31	4,09	1249,08	4,22	1211,96	4,35	1176,4	4,48	1142,91	4,61	1111,48	4,74	1082,13	4,87	1053,81	5	1027,56	5,13	1002,86	5,26
Apoyo 10 a Apoyo 11	221,29	308,53	1281,87	3,82	1256,04	3,9	1231,25	3,97	1207,49	4,05	1184,76	4,13	1163,59	4,21	1142,93	4,28	1122,8	4,36	1103,95	4,43	1085,63	4,51	1068,08	4,58	1051,56	4,65
Apoyo 11 a Apoyo PAS 12	358,83	308,53	1281,87	10,26	1256,04	10,47	1231,25	10,68	1207,49	10,89	1184,76	11,1	1163,59	11,3	1142,93	11,51	1122,8	11,72	1103,95	11,92	1085,63	12,12	1068,08	12,32	1051,56	12,51

Tabla 90 - Tabla de regulación del OPGW

6.3.2 EN APOYOS

6.3.2.1 Hipótesis normales

La ITC 07 expone que los cálculos mecánicos de apoyos se deben realizar para las siguientes hipótesis:

<i>Tipo de apoyo</i>	<i>Zona B</i>	
	<i>Viento</i>	<i>Viento + Hielo</i>
Suspensión en alineación	Cargas permanentes	Cargas permanentes
	Viento	Viento + Hielo zona B
	Temperatura -10°C	Temperatura -15°C
Amarre en alineación	Cargas permanentes	Cargas permanentes
	Viento	Viento + Hielo zona B
	Temperatura -10°C	Temperatura -15°C
Amarre en ángulo	Cargas permanentes	Cargas permanentes
	Viento	Viento + Hielo zona B
	Resultante del ángulo	Resultante del ángulo
Anclaje en alineación	Cargas permanentes	Cargas permanentes
	Viento	Viento + Hielo zona B
	Temperatura -10°C	Temperatura -15°C
Anclaje en ángulo	Cargas permanentes	Cargas permanentes
	Viento	Viento + Hielo zona B
	Resultante del ángulo	Resultante del ángulo

Tipo de apoyo	Zona B	
	Viento	Viento + Hielo
	Temperatura -10°C	Temperatura -15°C
Fin de línea	Cargas permanentes	Cargas permanentes
	Viento	Viento + Hielo zona B
	Des. de tracciones	Des. de tracciones
	Temperatura -10°C	Temperatura -15°C

Tabla 91 - Tabla 7 del apartado 3.5 de la ITC 07 (resumida)

6.3.2.1.1 Componentes verticales

Según indica la instrucción técnica complementaria para líneas aéreas, se consideran cargar verticales a las correspondientes al peso del conductor, a la cadena de aisladores, peso de los herrajes, peso del cable de tierra y el propio peso de la cruceta.

Sobrecargas sobre el conductor

Para poder establecer el peso que ejerce el conductor sobre el apoyo, es necesario el cálculo del **gravivano**. El gravivano se puede definir como la longitud (m) del conductor cuyo peso afecta al apoyo que lo está sujetando, de forma que se calcula la acción del peso del conductor sobre el apoyo como peso por unidad de longitud multiplicado por el gravivano.

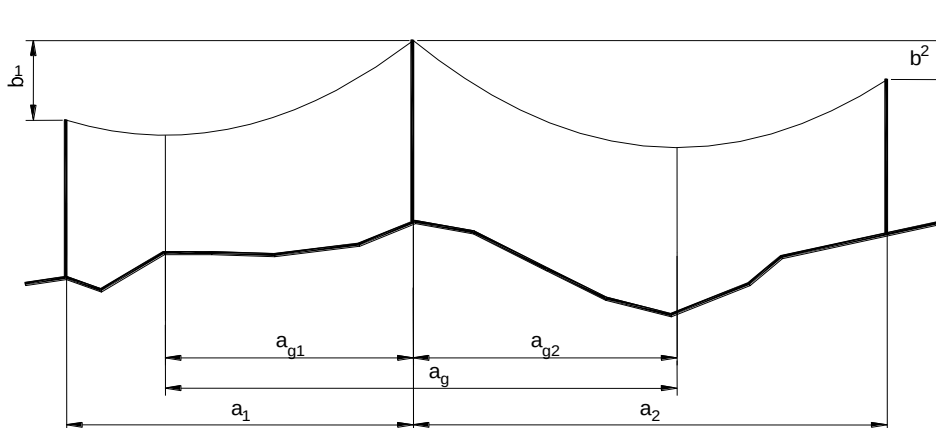


Ilustración 84 - gravivano

Que se puede calcular de la siguiente manera:

$$a_g = \frac{a_1 + a_2}{2} + \frac{T_1}{p} * \frac{d_1}{a_1} - \frac{T_2}{p} * \frac{d_2}{a_2}$$

Con T_1 y T_2 las tensiones en las condiciones de cálculo (daN), p la resultante del peso de conductor y la sobrecarga en dichas condiciones (daN/m), y a_i la longitud del vano i . Se estudiará esta distancia para las condiciones de **hipótesis normales**: viento, viento + hielo.

De este modo, la fuerza vertical en cada hipótesis será:

$$F_v = a_g * P_c \quad 10$$

Resulta:

Apoyo	Viento	Viento + hielo	Viento	Viento + hielo
	a_g	a_g	a_g	a_g
	Conductor		OPGW	
PT	-7	-25	-74	-152
1	291	347	357	486
2	369	381	357	364
3	311	319	323	344
4	278	274	292	295
5	-26	-202	-41	-304
6	385	482	394	540
7	545	708	527	747
8	348	377	361	413
9	129	65	119	19
10	-5	-132	-10	-198
11	636	821	666	953
PAS 12	-113	-273	-124	-360

Tabla 92 – Gravitanos en hipótesis normales

¹⁰ Por simplificación, se ha considerado que la resultante de las fuerzas se conserva explícitamente en un plano vertical.

Obsérvese como los apoyos 5 y 10 no podrán en ningún caso ser de tipo *suspensión*, ya que el apoyo sufre una fuerza vertical hacia arriba por parte del cable. Si esto sucediera, se diría que el apoyo está *ahorcado*, y no se podrían cumplir las distancias eléctricas a no ser que el apoyo sea tipo amarre, como ocurre en este proyecto:

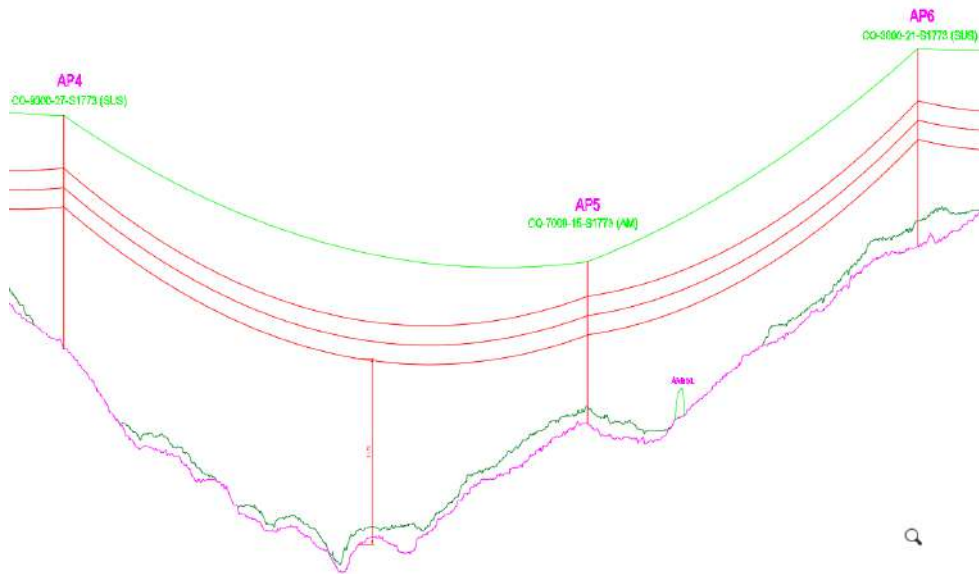


Ilustración 85 - Perfil del apoyo 5

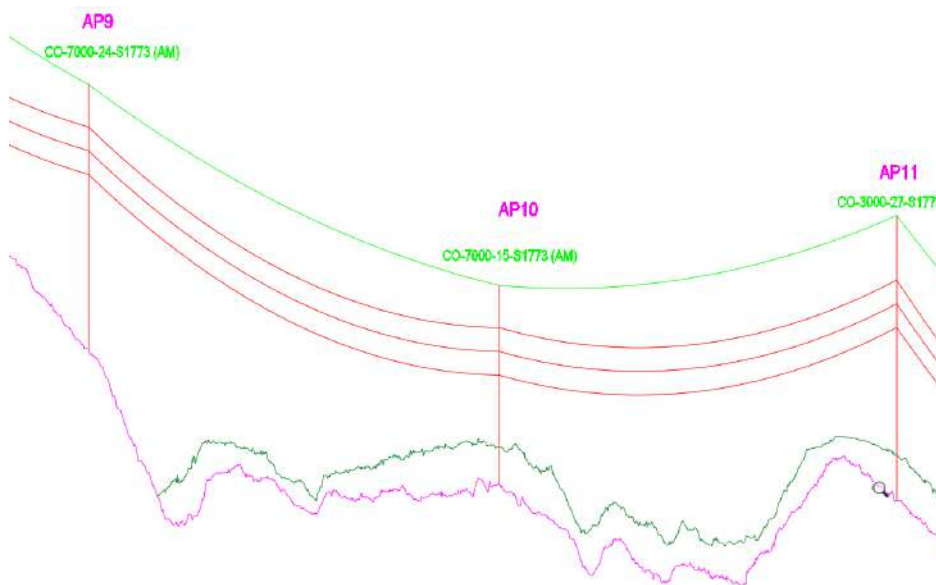


Ilustración 86 - Perfil del apoyo 10

En conclusión, en todo caso se tendrá en cuenta el peso de conductor o cable de fibra óptica (P_c), al que hay que añadir las siguientes sobrecargas:

- **Viento**

$$F_v = a_g * (P_v + P_c)$$

Con p_v la sobrecarga de un viento de velocidad de 140 km/h, que ya ha sido calculado en el apartado de hipótesis de conductores.

- **Viento + hielo**

$$F_v = a_g * (P_{v+h} + P_c)$$

Con p_v la sobrecarga de un viento de velocidad de 60 km/h y un manguito de hielo , que ya ha sido calculado en el apartado de hipótesis de conductores.

Retomando dicho cálculo:

$$e = -r_{cond} + \sqrt{r_{cond}^2 + \frac{240 * \sqrt{2} * r_{cond}}{\pi}}$$

En el conductor: $e = 10,52 \text{ mm}$

En el cable de fibra óptica: $e = 11,21 \text{ mm}$

Por lo que la resultante viento + hielo será:

$$P_{v+h} = 50 * \left(\frac{V_v}{120} \right)^2 * (d + 2e)$$

6.3.2.1.2 Esfuerzos horizontales: longitudinales y transversales

Para poder establecer los esfuerzos transversales en los apoyos, se apoyará el cálculo con la teoría del **eolovano**. Se define el eolovano a_v de un apoyo como la semisuma de los vanos contiguos. De la forma:

$$a_v = \frac{a_1 + a_2}{2}$$

El eolovano nos permite determinar los esfuerzos transversales que los cables ejercen sobre el apoyo. Es una distancia, de igual forma que el gravivano, y se calcularán los esfuerzos de manera análoga:

$$F_t = a_v * p_v$$

Siendo p_v la fuerza transversal por unidad de longitud (daN/m) en el cable. Los eolovanos resultan:

Apoyo	a_v	a_v
	Conductor	OPGW
PT	31	31
1	187	188
2	345	345
3	296	296
4	286	286
5	293	293
6	207	207
7	248	248
8	290	291
9	251	251
10	226	226
11	294	294
PAS 12	183	183

Tabla 93 - Eolovanos

Apoyos de alineación en suspensión y amarre

Se estudiará, como se ha explicado, en condiciones de viento y viento + hielo.

- **Viento**

En el estudio de viento, se estudiará para una velocidad del viento de 140 km/h, como se ha hecho hasta ahora. Por un lado, habrá que tener en cuenta la fuerza transversal que ejercen los conductores sobre el apoyo:

$$F_t = a_v * p_v$$

Por otro lado, habrá que tener en cuenta la propia acción del viento sobre el apoyo.

Para calcular la presión que ejerce el viento sobre los apoyos, se accede a la fórmula de la misma normativa técnica ITC - 07, que corresponde a $q = 170 * \left(\frac{V_v}{120}\right)^2 \frac{daN}{m^2}$, siendo V_v el viento mínimo referencia. Al considerarse esta línea de categoría especial (220 kV), se toma como $V_v = 140 \text{ km/h} = 38,89 \text{ m/s}$.

Se calculará fuerza como presión x área:

$$F_c = q * A_T \text{ daN}$$

Con:

- **q:** presión del viento [daN/m^2]
- **A_T:** área del apoyo contenida en el plano perpendicular a la dirección del viento [m^2]

- **Viento + hielo**

Para condiciones de viento + hielo, se toma una velocidad de viento de 60 km/h y un espesor de manguito de hielo como el que se ha calculado previamente.

Por lo tanto, la acción del conductor sobre el apoyo se calcula de igual forma:

$$F_t = a_v * p_v$$

A lo que habrá que añadir la propia acción del viento sobre el apoyo:

$$F_c = 170 * \left(\frac{V_v}{120}\right)^2 * A_T$$

No se consideran esfuerzos longitudinales en los apoyos de suspensión.

Apoyos de ángulo en amarre y anclaje

- **Viento**

La fuerza transversal que ejerce el viento en un apoyo tipo ángulo se calcula con la siguiente fórmula:

$$F_t = \left(p_v \cdot a_v \left| \cos \frac{\alpha}{2} \right| + 2 \max[T_{0v1}, T_{0v2}] \left| \sin \frac{\alpha}{2} \right| \right)$$

Siendo p_v la resultante de las fuerzas sobre el conductor en hipótesis de viento, calculada previamente.

Donde T_{0v1} y T_{0v2} son la componente horizontal del vano anterior y posterior al apoyo, y α el ángulo sexagesimal que forman las alineaciones. Las alineaciones de la línea de estudio son las siguientes:

N.º Alineación	Apoyo inicio	Apoyo final	Ángulo con la siguiente alineación (°)	Longitud (m)
1	PT	1	-	61,26
2	1	2	12,73	312,35
3	2	PAS 12	34,36	2740,57

Tabla 94 - Alineaciones de la línea Corrales – Olite

Se añadirá la propia acción del viento sobre el apoyo.

- **Viento + hielo**

En líneas de categoría especial será preciso considerar el esfuerzo transversal creado por el viento sobre los conductores teniendo presente el manguito de hielo:

$$F_t = 2 \cdot \max[T_{0h+v1}, T_{0h+v2}] \cdot \sin \frac{\alpha}{2} + P_v \cdot a_v \cdot \cos \frac{\alpha}{2}$$

Con T_{0h+v1} T_{0h+v2} componente horizontal de la tensión del conductor o cable para la hipótesis de hielo (según zona) más viento a 60 km/h en los vanos anterior y posterior al apoyo, a-15 ° C en zona B.

Se añadirá la propia acción del viento sobre el apoyo.

No se consideran esfuerzos longitudinales en los apoyos de ángulo.

Apoyos de fin de línea

- **Viento**

La componente transversal se calcula como la resultante del viento multiplicada por la mitad de la longitud del vano del apoyo de fin de línea:

$$F_t = p_v \frac{a_1}{2}$$

Las componentes longitudinales se compondrán de la tensión horizontal del conductor del vano correspondiente:

$$F_l = T_{0v}$$

Se añadirá la propia acción del viento sobre el apoyo.

- **Hielo + viento**

La componente transversal se calcula como la resultante de la tensión de un viento de 60 km/h, como en todos los casos, multiplicado por el vano adyacente al apoyo de fin de línea:

$$F_t = P_{v60} \cdot a_1$$

A su vez, la componente longitudinal será, una vez más, la componente de la tensión horizontal en condiciones de hielo + viento del conductor del vano adyacente correspondiente:

$$F_l = T_{0v}$$

Se añadirá la propia acción del viento sobre el apoyo.

6.3.2.2 Hipótesis anormales

De acuerdo con la ITC 07, para líneas de zona B, se caracterizan las siguientes como hipótesis anormales:

<i>Tipo de apoyo</i>	<i>Zona B</i>	
	<i>Desequilibrio de tracciones</i>	<i>Rotura de conductores</i>
Suspensión en alineación	Cargas permanentes	Cargas permanentes

<i>Tipo de apoyo</i>	<i>Zona B</i>	
	<i>Desequilibrio de tracciones</i>	<i>Rotura de conductores</i>
	Hielo zona b	Hielo zona b
	Des. De tracciones	Rotura De conductores
	Temperatura -15°C	Temperatura -15°C
Amarre en alineación	Cargas permanentes	Cargas permanentes
	Hielo zona b	Hielo zona b
	Des. De tracciones	Rotura De conductores
	Temperatura -15°C	Temperatura -15°C
Amarre en ángulo	Cargas permanentes	Cargas permanentes
	Hielo zona b	Hielo zona b
	Des. De tracciones	Rotura De conductores
	Resultante de ángulo	Resultante de ángulo
	Temperatura -15°C	Temperatura -15°C
Anclaje en alineación	Cargas permanentes	Cargas permanentes
	Hielo zona b	Hielo zona b
	Des. De tracciones	Rotura De conductores
	Temperatura -15°C	Temperatura -15°C
Anclaje en ángulo	Cargas permanentes	Cargas permanentes
	Hielo zona b	Hielo zona b
	Des. De tracciones	Rotura De conductores
	Resultante de ángulo	Resultante de ángulo
	Temperatura -15°C	Temperatura -15°C
Fin de línea		Cargas permanentes
	-	Hielo zona b
		Rotura De conductores
		Temperatura -15°C

6.3.2.2.1 Componentes verticales

Según indica la instrucción técnica complementaria para líneas aéreas, se hará un análisis análogo al de hipótesis normales. Para el caso de rotura del conductor, no habrá componente vertical debido al peso del conductor. se consideran cargar verticales a las correspondientes al peso del conductor, a la cadena de aisladores, peso de los herrajes, peso del cable de tierra y el propio peso de la cruceta.

Apoyo	Rotura del cable	
	a_g	
	Conductor	OPGW
PT	-11	-114
1	306	408
2	370	356
3	313	327
4	277	292
5	-86	-114
6	423	440
7	608	597
8	360	379
9	111	95
10	-59	-74
11	685	727
PAS 12	-156	-175

Tabla 95 - Gravivianos para hipótesis anormales

El desequilibrio de tracciones no añade fuerza adicional a la resultante vertical.

Rotura del cable

- Viento

$$F_v = a_g * P_v$$

- Viento + hielo

$$F_v = a_g * P_{v+h}$$

6.3.2.2.2 Componentes horizontales, transversales y longitudinales

De acuerdo con el apartado 3.1.4.1 de la ITC-LAT 07 del RLEAT, se calcula la componente horizontal mediante las siguientes fórmulas:

Apoyos de alineación – suspensión

- **Desequilibrio de tracciones**

$$F_1 = 0,15 T_0$$

- **Rotura de conductores**

$$F_1 = 0,5 T_0$$

Con T_0 la tensión máxima del conductor o cable en la citada hipótesis.

No se consideran esfuerzos transversales en los apoyos de alineación.

Apoyos de alineación y ángulo con cadenas de amarre

- **Desequilibrio de tracciones**

$$F_1 = 0,25 \text{ máx. } [T_{01}, T_{02}]$$

- **Hipótesis de rotura de conductores:**

$$F_1 = \text{máx. } [T_{01}, T_{02}] \quad (\text{daN})$$

En apoyos de ángulo se valorará además del esfuerzo de torsión, el esfuerzo de ángulo creado por esta circunstancia en su punto de aplicación.

No se consideran esfuerzos transversales en alineaciones.

Apoyos de Anclaje

- **Desequilibrio de tracciones:**

$$F_1 = 0,5 \text{ máx. } [T_{01}, T_{02}]$$

En apoyos de ángulo se estudiará el esfuerzo de ángulo debido a esta circunstancia.

- **Rotura de conductores:**

$$F_1 = \text{máx. } [T_{01}, T_{02}]$$

Apoyos de Fin de Línea

- **Desequilibrio de tracciones:**

En apoyos fin de línea no se considera la hipótesis.

- **Rotura de conductores:**

$$F_1 = T_0$$

Resultados

Nótese, que al haberse realizado este cálculo con el simulador PLS – CADD, se han tenido en cuenta los esfuerzos en todas las direcciones para cada caso, aunque se haya especificado que no era necesario tenerlos en cuenta. Es decir, sí se han obtenido los esfuerzos longitudinales en apoyos alineación y ángulo para hipótesis normales, y los transversales en alineación, ángulo y fin de línea para ciertos casos en hipótesis anormales. Sin embargo, como se puede observar en los resultados, estos valores son muy pequeños en comparación con los otros esfuerzos o incluso 0 en algunos casos. Se han marcado en azul.

Los resultados de los cálculos mecánicos se presentan en las siguientes tablas:

Hipótesis 1: condiciones de viento

N ° Apoyo	Nombre Apoyo	Función	CONDUCTOR			OPGW		
			Vertical (daN)	Transversal (daN)	Longitudinal (daN)	Vertical (daN)	Transversal (daN)	Longitudinal (daN)
Pórtico SET Corrales	Pórtico SET Corrales	PÓRTICO	15	13,8	110,5	-12,1	13,5	87,5
1	CO-18000-18-S1773-FL	ÁNGULO-FIN DE LÍNEA	83,5	44,1	263,2	38,8	43,3	136,9
2	CO-12000-24-S1773-ANC	ÁNGULO-ANCLAJE	82,9	278,1	4,7	29,1	168,6	1,6
3	CO-3000-30-S1773-SUS	ALINEACIÓN-SUSPENSIÓN	59,1	56,4	0,2	27,4	37,2	0,2
4	CO-9000-27-S1773-SUS	ALINEACIÓN-SUSPENSIÓN	52,1	54,2	0,1	23,6	35,9	0
5	CO-7000-15-S1773-AM	ALINEACIÓN-AMARRE	-4,4	55,4	12,7	-24,3	36,7	11,9
6	CO-3000-21-S1773-SUS	ALINEACIÓN-SUSPENSIÓN	83,2	39,2	2,2	43,1	26	1,8
7	CO-3000-24-S1773-SUS	ALINEACIÓN-SUSPENSIÓN	117	46,9	2,8	59,7	31,1	1,9
8	CO-3000-21-S1773-SUS	ALINEACIÓN-SUSPENSIÓN	67,5	54,9	1,5	33	36,4	1,3
9	CO-7000-24-S1773-AM	ALINEACIÓN-AMARRE	35,4	47,4	3,2	1,6	31,5	1,2
10	CO-7000-15-S1773-AM	ALINEACIÓN-AMARRE	5,9	42,7	0,6	-15,8	28,3	3,6
11	CO-3000-27-S1773-SUS	ALINEACIÓN-SUSPENSIÓN	137,1	60,3	4,8	76,1	37	3,1
PAS 12	CO-18000-15-PAS_SC	FIN DE LÍNEA - PAS	-24,9	39	348,4	-28,8	22,9	203,2

Tabla 96 - Cálculos mecánicos en hipótesis de viento

Hipótesis 2: condiciones de viento + hielo

N ° Apoyo	Nombre Apoyo	Función	CONDUCTOR			OPGW		
			Vertical (daN)	Transversal (daN)	Longitudinal (daN)	Vertical (daN)	Transversal (daN)	Longitudinal (daN)
Pórtico SET Corrales	Pórtico SET Corrales	PÓRTICO	17,6	10,6	120	-11,6	12,4	98,3
1	CO-18000-18-S1773-FL	ÁNGULO-FIN DE LÍNEA	103,3	21,9	268,8	56	32,5	145
2	CO-12000-24-S1773-ANC	ÁNGULO-ANCLAJE	116,2	246,1	3,4	56	155,9	0,6
3	CO-3000-30-S1773-SUS	ALINEACIÓN-SUSPENSIÓN	87,5	18,3	0	50,7	15,1	0
4	CO-9000-27-S1773-SUS	ALINEACIÓN-SUSPENSIÓN	79,2	17,5	0	45,8	14,6	0
5	CO-7000-15-S1773-AM	ALINEACIÓN-AMARRE	19,4	17,9	11	-6,4	14,9	12,5
6	CO-3000-21-S1773-SUS	ALINEACIÓN-SUSPENSIÓN	105,2	12,6	0,2	61,8	10,5	0,3
7	CO-3000-24-S1773-SUS	ALINEACIÓN-SUSPENSIÓN	144,4	15,2	0,3	82,8	12,6	0,3
8	CO-3000-21-S1773-SUS	ALINEACIÓN-SUSPENSIÓN	96,1	17,7	0,2	56,7	14,8	0,2
9	CO-7000-24-S1773-AM	ALINEACIÓN-AMARRE	57,2	15,3	0,9	18,6	12,7	1,4
10	CO-7000-15-S1773-AM	ALINEACIÓN-AMARRE	24,6	13,8	1,3	-1,5	11,5	4,6
11	CO-3000-27-S1773-SUS	ALINEACIÓN-SUSPENSIÓN	170	22,8	0,6	104,6	15,1	0,5
PAS 12	CO-18000-15-PAS_SC	FIN DE LÍNEA - PAS	-11,5	15,8	368,4	-19,5	9,3	225,5

Tabla 97 - Cálculos mecánicos en condiciones de viento + hielo

Hipótesis 3: desequilibrio de tracciones

N ° Apoyo	Nombre Apoyo	Función	CONDUCTOR			OPGW		
			Vertical (daN)	Transversal (daN)	Longitudinal (daN)	Vertical (daN)	Transversal (daN)	Longitudinal (daN)
Pórtico SET Corrales	Pórtico SET Corrales	PÓRTICO	0	0	0	0	0	0
1	CO-18000-18-S1773-FL	ÁNGULO-FIN DE LÍNEA	0	0	0	0	0	0
2	CO-12000-24-S1773-ANC	ÁNGULO-ANCLAJE	124,4	169,7	184,5	61,1	104,3	112,5
3	CO-3000-30-S1773-SUS	ALINEACIÓN-SUSPENSIÓN	90,8	0,2	57,1	52,5	0	35,3
4	CO-9000-27-S1773-SUS	ALINEACIÓN-SUSPENSIÓN	83	0	57,1	48,2	0	35,3
5	CO-7000-15-S1773-AM	ALINEACIÓN-AMARRE	33	0	103,3	2,6	0	68,2
6	CO-3000-21-S1773-SUS	ALINEACIÓN-SUSPENSIÓN	106,9	0	55,6	62,8	0	33,7
7	CO-3000-24-S1773-SUS	ALINEACIÓN-SUSPENSIÓN	142,7	0	55,7	81,8	0	33,7
8	CO-3000-21-S1773-SUS	ALINEACIÓN-SUSPENSIÓN	105,3	0	55,5	62,2	0	33,6
9	CO-7000-24-S1773-AM	ALINEACIÓN-AMARRE	75,9	0	93,2	30,6	0	56,8
10	CO-7000-15-S1773-AM	ALINEACIÓN-AMARRE	35,9	0	93,5	5,2	0	60
11	CO-3000-27-S1773-SUS	ALINEACIÓN-SUSPENSIÓN	168,4	4,7	55,7	103,2	0	34,3
PAS 12	CO-18000-15-PAS_SC	FIN DE LÍNEA - PAS	0	0	0	0	0	0

Tabla 98 - Cálculos mecánicos en condiciones de desequilibrio de tracciones

Hipótesis 4A: rotura del conductor

N ° Apoyo	Nombre Apoyo	Función	CONDUCTOR ROTO			OPGW		
			Vertical (daN)	Transversal (daN)	Longitudinal (daN)	Vertical (daN)	Transversal (daN)	Longitudinal (daN)
Pórtico SET Corrales	Pórtico SET Corrales	PÓRTICO	17,6	8,8	120	-11,6	10,8	98,1
1	CO-18000-18-S1773-FL	ÁNGULO-FIN DE LÍNEA	67,5	34,6	382,5	56	23,1	143,8
2	CO-12000-24-S1773-ANC	ÁNGULO-ANCLAJE	81,2	113,4	366,2	56	139,1	0,1
3	CO-3000-30-S1773-SUS	ALINEACIÓN-SUSPENSIÓN	62,8	0,1	190,2	50,7	0	0
4	CO-9000-27-S1773-SUS	ALINEACIÓN-SUSPENSIÓN	78,4	0	190,2	45,8	0	0
5	CO-7000-15-S1773-AM	ALINEACIÓN-AMARRE	33,4	0	380,3	-6,4	0	12,5
6	CO-3000-21-S1773-SUS	ALINEACIÓN-SUSPENSIÓN	93,8	0	184,8	61,8	0	0,3
7	CO-3000-24-S1773-SUS	ALINEACIÓN-SUSPENSIÓN	110,4	0	184,8	82,8	0	0,3
8	CO-3000-21-S1773-SUS	ALINEACIÓN-SUSPENSIÓN	119,6	0	184,6	56,7	0	0,2
9	CO-7000-24-S1773-AM	ALINEACIÓN-AMARRE	86,3	0	370	18,6	0	1,4
10	CO-7000-15-S1773-AM	ALINEACIÓN-AMARRE	28,8	0	370	-1,5	0	4,6
11	CO-3000-27-S1773-SUS	ALINEACIÓN-SUSPENSIÓN	131,9	2,4	184,4	104,6	0	0,5
PAS 12	CO-18000-15-PAS_SC	FIN DE LÍNEA - PAS	0	4,7	368,4	-19,5	0	225,5

Tabla 99 - Cálculos mecánicos en condiciones de rotura del conductor

Hipótesis 4B: rotura de OPGW

N ° Apoyo	Nombre Apoyo	Función	CONDUCTOR			OPGW ROTO		
			Vertical (daN)	Transversal (daN)	Longitudinal (daN)	Vertical (daN)	Transversal (daN)	Longitudinal (daN)
Pórtico SET Corrales	Pórtico SET Corrales	PÓRTICO	17,6	119,6	11,7	-11,6	10,8	98,1
1	CO-18000-18-S1773-FL	ÁNGULO-FIN DE LÍNEA	103,3	382,5	67,5	34,6	38	234,9
2	CO-12000-24-S1773-ANC	ÁNGULO-ANCLAJE	116,2	366,1	81,2	41,4	69,6	225
3	CO-3000-30-S1773-SUS	ALINEACIÓN-SUSPENSIÓN	87,5	190,2	62,8	32,5	0	117,7
4	CO-9000-27-S1773-SUS	ALINEACIÓN-SUSPENSIÓN	79,2	190,2	78,4	44,7	0	117,7
5	CO-7000-15-S1773-AM	ALINEACIÓN-AMARRE	19,4	380,3	33,4	11,7	0	235,5
6	CO-3000-21-S1773-SUS	ALINEACIÓN-SUSPENSIÓN	105,2	184,8	93,8	54	0	111,6
7	CO-3000-24-S1773-SUS	ALINEACIÓN-SUSPENSIÓN	144,4	184,8	110,4	61,4	0	111,6
8	CO-3000-21-S1773-SUS	ALINEACIÓN-SUSPENSIÓN	96,1	184,6	119,6	69,4	0	111,5
9	CO-7000-24-S1773-AM	ALINEACIÓN-AMARRE	57,2	370	86,3	45,2	0	222,8
10	CO-7000-15-S1773-AM	ALINEACIÓN-AMARRE	24,6	370	28,8	7,5	0	226
11	CO-3000-27-S1773-SUS	ALINEACIÓN-SUSPENSIÓN	170	184,4	128,4	77,3	0	113
PAS 12	CO-18000-15-PAS_SC	FIN DE LÍNEA - PAS	0	368,3	-14,8	-19,5	0	225,5

Tabla 100 - Cálculos mecánicos en condiciones de rotura del OPGW

6.3.3 SIMULACIÓN EN PLS – CADD: DISTANCIAS

El software PLS – CADD permite una simulación precisa de la línea mediante cálculo de elementos finitos. En este caso, se ha utilizado el software para comprobar que las distancias eléctricas explicadas a lo largo del apartado Diseño de la línea.

El resumen de distancias se presenta en la Tabla 101:

D_{el}	D_{pp}
1,7	2

Tabla 101 - Resumen de distancias de seguridad para la línea de 220 kV SET Corrales - SET Promotores Olite

6.3.3.1 Distancia entre conductores

La instrucción técnica complementaria 07, en el apartado 5.4.1 explica que la distancia entre conductores debe de ser suficiente para que “no haya riesgo de cortocircuito”. Esta distancia mínima viene determinada por la siguiente expresión:

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

Con:

- F = flecha máxima en metros
- $D_{pp} = 2$ m.
- L: longitud de la cadena de suspensión, siendo:
 - L = 0 m para cadenas de amarre.
 - En cualquier otro caso, L = 3,08 m, como se ha explicado anteriormente.
- K': coeficiente en función de la categoría de la línea, como se trata de una línea de categoría especial, K' = 0,85.

Por otro lado, el ángulo de oscilación se calcula:

$$\alpha = \arctg \frac{P_v}{P_c} = \arctg \frac{1,89}{1,49} = 51,72^{o11}$$

A partir de este ángulo se calcula el valor de K:

Ángulo de oscilación α	Valores de K para 220 kV
Superior a 65°	0,7
Entre 40° y 65°	0,65
Inferior a 40°	0,6

Tabla 102 - valor de K en función del ángulo

Que, para el caso de estudio, corresponde a un valor de K = 0,65.

El simulador PLS -CADD calcula la distancia real en cada vano. Comparándola con la distancia mínima, resulta:

Apoyo	Denominación	Función	Flecha máxima en vano anterior (m)	Flecha máxima en vano posterior (m)	Dis. Mín. (m)	Dis. Real (m)	Porcentaje superación
P-SET CORRALES	Pórtico SET Corrales	PÓRTICO	-	1,59	2,32	3,00	23%
1	CO-18000-18-S1773-FL	ÁNGULO-FIN DE LÍNEA	1,59	9,78	3,53	6,60	47%
2	CO-12000-24-S1773-ANC	ÁNGULO-ANCLAJE	9,78	14,12	3,94	6,60	40%
3	CO-3000-30-S1773-SUS	ALINEACIÓN-SUSPENSIÓN	14,12	4,49	4,13	6,60	37%
4	CO-9000-27-S1773-SUS	ALINEACIÓN-SUSPENSIÓN	4,49	12,55	4,00	6,60	39%
5	CO-7000-15-S1773-AM	ALINEACIÓN-AMARRE	12,55	5,59	3,80	6,60	42%
6	CO-3000-21-S1773-SUS	ALINEACIÓN-SUSPENSIÓN	5,59	3,75	3,32	6,60	50%
7	CO-3000-24-S1773-SUS	ALINEACIÓN-SUSPENSIÓN	3,75	10,28	3,80	6,60	42%
8	CO-3000-21-S1773-SUS	ALINEACIÓN-SUSPENSIÓN	10,28	7,85	3,80	6,60	42%
9	CO-7000-24-S1773-AM	ALINEACIÓN-AMARRE	7,85	5,96	3,32	6,60	50%
10	CO-7000-15-S1773-AM	ALINEACIÓN-AMARRE	5,96	5,04	3,09	6,60	53%
11	CO-3000-27-S1773-SUS	ALINEACIÓN-SUSPENSIÓN	5,04	13,52	4,08	6,60	38%
PAS 12	CO-18000-15-PAS_SC	FIN DE LÍNEA - PAS	13,52	0,00	3,71	9,87	62%

Tabla 103 - Distancia mínima entre conductores

Como se observa, la distancia mínima reglamentaria se cumple en cada caso.

¹¹ Estos valores se han calculado previamente en el apartado 1.1.

Por otro lado, se muestran las capturas del simulador para el caso de flecha máxima a 85° y en caso de viento, en el vano posterior al pórtico y anterior al apoyo tipo PAS. Esto se debe a que se pasa de la configuración típica de los apoyos (en tresbolillo) a estar en línea. Aunque se cumplan las distancias tanto en los apoyos como en los pórticos y apoyos tipo PAS, en esta transición los cables se acercan hasta volver a separarse. Por lo que la distancia mínima se encontrará entre el pórtico y el primer apoyo, o el último apoyo y el PAS.

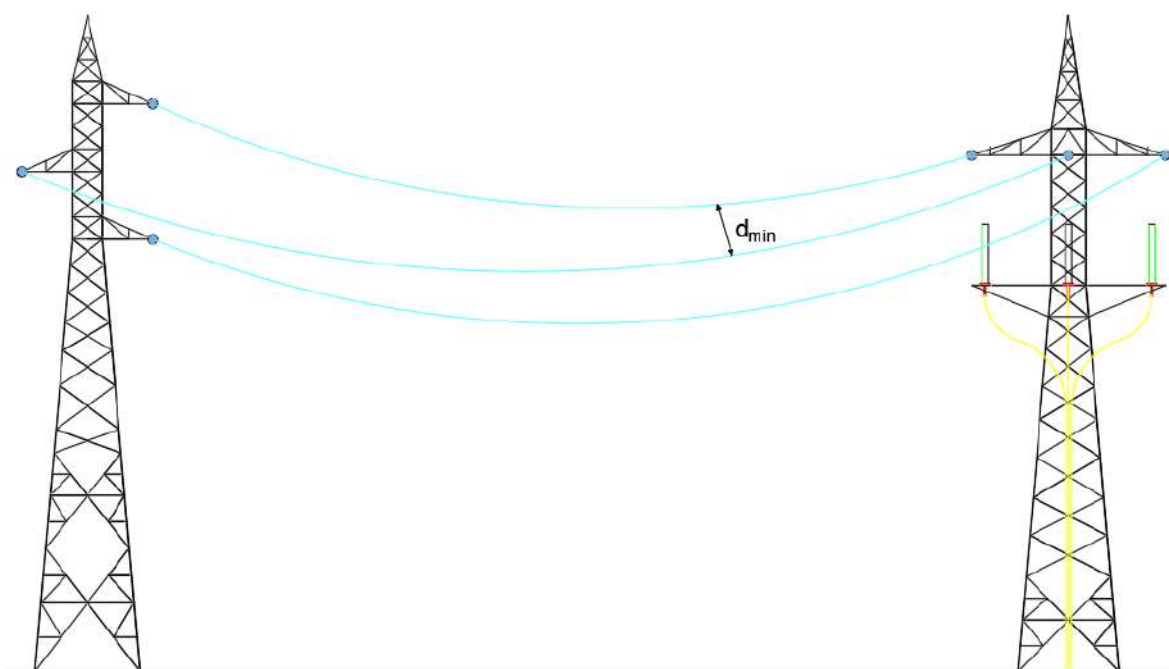


Ilustración 87 - Esbozo de distancias mínimas

Estas imágenes se muestran en la siguiente página.

Entre el pórtico y el primer cóndor:

Flecha máxima a temperatura de 85°:

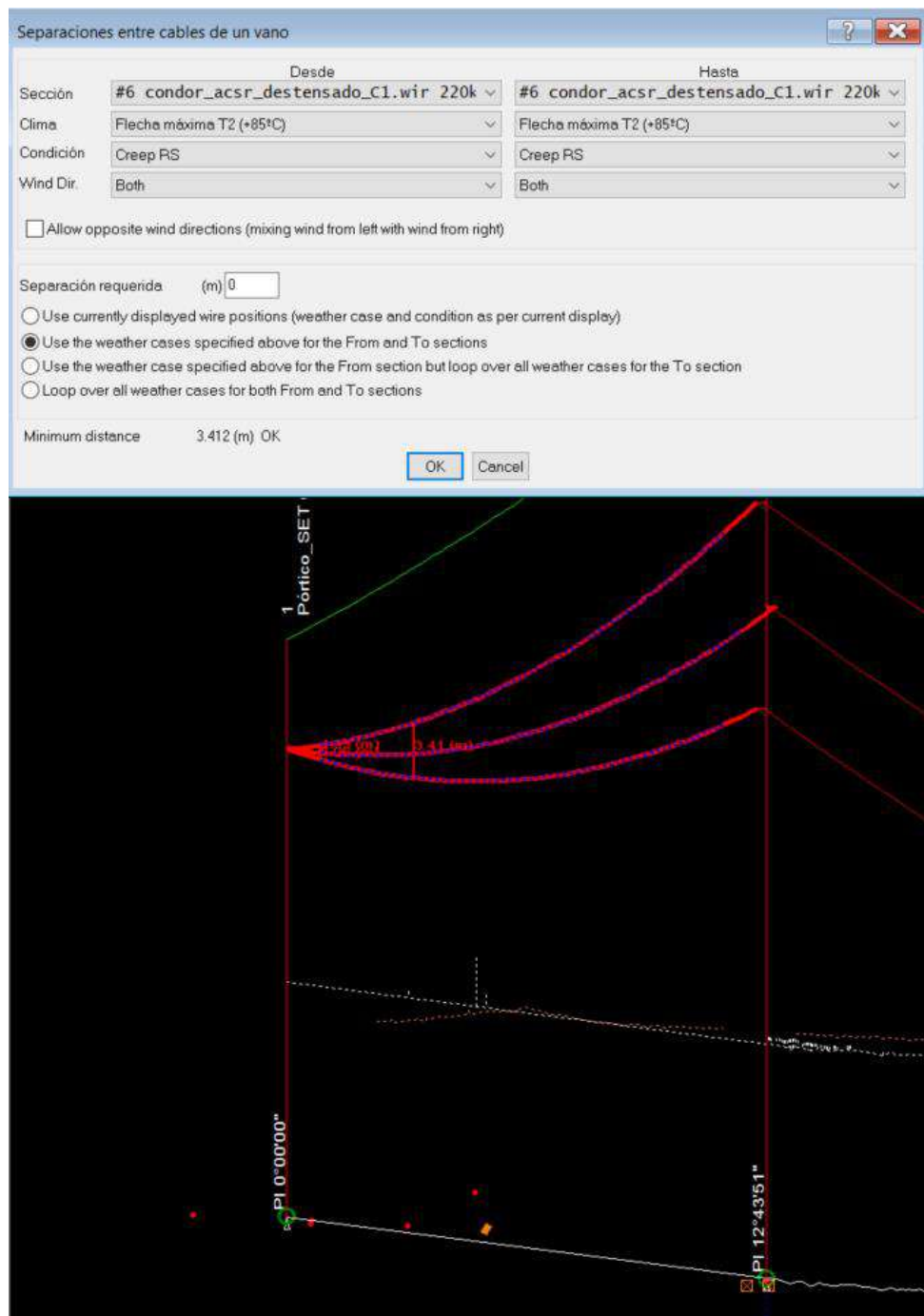


Ilustración 88 - Simulación de PLS - CADD (1)

Flecha máxima con viento:

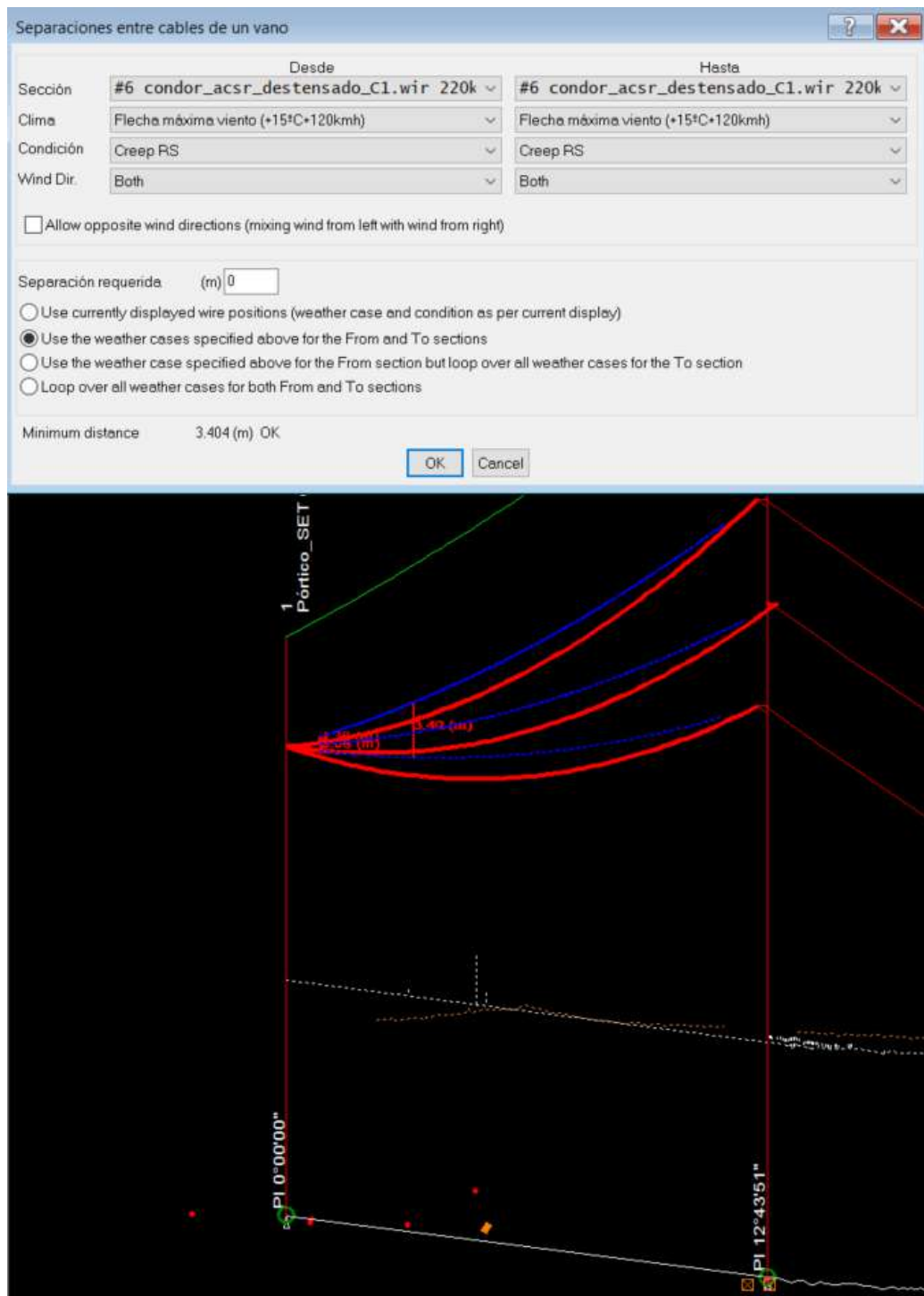


Ilustración 89 - Simulación de PLS - CADD (2)

Entre el último apoyo y el PAS:

Flecha máxima a 85°:

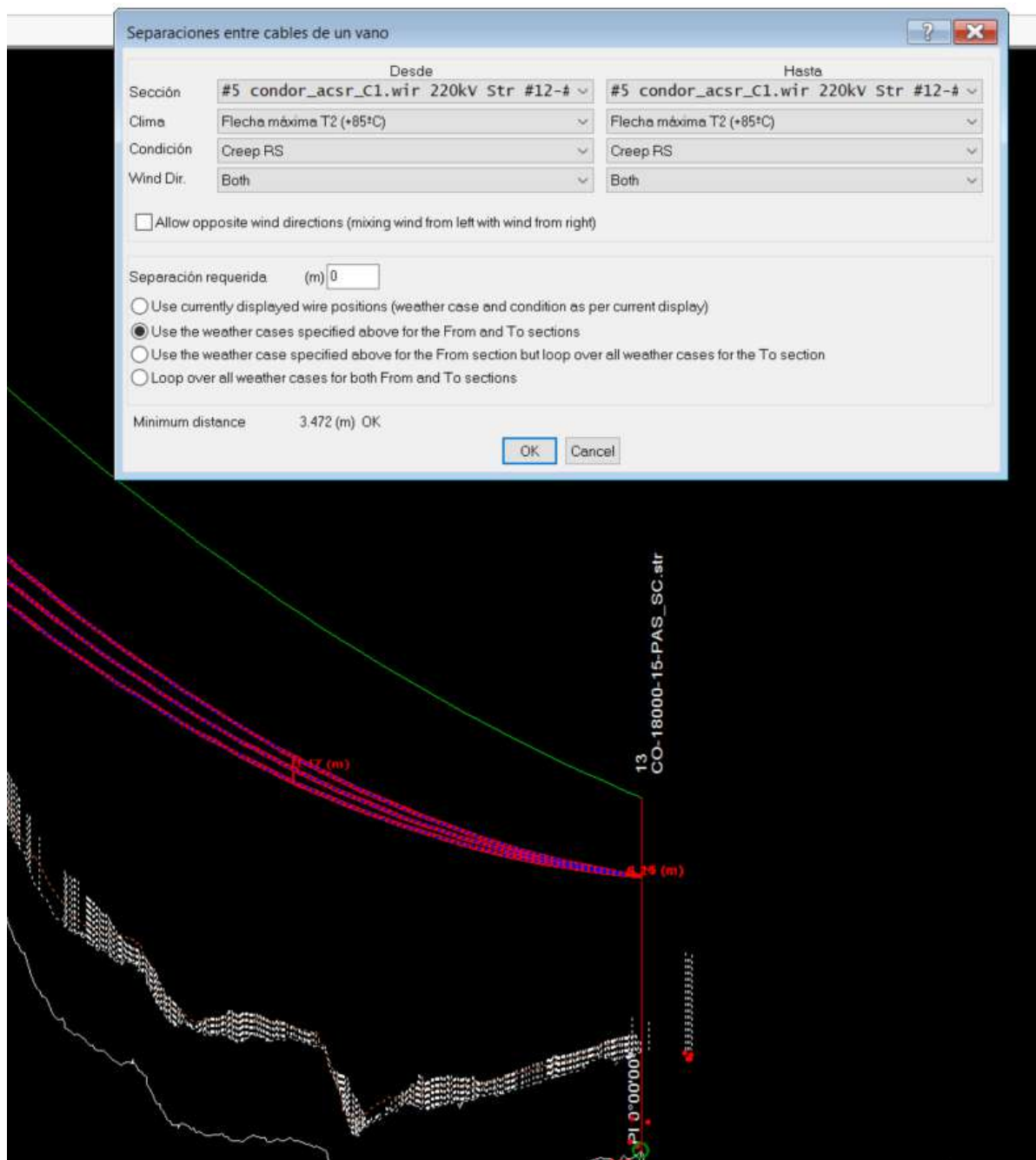


Ilustración 90 - Simulación de PLS - CADD (3)

Flecha máxima con viento:

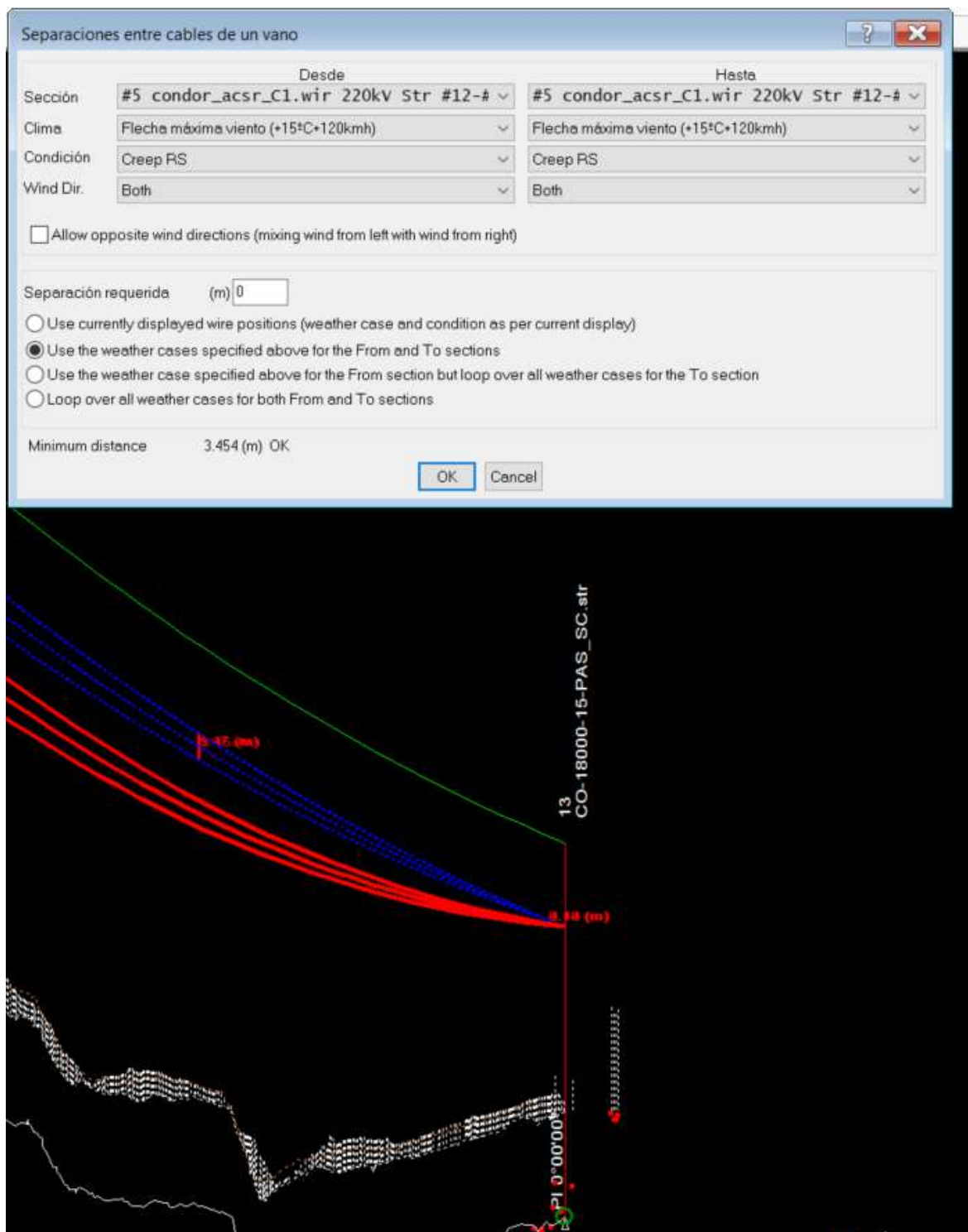


Ilustración 91 - Simulación de PLS - CADD (4)

6.3.3.2 Distancia al terreno

La mínima que deben de tener los cables conductores con el terreno viene definida por la ITC 07 de la siguiente manera:

$$D_{\text{terreno}} = D_{\text{add}} + D_{\text{el}} = 5,3 + 1,7 = 7 \text{ m}$$

A continuación, se muestra una simulación de PLS – CADD para comprobar que se cumple esta distancia. En la imagen se observa el perfil de la línea, con el terreno en trazo continuo. Se ha elevado dicho terreno 7 m, que es el trazo punteado, demostrando que nunca llega a tocar ningún conductor de la línea aérea:

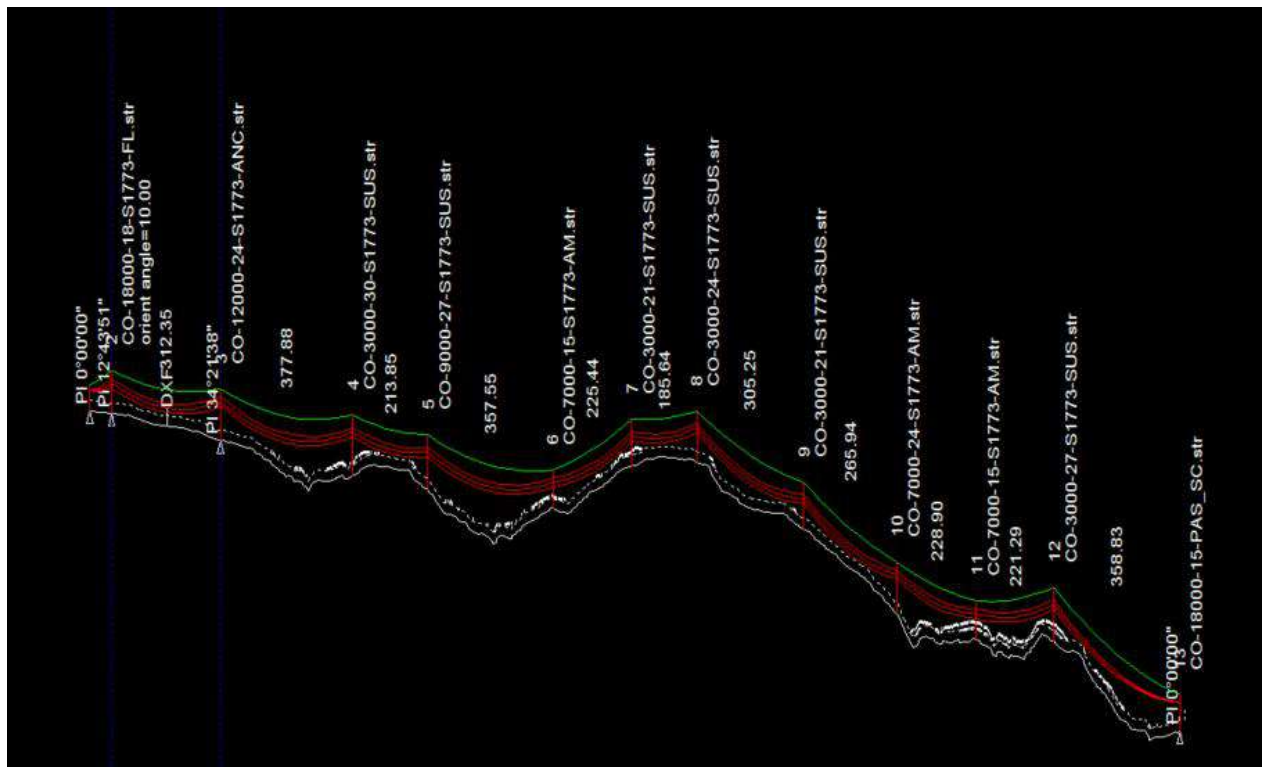


Ilustración 92 - Simulación de PLS - CADD (5)

6.3.3.3 Distancias a masa

Como se ha explicado anteriormente, $D_{\text{el}} = 1,70 \text{ m}$.

En apoyos de alineación-suspensión:

La distribución de fuerzas en la cadena de aisladores es la siguiente:

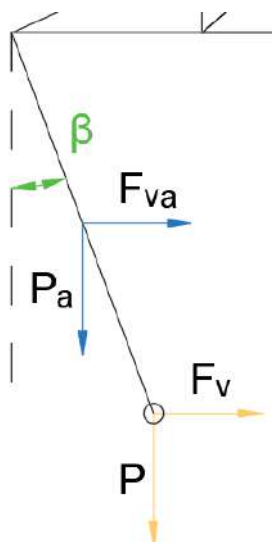


Ilustración 93 - Fuerzas sobre una cadena de aisladores

Donde:

- P_a : Peso de la cadena de aisladores: dato del fabricante, en este caso es 19,95 kg.
- P : componente vertical de las fuerzas del conductor.
- F_{va} : fuerza debida a la acción del viento sobre la cadena de aisladores.
- F_v : fuerza debida a la acción del viento en el conductor.

Realizando equilibrio de fuerzas y de momentos, se deduce:

$$\arctg(\beta) = \frac{F_v + \frac{1}{2} \cdot F_{va}}{P + \frac{1}{2} \cdot P_a}$$

Con los datos de fuerza calculados en el apartado 6.2, el cálculo de este ángulo es directo.

Por otro lado, la distancia eléctrica para cada ángulo de inclinación responde al siguiente boceto:

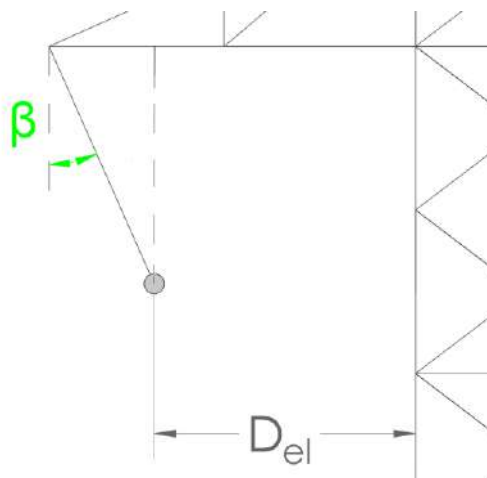


Ilustración 94 - Distancia a masa en función del ángulo de inclinación

De donde se deduce que, para un brazo de cruceta de 4,6 y un fuste de 1,5 que es el del proyecto, esta distancia se calcula como:

$$D_{el} = 4,6 - 3 * \sin(\beta) - 0,75$$

Los resultados se presentan en la siguiente tabla:

<i>Apoyo</i>	<i>Tipo</i>	<i>Función</i>	<i>Inclinación cadena (°)</i>	<i>Porcentaje de inclinación máxima</i>	<i>D_{el}</i>
3	CO-3000-30-S1773-SUS	ALINEACIÓN-SUSPENSIÓN	21,5	53,75	2,75
4	CO-9000-27-S1773-SUS	ALINEACIÓN-SUSPENSIÓN	23	57,5	2,68
6	CO-3000-21-S1773-SUS	ALINEACIÓN-SUSPENSIÓN	11,7	29,25	3,24
7	CO-3000-24-S1773-SUS	ALINEACIÓN-SUSPENSIÓN	10	25	3,33
8	CO-3000-21-S1773-SUS	ALINEACIÓN-SUSPENSIÓN	18,7	46,75	2,89
11	CO-3000-27-S1773-SUS	ALINEACIÓN-SUSPENSIÓN	10,7	26,75	3,29

Tabla 104 - Inclinación de las cadenas y distancias a masa

Como se puede comprobar, se cumple en cualquier caso que la distancia mínima sea mayor a 1,7 m.¹²

¹² El porcentaje de inclinación se ha calculado respecto a 40°, que era el ángulo referencia de diseño que se utilizó en el apartado 5.1.1 para diseñar el armado del apoyo.

En apoyos tipo ángulo:

La distancia a masa en apoyos tipo ángulo se puede calcular mediante la siguiente expresión:

$$d = l_g \cdot \sin\left(\frac{\alpha}{2} - \beta\right)$$

Que se obtiene mediante la geometría de un apoyo tipo ángulo visto desde arriba:

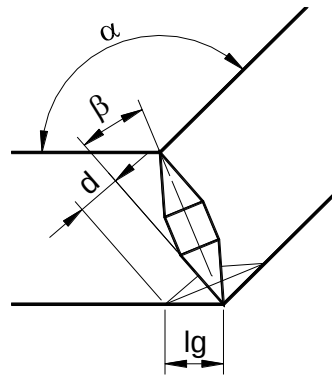


Ilustración 95 - Planta de un apoyo tipo ángulo

siendo:

- l_g : Longitud de la cadena de amarre en metros, 4,1 m como se puede comprobar en el apartado 5.1.5.
- α : Ángulo de la línea
- β : Semiángulo de la cruceta

donde:

$$\beta = \text{atan}\left(\frac{\frac{f}{2}}{b_r - \frac{f}{2}}\right)$$

siendo:

- f : Fuste del apoyo, para apoyos tipo cóndor, 1,5 m
- b_r : Brazo más corto de la cruceta. En este caso, 4,6 m.

Un puente flojo es la unión de dos cadenas de amarre. Por lo que la distancia mínima entre el puente y el fuste también deben de cumplir esta distancia mínima. Esta distancia se calcula como:

$$d_{\text{puente flojo}} = \left(br - \frac{f}{2} \right) - \left(lg \cdot \cos \left(\frac{\alpha}{2} \right) \right) - (\tan \delta \cdot h)$$

siendo:

- δ : Ángulo de oscilación máximo del puente flojo debido a la presión del viento. Se asume que será 15 grados.
- h : Distancia desde el punto más bajo del puente flojo hasta la altura del engrape de la cadena de aislamiento. Se asume que será de 2,5 m.

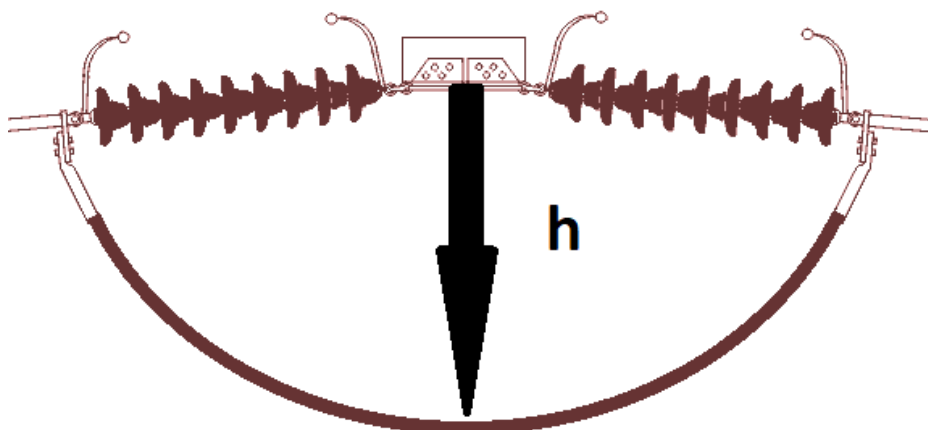


Ilustración 96 - Distancia h

Los resultados se presentan en la siguiente tabla, donde se observa que estas distancias nunca son inferiores a 1,7 m.

N.º Apoyo	Tipo	Función	α (°)	f (m)	br (m)	l (m)	h (m)	β (°)	d (m)	$d_{\text{puente flojo}}$ (m)
PT	Pórtico SET Corrales	PÓRTICO	180		0	4,25	2,5			
1	CO-18000-18-S1773-FL	ÁNGULO-FIN DE LÍNEA	167,27	1,5	4,6	4,25	2,5	9,26	4,09	2,71
2	CO-12000-24-S1773-ANC	ÁNGULO-ANCLAJE	145,64	1,5	4,6	4,25	2,5	9,26	3,81	1,92

N.º Apoyo	Tipo	Función	α (°)	f (m)	br (m)	l (m)	h (m)	β (°)	d (m)	d puente flojo (m)
5	CO-7000-15-S1773-AM	ALINEACIÓN-AMARRE	180	1,5	4,6	4,25	2,5	9,26	4,19	3,18
9	CO-7000-24-S1773-AM	ALINEACIÓN-AMARRE	180	1,5	4,6	4,25	2,5	9,26	4,19	3,18
10	CO-7000-15-S1773-AM	ALINEACIÓN-AMARRE	180	1,5	4,6	4,25	2,5	9,26	4,19	3,18
PAS 12	CO-18000-15-PAS_SC	FIN DE LÍNEA - PAS	180	1,5	4,1	4,25	2,5	10,37	4,18	2,68

Tabla 105 - distancias a masa en apoyos tipo ángulo

Capítulo 7. PRESUPUESTO

7.1 TRAMO AÉREO

7.1.1 SUMINISTRO

MATERIALES LÍNEA AÉREA			
DESIGNACIÓN	UDS.	P.U. (Euros)	TOTAL (Euros)
CO-18000-18-S1773	1	9.936,00 €	9.936,00 €
CO-12000-24-S1773	1	10.542,00 €	10.542,00 €
CO-3000-30-S1773	1	8.014,50 €	8.014,50 €
CO-9000-27-S1773	1	10.702,50 €	10.702,50 €
CO-7000-15-S1773	2	5.680,50 €	11.361,00 €
CO-3000-21-S1773	2	6.034,50 €	12.069,00 €
CO-3000-24-S1773	1	6.651,00 €	6.651,00 €
CO-7000-24-S1773	1	7.617,00 €	7.617,00 €
CO-3000-27-S1773	1	7.371,00 €	7.371,00 €
CO-18000-15-PAS_SC	1	9.883,50 €	9.883,50 €
Ud. Puesta a tierra tetrabloque normalizada en apoyo tipo zona frecuentada	12	1.989,59 €	23.875,08 €
Placa de señalización la instalación	12	13,40 €	160,80 €
Kg. Cable conductor LA-455 (1,52 Kg/m) + suministro a pie de obra, para SC	14.626,68	2,75 €	40.223,37 €
Amortiguador para conductor LA-455 (* estimado)	72	20,07 €	1.445,04 €
Km. Cable de tierra OPGW	3,21	4.100,00 €	13.161,00 €
Amortiguador para Cable de tierra OPGW (* estimado)	24	25,00 €	600,00 €
Ud. Caja de empalme para fibra óptica	3	465,62 €	1.396,86 €
Ud. Herrajes para cadena de aislamiento completa - Amarre SIMPLE LA-455 (Circuito 220 kV)	36	42,11 €	1.515,95 €
Ud. Herrajes para cadena de aislamiento completa - Suspensión SIMPLE LA-455 (Circuito 220 kV)	18	25,27 €	454,79 €
Ud. Aisladores U 160 BS	954	4,53 €	4.321,62 €
Ud. Herraje biconjunto amarre bajante cable OPGW	3	138,46 €	415,38 €
Ud. Herraje biconjunto amarre pasante cable OPGW	4	112,25 €	449,00 €
Ud. Herraje suspensión cable OPGW simple	6	65,13 €	390,78 €
Ud. Suministro de balizas salvapájaros (cada 10 metros en cable OPGW - tipo BAGTR)	327	19,78 €	6.468,06 €
TOTAL MATERIALES LÍNEA AÉREA (EUROS)			189.025,23 €

Tabla 106 - Presupuesto de los materiales del tramo aéreo

7.1.2 OBRA CIVIL

OBRA CIVIL LÍNEA AÉREA			
DESIGNACIÓN	UDS.	P.U. (Euros)	TOTAL (Euros)
m ³ Excavación apoyos en todo tipo de terreno	166,24	132,01 €	21.945,34 €
P.A. Ejecución de nuevos accesos a apoyos. adecuación de accesos existentes y restitución de estos una vez acabado el montaje de los apoyos	1	2.000,00 €	2.000,00 €
m ³ 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.	179,67	148,42 €	26.666,62 €
TOTAL OBRA CIVIL LÍNEA AÉREA (EUROS)			50.611,96 €

Tabla 107 - Presupuesto de la obra civil de la línea aérea

7.1.3 MONTAJE

MONTAJE LÍNEA AÉREA			
DESIGNACIÓN	UDS.	P.U. (Euros)	TOTAL (Euros)
CO-18000-18-S1773	1	5.299,20 €	5.299,20 €
CO-12000-24-S1773	1	5.622,40 €	5.622,40 €
CO-3000-30-S1773	1	4.274,40 €	4.274,40 €
CO-9000-27-S1773	1	5.708,00 €	5.708,00 €
CO-7000-15-S1773	2	3.029,60 €	6.059,20 €
CO-3000-21-S1773	2	3.218,40 €	6.436,80 €
CO-3000-24-S1773	1	3.547,20 €	3.547,20 €
CO-7000-24-S1773	1	4.062,40 €	4.062,40 €
CO-3000-27-S1773	1	3.931,20 €	3.931,20 €
CO-18000-15-PAS_SC	1	5.271,20 €	5.271,20 €
Ud. Montaje de puesta a tierra tetrabloque normalizada en apoyo tipo zona frecuentada	12	4.154,52 €	49.854,24 €
Ud. Montaje de Placa de señalización	12	31,50 €	378,00 €
Km. Tendido SC circuito (220 kV) conductor LA-455 CONDOR, regulado, tensado, engrapado según proyecto	3,11	11.101,50 €	34.525,67 €
Ud. Colocación Amortiguador para conductor LA-455 (* estimado)	72	33,10 €	2.383,20 €
Km. Tendido cable de tierra OPGW, regulado según proyecto y engrapado	3,11	5.346,00 €	16.626,06 €
Ud. Colocación Amortiguador para Cable OPGW (* estimado)	24	33,10 €	794,40 €
Ud. Montaje en apoyo y operaciones ópticas. Caja de empalme para fibra óptica.	3	3.902,58 €	11.707,74 €
Ud. Montaje cadena de aislamiento completa - Amarre SIMPLE LA-455 (220 kV)	36	205,60 €	7.401,60 €
Ud. Montaje cadena de aislamiento completa - Suspensión SIMPLE LA-455 (220 kV)	18	100,08 €	1.801,44 €
Ud. Montaje herraje biconjunto amarre bajante cable OPGW	3	41,00 €	123,00 €
Ud. Montaje herraje biconjunto amarre pasante cable OPGW	4	41,00 €	164,00 €

MONTAJE LÍNEA AÉREA			
DESIGNACIÓN	UDS.	P.U. (Euros)	TOTAL (Euros)
Ud. Montaje herraje suspensión cable OPGW simple	6	32,40 €	194,40 €
Ud. Suministro de balizas salvapájaros (cada 10 metros en cable OPGW - tipo BAGTR) (* estimado)	327	12,45 €	4.071,15 €
P.A. Trabajos auxiliares de montaje. Incluye todos los trabajos necesarios para la culminación del montaje, tales como la utilización de maquinaria de tendido y/o izado especial, protección de cruces con carretera y líneas alta tensión.	1	2.000,00 €	2.000,00 €
TOTAL MONTAJE LÍNEA AÉREA (EUROS)			182.236,90 €

Tabla 108 - Presupuesto del montaje de la línea aérea

7.1.4 VARIOS

VARIOS			
DESIGNACIÓN	UDS.	P.U. (Euros)	TOTAL (Euros)
Ud. Informe reflectometría y atenuación (1 a 96 fibras ópticas) del número especificado de fibras ópticas, entre los puntos de acceso a las fibras que designe la propiedad	1	1.268,97 €	1.268,97 €
P.A. Control de Calidad, incluyendo ensayos de hormigón según norma EHE, medición de resistencia de puesta a tierra de apoyos, así como los explícitamente indicados en el Pliego de Condiciones del proyecto y otros que pudiera requerir la Dirección de Obra	1	2.000 €	2.000,00 €
Km. Replanteo de apoyos sobre el terreno, incluido estaquillado y comprobación de perfil.	3,11	300,00 €	934,25 €
P.A. Elaboración de documentación Final de obra. Incluyendo datos técnicos del material instalado, certificados de calidad, informes de los ensayos realizados y colección de planos As-Built.	1	3.000,00 €	3.000,00 €
TOTAL VARIOS (EUROS)			7.203,22 €

Tabla 109 - Presupuesto de otros términos varios de la línea aérea

7.2 TRAMO SUBTERRÁNEO

7.2.1 SUMINISTRO

MATERIALES LÍNEA SUBTERRÁNEA			
DESIGNACIÓN	UDS.	P.U. (Euros)	TOTAL (Euros)
m. Canalización de simple circuito bajo tubo hormigonado, de 250mm, cinta señalizadora de cables de AT, separadores de tubos y tubos de reserva	13262,40	55,38 €	734.471,71 €
m. Cable para 220kV de al menos 400mm ² de Al, con pantalla de blindaje de alambre de cobre, aislamiento XLPE y cubierta exterior de PVC.	39838,20	100,42 €	4.000.422,57 €
m. Cable de fibra óptica dieléctrico tipo PKP de 96 fibras	13561,16	10,60 €	143.714,39 €
Ud. Terminales de intemperie y pararrayos para el cable anterior	3	13.140,40 €	39.421,20 €

MATERIALES LÍNEA SUBTERRÁNEA			
DESIGNACIÓN	UDS.	P.U. (Euros)	TOTAL (Euros)
Cámara de empalme prefabricada para 220 kV	8	8.780,10 €	70.240,80 €
Conjunto empalme premoldeado recto 220kV 1x400 mm ² de Al + H375	24	23.455,49 €	562.931,70 €
Electrodo de puesta a tierra cámara de empalme prefabricada simple 220kV	24	1.098,69 €	26.368,56 €
Ud. Arqueta de puesta a tierra, con relleno de zahorra, tapa recta prefabricada	24	1.784,81 €	42.835,44 €
Ud. Arqueta de tiro y control durante el trazado	82	985,00 €	80.770,00 €
TOTAL MATERIALES LÍNEA SUBTERRÁNEA (EUROS)			5.701.176,37 €

Tabla 110 - Presupuesto de los materiales del tramo subterráneo

7.2.2 OBRA CIVIL

OBRA CIVIL LÍNEA SUBTERRÁNEA			
DESIGNACIÓN	UDS.	P.U. (Euros)	TOTAL (Euros)
m. Apertura de zanja de simple circuito en cualquier tipo de terreno, con las dimensiones indicadas, tapado y compactado	13262,40	83,75 €	1.110.726,00 €
m. Canalización bajo tubo hormigonado, de 250 mm, colocación de cinta señalizadora de cables de AT, colocación de separadores de tubos y tubos de reserva, incluso en la perforación dirigida	13262,40	69,53 €	922.134,67 €
m. Perforación dirigida	194,85	560,00 €	109.116,00 €
m. Hinca	103,91	442,40 €	45.969,78 €
TOTAL OBRA CIVIL LÍNEA (EUROS)			2.187.946,46 €

Tabla 111 - Presupuesto de la obra civil de la línea subterránea

7.2.3 MONTAJE

MONTAJE LÍNEA SUBTERRÁNEA			
DESIGNACIÓN	UDS.	P.U. (Euros)	TOTAL (Euros)
m. Tendido del cable de potencia, en tubo hormigonado de 250mm, colocación de cinta señalizadora de cables de AT, colocación de separadores de tubos y tubos de reserva	13262,40	126,50 €	1.677.693,60 €
m. Tendido del cable de potencia, en tubo de 250mm, colocación de tubos de reserva, en perforación dirigida y en hinca	298,76	177,10 €	52.910,40 €
m. Tendido de cable de fibra óptica dieléctrico tipo PKP de 96 fibras	13561	34,00 €	461.079,44 €
Ud. Montaje de cámara de empalme	8	7.902,72 €	63.221,76 €
Ud. Montaje de conjunto empalme premoldeado recto 220kV 1x400mm ² + H375 (por terna)	8	22.032,23 €	176.257,84 €
Ud. Montaje de electrodo de puesta a tierra cámara de empalme prefabricada 220 kV (por terna)	8	105,37 €	842,96 €
Ud. Montaje de terminales de intemperie y pararrayos	3	7.521,04 €	22.563,12 €
Ud. Arqueta de puesta a tierra, con relleno de zahorra, tapa recta prefabricada, impermeabilización y reposición de pavimento	8	927,25 €	7.418,00 €

MONTAJE LÍNEA SUBTERRÁNEA			
DESIGNACIÓN	UDS.	P.U. (Euros)	TOTAL (Euros)
Ud. Montaje de arqueta de tiro y control	24	240,00 €	5.760,00 €
TOTAL MONTAJE LÍNEA SUBTERRÁNEA (EUROS)			2.467.747,12 €

Tabla 112 - Presupuesto del montaje de la línea subterránea

7.2.4 VARIOS

VARIOS SUBTERRÁNEO			
DESIGNACIÓN	UDS.	P.U. (Euros)	TOTAL (Euros)
Ud. Informe reflectometría y atenuación (1 a 48 fibras ópticas) del número especificado de fibras ópticas, entre los puntos de acceso a las fibras que designe la propiedad	1	1.268,97 €	1.268,97 €
P.A. Control de Calidad, incluyendo ensayos de hormigón según norma EHE, medición de resistencia de puesta a tierra de apoyos, así como los explícitamente indicados en el Pliego de Condiciones del proyecto y otros que pudiera requerir la Dirección de Obra	1	108.000,00 €	108.000,00 €
P.A. Elaboración de documentación Final de obra. Incluyendo datos técnicos del material instalado, certificados de calidad, informes de los ensayos realizados y colección de planos As-Built.	1	81.000,00 €	81.000,00 €
TOTAL VARIOS (EUROS)			190.268,97 €

Tabla 113 - Presupuesto de otros elementos varios de la línea subterránea

7.3 MEDIO AMBIENTE

7.3.1 PLAN DE VIGILANCIA

PLAN DE VIGILANCIA			
DESIGNACIÓN	UDS.	P.U. (Euros)	TOTAL (Euros)
Plan de vigilancia ambiental y medias preventivas en las distintas fases de la instalación (Obra, explotación, desmantelamiento)	1	81.434,00 €	81.434,00 €
TOTAL (EUROS)			81.434,00 €

Tabla 114 - Presupuesto del plan de vigilancia

7.3.2 RESTAURACIÓN

RESTAURACIÓN			
DESIGNACIÓN	UDS.	P.U. (Euros)	TOTAL (Euros)
Restauración en las distintas fases de la instalación (Obra, desmantelamiento)	1	1.577,00 €	1.577,00 €
TOTAL (EUROS)			1.577,00 €

Tabla 115 - Presupuesto de la restauración

7.1 DESMANTELAMIENTO

Descripción		Precio Total
Tramo Subterráneo	Desmontaje de Línea	260.241,33 €
	Obra Civil	437.393,95 €
	Total Subterráneo	697.635,29 €
Tramo Aéreo	Desmontaje de Línea	30.979,12 €
	Obra Civil	15.900,00 €
	Total Aéreo	46.879,12 €
TOTAL LÍNEA		744.514,41 €

Tabla 116 - Presupuesto del desmantelamiento

7.2 GESTIÓN DE RESIDUOS

PRODUCCIÓN Y GESTIÓN DE RESÍDUOS	28,492.49 €

Tabla 117 - Presupuesto de la gestión de residuos

7.3 SEGURIDAD Y SALUD LABORAL

SEGURIDAD Y SALUD LABORAL	26,994.60 €

Tabla 118 - Presupuesto de seguridad y salud

7.4 PRESUPUESTO TOTAL

TRAMO AÉREO	OBRA CIVIL	50.611,96 €

	MATERIALES	189.025,23 €
	MONTAJE	182.236,90 €
	VARIOS	7.203,22 €
TRAMO SUBTERRÁNEO	OBRA CIVIL	2.187.946,46 €
	MATERIALES	5.701.176,37 €
	MONTAJE	2.467.747,12 €
	VARIOS	190.268,97 €
MEDIO AMBIENTE	PLAN DE VIGILANCIA	81.434,00 €
	DESMANTELAMIENTO	744.514,41 €
	RESTAURACIÓN	1.577,00 €
PRODUCCIÓN Y GESTIÓN DE RESIDUOS		28.492,49 €
SEGURIDAD Y SALUD LABORAL		26.994,60 €
TOTAL PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN DE MATERIAL (EUROS)		11.859.228,73 €

Tabla 119 - Presupuesto total de la línea SET Corrales - SET Promotores Olite

El presupuesto total de ejecución del proyecto asciende a **ONCE MILLONES OCHOCIENTOS CINCUENTA Y NUEVE MIL DOSCIENTOS VEINTIOCHO EUROS CON SETENTA Y TRES CÉNTIMOS.**

Capítulo 8. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Gobierno de España. “Plan Nacional Integrado de Energía y Clima 2021-2030”. La Moncloa, Febrero 2019.
<https://www.lamoncloa.gob.es/consejodeministros/Paginas/enlaces/220219-plan.aspx>
- [2] Asociación Empresarial Eólica. “La eólica en España”. 2022. <https://aeeolica.org/sobre-la-eolica/la-eolica-en-espana/>
- [3] E-REDES. “Aisladores de cadena del tipo caperuza y vástago”. 2014.
<https://www.eredesdistribucion.es/recursos/doc/distribucion-luz/20190320/lineas-aereas/et5039-ed4.pdf>
- [4] Universidad politécnica de Madrid. “Líneas aéreas. Cálculos mecánicos”.
https://www.cartagena99.com/recursos/alumnos/apuntes/asignatura_dia5.pdf
- [5] López Parra, A. “Software para el cálculo eléctrico y mecánico de L.A.T. subterránea y aérea”. Universidad Politécnica de Cartagena. Octubre, 2013.
<https://docplayer.es/3755442-Software-para-el-calculo-electrico-y-mecanico-de-l-a-t-subterranea-y-aerea.html>
- [6] Organización de las Naciones Unidas. “Objetivos de desarrollo sostenible”. [Objetivos de Desarrollo Sostenible, ONU \[2021\]](#)
- [7] Diario de Navarra. “Dónde ver aves en Navarra: 9 lugares indispensables para amantes de la ornitología”. Septiembre, 2021. [Dónde ver aves en Navarra: 9 lugares indispensables para amantes de la ornitología \(diariodenavarra.es\)](#).
- [8] Imedexsa. “Catálogo general”. 2012.
https://www.imedexsa.es/wp-content/uploads/2019/07/CATALOGO-GENERAL_2012.pdf
- [9] Iberdrola. “Catálogo de Cables Aéreos”. 2019. https://industria.gob.es/Calidad-Industrial/seguridadindustrial/instalacionesindustriales/lineas-alta-tension/Documents/proyectos-vigentes-anulados/iberdrola/NI%2054.63.01_E09_may19-.pdf
- [10] Taihan. “Catálogo cable aislado de alta tensión”.
<https://www.taihan.com/es/product/downloader.asp?prodCatalogId=59&prodCatalogFileType=F>

- [11] Ministerio de Industria, Energía y Turismo. “Instrucción Técnica Complementaria ITC-LAT 07 LÍNEAS AÉREAS CON CONDUCTORES DESNUDOS”. Abril, 2019.
<https://industria.gob.es/Calidad-Industrial/seguridadindustrial/instalacionesindustriales/lineas-alta-tension/Documents/guia-itc-lat-07-rev-2.pdf>
- [12] Ministerio de Industria, Energía y Turismo. “Instrucción Técnica Complementaria ITC-LAT 06 LÍNEAS SUBTERRANEAS CON CABLES AISLADOS.”. Abril, 2019.
<http://roble.pntic.mec.es/jcat0021/Archivos%20para%20descargar/LAT%202008/ITC-LAT%2006.pdf>
- [13] Sector Electricidad. “Protección ofrecida por los cables de tierra.” Mayo, 2015.
[Apantallamiento de líneas de transmisión con cable de guarda | Sector Electricidad | Profesionales en Ingeniería Eléctrica](#)
- [14] Echavarren Cerezo, F.M. “Parámetros y Modelos de Líneas Eléctricas.”. Abril, 2019.
https://sifo.comillas.edu/pluginfile.php/3241296/mod_resource/content/4/Apuntes%20PML.pdf
- [15] Meteorología y climatología de Navarra. “Climatología de Navarra”. Navarra.es. 2021.
[Ficha climática de la estación - Meteo Navarra](#)
- [16] Prysmian. “OPGW and ADSS Fiber Cable For Overhead Transmission Lines”.
- [17] LaGranjaInsulators. “Aisladores de vidrio”.
- [18] Industrias Arruti. “Catálogo de Herrajes”.
- [19] LikiNormas. “ET-AT-305 Herrajes para líneas aéreas de alta tensión”. Codensa. [ET-AT-305 Herrajes para líneas aéreas de alta tensión | Likinormas \(micodensa.com\)](#)
- [20] Boletín Oficial del Estado. “Real Decreto 223/2008, de 15 de febrero”.
<https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2008-5269>
- [21] Boletín Oficial del Estado. “Real Decreto 1066/2001, de 28 de septiembre”.
<https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2008-5269>
- [22] Guisasola Montes, F. “Proyecto De Ejecución De La LAT De 132 kV PSFV El Molino–Se Campos”. Escuela Técnica Superior de Ingeniería, ICAI.
<https://repositorio.comillas.edu/jspui/handle/11531/1681>
- [23] ABB. “Catálogo de Pararrayos”.¹³

¹³ Los catálogos sin enlace han sido proporcionados por la empresa.

ANEXO I: CÓDIGOS

Se presenta, a continuación, el código utilizado para el cálculo eléctrico de la línea. El código ha sido desarrollado por Fernando Guisasola Montes, exalumno de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería ICAI. Al código original de Fernando Guisasola se han hecho algunas modificaciones y actualizaciones específicas para llevar a cabo el proyecto que se ha desarrollado.

Cálculos eléctricos:

```
format compact;
digits 25;
clear
close all
%% INPUT
%% Datos de la Línea
NP='AÉREOS, BIOTA-OLITE';           % Nombre del Proyecto (Para el nombre del
Excel) entre comillas
L=3110;                             % Longitud de la línea EN METROS
circ=1;                             % Número de circuitos
y=388;                              % Altura en metros sobre el nivel del mar Para corona
fp=0.958;                           % Factor de potencia por defecto 0.9 pero puede ser
0.958
FactorSol=1;                        % 1: Es un parque eólico.
U=[                                 % Tensión de Línea de cada circuito en kV
    220
];
S=[                                 % Potencia a la entrada de cada circuito en MVA
    144.25
];
SFlag=1
%% Datos de cada circuito
cfase=[                             % Conductores por fase, una posición de vector por
circuito, cables de potencia
    1
];
rcond=[                             % Radio de conductores, una posición de vector por
circuito en METROS
    0.02772*0.5
];
Rdc=[                               % Resistencia DC a 20° EN OHMIOS/METRO, una posición
de vector por circuito en METROS
    0.0000718
];
Imax=[                              % Corriente Máxima de cada conductor en A
    799
];
%% Conductor de Tierra
```



```
rtierra=9*10^-3; % Radio del conductor de tierra EN METROS
t=1; % Número de conductores pasivos (cables de
tierra)
Rdctierra = 0;

%% Conductores totales (No Tocar)
CondAct=cfase*3; % Vector de conductores activos por circuito
c=sum(CondAct); % Conductores activos
n=c+t; % Conductores totales
auxc=zeros(circ,1);
for(o=1:circ)
    if(o==1)
        auxc(o)=cfase(o)*3;
    else
        auxc(o)=auxc(o-1)+cfase(o)*3;
    end
end
if(circ==1)
    SFlag=0;
end

%% Matrices de coordenadas
% Coordenadas desde el punto más bajo en el centro de la cruceta (x y)
X= [ % Se sigue este orden Dimensión (nx2)
    4.6 0
    -4.6 3.3
    4.6 2*3.3
    0 5.9+2*3.3
];
h=21; % Altura adicional al mínimo apoyo
H=ones(n,2)*h;
H(:,1)=0;
X=X+H; % Corrección por apoyo
Imag= [X(:,1) -X(:,2)]; % vector de coordenadas de las
imágenes

%% Definición de la Matriz M (cx3)

auxM=eye(3);
auxMduplex=[ 1 0 0
    1 0 0
    0 1 0
    0 1 0
    0 0 1
    0 0 1
];
auxMtriplex=[ 1 0 0
    1 0 0
    1 0 0
    0 1 0
    0 1 0
```



```

];
auxMheptuplex=[ 1 0 0
                 1 0 0
                 1 0 0
                 1 0 0
                 1 0 0
                 1 0 0
                 1 0 0
                 1 0 0
                 0 1 0
                 0 1 0
                 0 1 0
                 0 1 0
                 0 1 0
                 0 1 0
                 0 1 0
                 0 0 1
                 0 0 1
                 0 0 1
                 0 0 1
                 0 0 1
                 0 0 1
                 0 0 1
                 0 0 1
                 ];

%% Vector de radios
auxtierra=ones(t,1)*rtierra;
auxcond=ones(c,1);
for (o=1:circ)
    if(o==1)
        for (g=1:auxc(o))
            auxcond(g)=rcond(o);
        end
    else
        for (g=auxc(o-1)+1:auxc(o))
            auxcond(g)=rcond(o);
        end
    end
end
R=[auxcond
  auxtierra];

%% Vector de Resistencias

auxtierraR=ones(t,1)*Rdctierra;
auxcondR=ones(c,1);

for (o=1:circ)
    if(o==1)
        for (g=1:auxc(o))
            auxcondR(g)=Rdc(o);
        end
    else
        for (g=auxc(o-1)+1:auxc(o))

```

```

        auxcondR(g)=Rdc(o);

    end

end

end
r=[auxcondR
    auxtierraR];

%% Otros Parámetros (por lo general NO TOCAR)
f=50; % Frecuencia eléctrica (Hz)
w=2*pi*f; % Pulsación eléctrica (rad/s)
To=20; % Temperatura de referencia del cable en °C
Tmax=85; % Temperatura máxima del conductor en °C
mu0=4*pi*10^(-7); % Permeabilidad magnética del vacío (A/m)
epsilon0=8.85*10^(-12); % Permitividad magnética del vacío
RMG=exp(-0.25)*R; % Radio medio geometrico del conductor
ro=pi/180; % Conversión grados a radianes
roG=100; % Resistividad del terreno (ohmios*metro)
Rg=9.867*10^(-7)*f; % Resistencia serie del terreno por
unidad de longitud (ohmios/metro)
De=658.368*sqrt(roG/f); % Distancia equivalente al terreno (m)
alfa=4.03*10^-3; % Coeficiente de aumento de la
resistividad del aluminio
a012=exp(i*2*pi/3);
A012=[
    [ 1 1 1 ] ;
    [ 1 a012*a012 a012 ] ;
    [ 1 a012 a012*a012 ] ;
    ] ;

%% Corrección por Temperatura

I=S./(sqrt(3)*U)*10^3; % Intensidades por fase (A)
for(o=1:circ) % Intensidades por conductor (A)
    if(o==1)
        for(g=1:auxc(o))
            Itemp(g)=I(o)/cfase(o);
            Imaxv(g)=Imax(o);
            Rdcv(g)=Rdc(o);
        end
    else
        for(g=auxc(o-1)+1:auxc(o))
            Itemp(g)=I(o)/cfase(o);
            Imaxv(g)=Imax(o);
            Rdcv(g)=Rdc(o);
        end
    end
end
for(g=1:c)
    Tf(g)=To+((Tmax-To)*(Itemp(g)/Imaxv(g))^2);
end
RTemp=Rdcv.*(1+alfa*(Tf-To));

```

```
%% Efecto Pelicular

q=sqrt((8*pi*f*10^-7)./RTemp);
ys=q.^4./(192+0.8*q.^4);

%% Cálculo de Resistencia Real del cable (OHM/M)
RfinalT=transpose(auxtierraR);
RfinalC=RTemp.*(1+ys);
Rfinal=[RfinalC RfinalT];
%% Distancias entre conductores
Dis=ones(n,n); % Inicialización de la matriz
for(h=1:n)
    for(j=1:n)
        if(h==j) % Elementos de la diagonal
            Dis(h,j)= 0;
        else % Elementos no diagonales
            Dis(h,j)=sqrt((X(h,1)-X(j,1))^2+(X(h,2)-X(j,2))^2) ;
        end
    end
end

%% Distancias hasta las imágenes
DImag=ones(n,n); % Inicialización de la matriz
for(h=1:n)
    for(j=1:n)
        DImag(h,j)=sqrt((X(h,1)-Imag(j,1))^2+(X(h,2)-Imag(j,2))^2) ;
    end
end

%% Matriz de impedancias de la línea
Z=ones(n,n); % Inicialización de la matriz
for(h=1:n)
    for(j=1:n)
        if(h==j) % Elementos de la diagonal
            Z(h,j)= Rfinal(h)+Rg+i*w*mu0*log(De/RMG(h))/(2*pi);
        else % Elementos no diagonales
            Z(h,j)=Rg+i*w*mu0*log(De/Dis(h,j))/(2*pi);
        end
    end
end

%% Matriz de Potenciales de Maxwell
P=ones(n,n); % Inicialización de la matriz
for(h=1:n)
    for(j=1:n)
        if(h==j) % Elementos de la diagonal
            P(h,j)= 1/(2*pi*epsilon0)*log(2*X(h,2)/R(h));
        else % Elementos no diagonales
            P(h,j)=1/(2*pi*epsilon0)*log(DImag(h,j)/Dis(h,j)) ;
        end
    end
end
```

```
%% Matriz de Capacidades (F/m)
Cp=inv(P);
Y=i*w*Cp;                                % (nxn)
%% Reducción De los conductores pasivos
Zcc=Z(1:c,1:c);                          % Elementos de la matriz correspondientes
a cables que transportan potencia
Zww=Z((c+1):(c+t),(c+1):(c+t));          % Elementos de la matriz correspondientes
a los cables de tierra
Zcw=Z(1:c,(c+1):(c+t));
Zwc=Z((c+1):(c+t),1:c);
Zred=(Zcc-Zcw*inv(Zww)*Zwc);              % Matriz reducida sin cables de tierra
(cxc)
Ypred=Y(1:c,1:c);                        % Matriz reducida sin cables de tierra
(cxc)

%% Reducción de múltiples conductores por fase
if (SFlag==0)
Maux=[ auxM
        auxM
        auxM
        auxM
        auxM
        auxM
        auxM
        ];
Mauxduplex= [ auxMduplex
               auxMduplex
               auxMduplex
               auxMduplex
               auxMduplex
               auxMduplex
               ];
Mauxtriplex=[ auxMtriplex
               auxMtriplex
               auxMtriplex
               auxMtriplex
               auxMtriplex
               auxMtriplex
               ];
Mauxcuadraplex=[auxMcuadraplex
                 auxMcuadraplex
                 auxMcuadraplex
                 auxMcuadraplex
                 auxMcuadraplex
                 auxMcuadraplex
                 ];
Mauxquintuplex=[auxMquintuplex
                 auxMquintuplex
```

```

        auxMquintuplex
        auxMquintuplex
        auxMquintuplex
        auxMquintuplex
        auxMquintuplex
    ];
Mauxsextuplex=[auxMsextuplex
        auxMsextuplex
        auxMsextuplex
        auxMsextuplex
        auxMsextuplex
        auxMsextuplex
        auxMsextuplex
    ];
Mauxheptuplex=[auxMheptuplex
        auxMheptuplex
        auxMheptuplex
        auxMheptuplex
        auxMheptuplex
        auxMheptuplex
        auxMheptuplex
    ];
if (circ==1)
    if(cfase==1)
        M=Maux(1:c,1:3);
    elseif(cfase==2)
        M=Mauxduplex(1:c,1:3);
    elseif(cfase==3)
        M=Mauxtriplex(1:c,1:3);
    elseif(cfase==4)
        M=Mauxcuadruplex(1:c,1:3);
    elseif(cfase==5)
        M=Mauxquintuplex(1:c,1:3);
    elseif(cfase==6)
        M=Mauxsextuplex(1:c,1:3);
    elseif(cfase==7)
        M=Mauxheptuplex(1:c,1:3);
    end
end

Zredfase=inv(transpose(M)*inv(Zred)*M);           % Matriz reducida por circuitos
simplex
Yredfase=transpose(M)*Ypred*M;                     % Matriz de admitancias por
circuitos simplex

ZD=(Zredfase(1,1)+Zredfase(2,2)+Zredfase(3,3))/3;
ZM=(Zredfase(1,2)+Zredfase(2,3)+Zredfase(1,3))/3;
Zs=ZD-ZM;

YpD=(Yredfase(1,1)+Yredfase(2,2)+Yredfase(3,3))/3;
YpM=(Yredfase(1,2)+Yredfase(2,3)+Yredfase(1,3))/3;

```

```
Yp=YpD-YpM; % Admitancia Paralelo del
conductor
Afull=[
    [A012 zeros(3,9)];
    [zeros(3) A012 zeros(3,6)];
    [zeros(3,6) A012 zeros(3)];
    [zeros(3,9) A012];
];

Z012=inv(A012)*Zredfase*A012;
else
if (circ==2)

    if (cfase(1)==1)
        am=auxM;
    elseif (cfase(1)==2)
        am=auxMduplex;
    elseif (cfase(1)==3)
        am=auxMtriplex;
    elseif (cfase(1)==4)
        am=auxMcuadрупlex;
    elseif (cfase(1)==5)
        am=auxMquintuplex;
    elseif (cfase(1)==6)
        am=auxMsextuplex;
    elseif (cfase(1)==7)
        am=auxMheptuplex;
    end

    if (cfase(2)==1)
        bm=auxM;
    elseif (cfase(2)==2)
        bm=auxMduplex;
    elseif (cfase(2)==3)
        bm=auxMtriplex;
    elseif (cfase(2)==4)
        bm=auxMcuadрупlex;
    elseif (cfase(2)==5)
        bm=auxMquintuplex;
    elseif (cfase(2)==6)
        bm=auxMsextuplex;
    elseif (cfase(2)==7)
        bm=auxMheptuplex;
    end

    M=[am zeros(length(am),3)
        zeros(length(bm),3) bm];
end
if (circ==3)

    if (cfase(1)==1)
```



```
am=auxM;
elseif (cfase(1)==2)
    am=auxMduplex;
elseif (cfase(1)==3)
    am=auxMtriplex;
elseif (cfase(1)==4)
    am=auxMcuadruplex;
elseif (cfase(1)==5)
    am=auxMquintuplex;
elseif (cfase(1)==6)
    am=auxMsextuplex;
elseif (cfase(1)==7)
    am=auxMheptuplex;
end

    if (cfase(2)==1)
        bm=auxM;
    elseif (cfase(2)==2)
        bm=auxMduplex;
    elseif (cfase(2)==3)
        bm=auxMtriplex;
    elseif (cfase(2)==4)
        bm=auxMcuadruplex;
    elseif (cfase(2)==5)
        bm=auxMquintuplex;
    elseif (cfase(2)==6)
        bm=auxMsextuplex;
    elseif (cfase(2)==7)
        bm=auxMheptuplex;
    end

    if (cfase(3)==1)
        cm=auxM;
    elseif (cfase(3)==2)
        cm=auxMduplex;
    elseif (cfase(3)==3)
        cm=auxMtriplex;
    elseif (cfase(3)==4)
        cm=auxMcuadruplex;
    elseif (cfase(3)==5)
        cm=auxMquintuplex;
    elseif (cfase(3)==6)
        cm=auxMsextuplex;
    elseif (cfase(3)==7)
        cm=auxMheptuplex;
    end

M=[am zeros(length(am),3) zeros(length(am),3)
    zeros(length(bm),3) bm zeros(length(bm),3)
    zeros(length(cm),3) zeros(length(cm),3) cm];
end
if (circ==4)
```

```
if (cfase(1)==1)
    am=auxM;
elseif (cfase(1)==2)
    am=auxMduplex;
elseif (cfase(1)==3)
    am=auxMtriplex;
elseif (cfase(1)==4)
    am=auxMcuadruplex;
elseif (cfase(1)==5)
    am=auxMquintuplex;
elseif (cfase(1)==6)
    am=auxMsextuplex;
elseif (cfase(1)==7)
    am=auxMheptuplex;
end

if (cfase(2)==1)
    bm=auxM;
elseif (cfase(2)==2)
    bm=auxMduplex;
elseif (cfase(2)==3)
    bm=auxMtriplex;
elseif (cfase(2)==4)
    bm=auxMcuadruplex;
elseif (cfase(2)==5)
    bm=auxMquintuplex;
elseif (cfase(2)==6)
    bm=auxMsextuplex;
elseif (cfase(2)==7)
    bm=auxMheptuplex;
end

if (cfase(3)==1)
    cm=auxM;
elseif (cfase(3)==2)
    cm=auxMduplex;
elseif (cfase(3)==3)
    cm=auxMtriplex;
elseif (cfase(3)==4)
    cm=auxMcuadruplex;
elseif (cfase(3)==5)
    cm=auxMquintuplex;
elseif (cfase(3)==6)
    cm=auxMsextuplex;
elseif (cfase(3)==7)
    cm=auxMheptuplex;
end
if (cfase(4)==1)
    dm=auxM;
elseif (cfase(4)==2)
    dm=auxMduplex;
```

```
elseif (cfase(4)==3)
    dm=auxMtriplex;
elseif (cfase(4)==4)
    dm=auxMcuaadruplex;
elseif (cfase(4)==5)
    dm=auxMquintuplex;
elseif (cfase(4)==6)
    dm=auxMsextuplex;
elseif (cfase(4)==7)
    dm=auxMheptuplex;
end
M=[am zeros(length(am),3) zeros(length(am),3) zeros(length(am),3)
    zeros(length(bm),3) bm zeros(length(bm),3) zeros(length(bm),3)
    zeros(length(cm),3) zeros(length(cm),3) cm zeros(length(cm),3)
    zeros(length(dm),3) zeros(length(dm),3) zeros(length(dm),3) dm];
end
Zredcirc=inv(transpose(M)*inv(Zred)*M);           % Matriz reducida por circuitos
simplex
Yredcirc=transpose(M)*Ypred*M;                   % Matriz de admitancias por
circuitos simplex
Afull=[
    [A012 zeros(3,9)];
    [zeros(3) A012 zeros(3,6)];
    [zeros(3,6) A012 zeros(3)];
    [zeros(3,9) A012];
];
AF=Afull(1:circ*3,1:circ*3);
Z012=inv(AF)*Zredcirc*AF;
Y012=inv(AF)*Yredcirc*AF;
for(o=1:circ)
    Zs(o)=Z012(2+3*(o-1),2+3*(o-1));
    Yp(o)=Y012(2+3*(o-1),2+3*(o-1));
end
end

%% Ecuaciones de parámetros distribuidos
Zc=sqrt(Zs./Yp);           % Impedancia Característica
Gamma=sqrt(Zs.*Yp);        % Constante de Propagación
for(o=1:circ)
    Pc(o)=(U(o)^2)/(abs(Zc(o)));
end
A=cosh(Gamma*L);
Bc=-Zc.*sinh(Gamma*L);
C=-(1./Zc).*sinh(Gamma*L);
D=cosh(Gamma*L);
cosphi= [0.8:0.001:1];
Pa= ones (1,length(cosphi));
%% Inicio de la línea (para carga inductiva)
Usimple=U./sqrt(3)*Pa*10^3;
Uentrada=ones(circ,length(cosphi));
Ientrada=ones(circ,length(cosphi));
if(circ>1)
```

```

    for(o=1:circ)
        Uentrada(o,:)=Usimple(o);
        Ientrada(o,:)=I(o)*exp(-i*acos(cosphi));
    end
else
    Uentrada=Usimple;
    Ientrada=I*exp(-i*acos(cosphi));
end
%% Final de la línea
if(circ>1)
    if(SFlag==0)
        Ientrada=sum(I)*exp(-i*acos(cosphi));
        Usalida=A*Uentrada+Bc*Ientrada;
        Isalida=C*Uentrada+D*Ientrada;
    else
        for(o=1:circ)
            Usalida(o,:)=A(o).*Uentrada(o,:)+Bc(o).*Ientrada(o,:);
            Isalida(o,:)=C(o).*Uentrada(o,:)+D(o).*Ientrada(o,:);
        end
    end
else
    Usalida=A.*Uentrada+Bc.*Ientrada;
    Isalida=C.*Uentrada+D.*Ientrada;
end
%% Balance de Potencias

% Activa
Pentrada=3*real(Uentrada.*conj(Ientrada));
Psalida=3*real(Usalida.*conj(Isalida));

% Reactiva
Qentrada=3*imag(Uentrada.*conj(Ientrada));
Qsalida=3*imag(Usalida.*conj(Isalida));

% Marker
posM=find(cosphi==fp);

% Plot
if (SFlag==0)
    deltaPpercent=(Pentrada-Psalida)./Pentrada*100;    % En porcentaje
    figure(1);
    p=plot(cosphi,deltaPpercent);
    xticks([0:0.025:length(cosphi)]);
    xlabel('cos Phi');
    ylabel('deltaP (%)');
    title('Pérdidas de potencia activa');
    grid on;
    datatip(p,'DataIndex',posM);
else

    deltaPpercent=(Pentrada-Psalida)./Pentrada*100;
    if(circ>1)

```

```

figure(1);
p=plot(cosphi,deltaPpercent(1,:));
xticks([0:0.025:length(cosphi)]);
xlabel('cos Phi');
ylabel('deltaP1 (%)');
grid on;
title('Pérdidas de potencia activa del circuito 1');
datatip(p,'DataIndex',posM);

figure(2);
p=plot(cosphi,deltaPpercent(2,:));
xticks([0:0.025:length(cosphi)]);
xlabel('cos Phi');
ylabel('deltaP2 (%)');
grid on;
datatip(p,'DataIndex',posM);
title('Pérdidas de potencia activa del circuito 2');
    if(circ>2)
        figure(3);
        p=plot(cosphi,deltaPpercent(3,:));
        xticks([0:0.025:length(cosphi)]);
        xlabel('cos Phi');
        ylabel('deltaP3 (%)');
        grid on;
        title('Pérdidas de potencia activa del circuito 3');
        datatip(p,'DataIndex',posM);
        if(circ>3)
            figure(4);
            p=plot(cosphi,deltaPpercent(4,:));
            xticks([0:0.025:length(cosphi)]);
            xlabel('cos Phi');
            ylabel('deltaP4 (%)');
            grid on;
            title('Pérdidas de potencia activa del circuito 4');
            datatip(p,'DataIndex',posM);
        end
    end
end
end

%% Caída de tensión
if(SFlag==0)
    deltaUpercent=((abs(Uentrada)-abs(Usalida))./abs(Uentrada))*100;

    figure(2);
    p=plot(cosphi,deltaUpercent);
    xticks([0:0.025:length(cosphi)]);
    xlabel('cos Phi');
    ylabel('deltaU (%)');
    title('Caída de tensión');
    grid on;

```

```

    datatip(p, 'DataIndex', posM);
else

    deltaUpercent=(abs(Uentrada)-abs(Usalida))./abs(Uentrada)*100;

    if(circ>1)

        figure(5);
        p=plot(cosphi,deltaUpercent(1,:));
        xticks([0:0.025:length(cosphi)]);
        xlabel('cos Phi');
        ylabel('deltaU1 (%)');
        title('Caída de tensión del circuito 1');
        grid on;
        datatip(p, 'DataIndex', posM);

        figure(6);
        p=plot(cosphi,deltaUpercent(2,:));
        xticks([0:0.025:length(cosphi)]);
        xlabel('cos Phi');
        ylabel('deltaU2 (%)');
        title('Caída de tensión del circuito 2');
        grid on;
        datatip(p, 'DataIndex', posM);
        if(circ>2)
            figure(7);
            p=plot(cosphi,deltaUpercent(3,:));
            xticks([0:0.025:length(cosphi)]);
            xlabel('cos Phi');
            ylabel('deltaU3 (%)');
            grid on;
            title('Caída de tensión del circuito 3');
            datatip(p, 'DataIndex', posM);
            if(circ>3)
                figure(8);
                p=plot(cosphi,deltaUpercent(4,:));
                xticks([0:0.025:length(cosphi)]);
                xlabel('cos Phi');
                ylabel('deltaU4 (%)');
                grid on;
                title('Caída de tensión del circuito 4');
                datatip(p, 'DataIndex', posM);
            end
        end
    end
end

end

%% Cálculo de Componentes de Secuencia

if(SFlag==0)
    Z0=Z012(1,1);
    Z1=Z012(2,2);

```

```

    Z2=Z012(3,3);
else
    for(o=1:circ)
        Z0(o)=Z012(1+3*(o-1),1+3*(o-1));
        Z1(o)=Z012(2+3*(o-1),2+3*(o-1));
        Z2(o)=Z012(3+3*(o-1),3+3*(o-1));
    end
end

%% Cálculo del campo ELÉCTRICO mediante superficies Gaussianas
V=U*1000/sqrt(3);
for(o=1:circ)                                % Intensidades por conductor (A)
    if(o==1)
        for(g=1:auxc(o))
            Uvect(g)=V(o);
        end
    else
        for(g=auxc(o-1)+1:auxc(o))
            Uvect(g)=V(o);
        end
    end
end
Sd=150;                                       % Distancia en metros hasta donde se evalúan los
campos
previo=1;
derf=1;
for(o=1:circ)                                % Fase de la tensión de los conductores, (te lo
crees y ya)
    der=0;
    if(o==1)
        for(h=previo+1-derf:previo+auxc(o)-derf)
            Uvect(h)=Uvect(h)*(1*exp(-2*pi/3*i*der));
            if(h==cfase(o))
                der=1;
            elseif(h==2*cfase(o))
                der=2;
            end
            previo=h;
            derf=0;
        end
    else
        der=0;
        trif=0;
        for(h=previo+1:auxc(o))
            Uvect(h)=Uvect(h)*(1*exp(-2*pi/3*i*der));
            trif=trif+1;
            if(trif==cfase(o))
                der=1;
            elseif(trif==2*cfase(o))
                der=2;
            end
            previo=h;

```

```

        end
    end
end
Pot=P(1:c,1:c);
Q=inv(Pot)*transpose(Uvect); % vector de cargas lineales en los
conductores
DISTX=transpose([-Sd:1:Sd]);
DISTY=ones((2*Sd+1),1);
DIST=[DISTX DISTY];
E=ones(1,2*Sd+1)*0;
for(h=1:2*Sd+1) % Lugares donde se evalúa el campo
    for(j=1:c) % Conductores que generan el campo
        E(h)=E(h)+1/(2*pi*epsilon0)*Q(j)/sqrt((X(j,1)-DIST(h,1))^2+(X(j,2)-
DIST(h,2))^2);
    end
end

%% Display de E
Ekv=E*0.001; % En kilovoltios
figure
plot(DISTX,transpose(abs(Ekv)));
grid on
xticks([-Sd:25:Sd]);
xlabel('Distancia en horizontal al eje del apoyo(m)');
ylabel('E (kV/m)');
title('Módulo del campo eléctrico');

%% Cálculo del campo MAGNÉTICO mediante la ley de Biot-Savart
Ivect=transpose(Itemp)*FactorSol;
previo=1;
derf=1;
for(o=1:circ) % Fase de la tensión de los conductores, (te lo
crees y ya)
    der=0;
    if(o==1)
        for(h=previo+1-derf:previo+auxc(o)-derf)
            Ivect(h)=Ivect(h)*(1*exp(-2*pi/3*i*der));
            if(h==cfase(o))
                der=1;
            elseif(h==2*cfase(o))
                der=2;
            end
        end
        previo=h;
        derf=0;
    end
else
    der=0;
    trif=0;
    for(h=previo+1:auxc(o))
        Ivect(h)=Ivect(h)*(1*exp(-2*pi/3*i*der));
        trif=trif+1;
        if(trif==cfase(o))

```



```

        der=1;
        elseif(trif==2*cfase(o))
            der=2;
        end
        previo=h;
    end
end
end
Bx=ones(1,2*Sd+1)*0;
By=ones(1,2*Sd+1)*0;
for(h=1:2*Sd+1)
    % Lugares dónde se evalúa el campo
    for(j=1:c)
        % Conductores que generan el campo
        Bx(h)=Bx(h)+mu0*Ivect(j)*(X(j,1)-DIST(h,1))/(2*pi*(sqrt((X(j,1)-
DIST(h,1))^2+(X(j,2)-DIST(h,2))^2))^2;
        By(h)=By(h)+mu0*Ivect(j)*(X(j,2)-DIST(h,2))/(2*pi*(sqrt((X(j,1)-
DIST(h,1))^2+(X(j,2)-DIST(h,2))^2))^2;
        B(h)=sqrt(Bx(h)^2+By(h)^2);
    end
end

%% Display de B
figure(10)
plot(DISTX,transpose(abs(B)));
% plot 2D
hold on
LIMB=4*10^-7;
% Límite recomendado
LIMBvect=ones(1,2*Sd+1)*LIMB;
plot(DISTX,LIMBvect);
xticks([-Sd:25:Sd]);
hold off
grid on
xlabel('Distancia en horizontal al eje del apoyo (m)');
ylabel('B (T)');
title('Evolución de la densidad de flujo magnético');
profund=[0:2*Sd];
for (i=1:2*Sd+1)
    campo(:,i)=transpose(abs(B));
end
figure(11)
surf(profund,flip(DISTX),campo,'LineStyle','none');
grid on

ylabel('Distancia en horizontal al eje del apoyo (m)');
xlabel('Dirección de avance de la línea (m)');
zlabel('B (T)');
title('Evolución de la densidad de flujo magnético');
colormap jet
% hold on
% zp = ones(2*Sd+1, 2*Sd+1)*0.4; % Generate z data
% surf(DISTX,profund,zp);
%% Efecto corona
% Datos de efecto corona
Temp_aire = 25;
% Temperatura del aire en °C

```

```

Usvect =[72.5          % Tensiones máximas de la red
        145
        245
        420];
for (o=1:circ)
    if (U(o)==66)
        Us(o)=Usvect(1);
    elseif (U(o)==132)
        Us(o)=Usvect(2);
    elseif (U(o)==220)
        Us(o)=Usvect(3);
    elseif (U(o)==400)
        Us(o)=Usvect(4);
    else
        Us(o)=0;
    end
end
%% DMG
if (circ==1)
    DMG=(Dis(1,1+cfase)*Dis(1,1+2*cfase)*Dis(1+cfase,1+2*cfase))^(1/3);
elseif (circ==2)

    dr=sqrt(Dis(1,1+cfase(1))*Dis(1,1+2*cfase(1))*Dis(1,1+auxc(1)+cfase(2))*Dis(1,1+auxc(1)+2*cfase(2)))/Dis(1,1+auxc(1));

    ds=sqrt(Dis(1+cfase(1),1)*Dis(1+cfase(1),1+2*cfase(1))*Dis(1+cfase(1),1+auxc(1))*Dis(1+cfase(1),1+auxc(1)+2*cfase(2)))/Dis(1+cfase(1),1+auxc(1)+cfase(2));

    dt=sqrt(Dis(1+2*cfase(1),1)*Dis(1+2*cfase(1),1+cfase(1))*Dis(1+2*cfase(1),1+auxc(1))*Dis(1+2*cfase(1),1+auxc(1)+cfase(2)))/Dis(1+2*cfase(1),1+auxc(1)+2*cfase(2));
    DMG=(dr*ds*dt)^(1/3);
else
    DMG=0;
end
%% Cálculo del efecto corona
Densr = (273+25)*exp(-y/8150)/(273+Temp_aire); % Densidad relativa del aire
mc=0.85; % Coeficiente de rugosidad del conductor
ma=[ % Coeficiente climatológico
    1 % Condiciones secas
    0.8 % Condiciones húmedas
    ];

for (h=1:circ)
    Rcor(h)=0.4/(2*sin(pi/cfase(h)));
    req(h)=(cfase(h)*rcond(h)*(Rcor(h)^(cfase(h)-1)))^(1/cfase(h));
end
if (circ<=2)
    for (h=1:circ)
        for (j=1:2)
            Uc(h,j)=(30*cfase(h)*mc*ma(j)*Densr*rcond(h)*100*log(DMG/req(1,h)))/sqrt(2);
        end
    end
end

```

```

        end
    end
    for(h=1:circ)
        for(j=1:2)
            if(Uc(h,j)<Us(h)/sqrt(3))
                Pcorona(h,j)=241/Densr*(f+25)*sqrt(rcond(h)/DMG)*(Us(h)/sqrt(3)-
Uc(h,j))^2*(10^-5);    % Pérdidas por fase
            else
                Pcorona(h,j)=0;
            end
            PcoronaT(h,j)=3*Pcorona(h,j)*L/1000*10^-3;
        end
    end
else
    Uc=0;
    PcoronaT=0;
end
%% Preparación de datos
Zreal=real(Z)*1000;
Zimag=imag(Z)*1000;
RTempA=1000*RTemp;
RfinalA=1000*Rfinal;
Maxwell=P*10^-9;
VectQreal=real(Q)*10^6;
VectQimag=imag(Q)*10^6;
Yimag=imag(Y)*10^9;
Zsreal=real(Zs)*1000;
Zsimag=imag(Zs)*1000;
Ypreal=real(Yp)*10^9;
Ypimag=imag(Yp)*10^9;
Zcreal=real(Zc);
Zcimag=imag(Zc);
Gammareal=real(Gamma)*10^6;
Gammaimag=imag(Gamma)*10^6;
Z0real=real(Z0)*1000;
Z0imag=imag(Z0)*1000;
Z1real=real(Z1)*1000;
Z1imag=imag(Z1)*1000;
Z2real=real(Z2)*1000;
Z2imag=imag(Z2)*1000;
%% Output
filename=['Resultados matlab ', num2str(NP), '.xlsx'];
Filename=join(filename);
writematrix(Dis,Filename,'Sheet','Matriz de Distancias metros','Range','B2');
writematrix(DImag,Filename,'Sheet','Matriz de Distancias a Imag m','Range','B2');
writematrix(RTempA,Filename,'Sheet','Resistencia DC a T en ohmkm','Range','B2');
writematrix(RfinalA,Filename,'Sheet','Resistencia AC a T en ohmkm','Range','B2');
writematrix(Zreal,Filename,'Sheet','Matriz Z (Real) ohmkm','Range','B2');
writematrix(Zimag,Filename,'Sheet','Matriz Z (Imag) ohmkm','Range','B2');
writematrix(Maxwell,Filename,'Sheet','Matriz de Maxwell
(Real) kmnF','Range','B2');

```

```
writematrix(VectQreal,Filename,'Sheet','Vector de
cargas(Real)microcm','Range','B2');
writematrix(VectQimag,Filename,'Sheet','Vector de
cargas(Imag)microcm','Range','B2');
writematrix(Yimag,Filename,'Sheet','Matriz de Admit (Imag) mskm','Range','B2');
writematrix(Zsreal,Filename,'Sheet','Zs equivalente (Real) ohmkm','Range','B2');
writematrix(Zsimag,Filename,'Sheet','Zs equivalente (Imag) ohmkm','Range','B2');
%writematrix(Ypreal,Filename,'Sheet','Yp equivalente (Real)
micskm','Range','B2');
writematrix(Ypimag,Filename,'Sheet','Yp equivalente (Imag) micskm','Range','B2');
writematrix(Zcreal,Filename,'Sheet','Zc (Real) ohm','Range','B2');
writematrix(Zcimag,Filename,'Sheet','Zc (Imag) ohm','Range','B2');
writematrix(Gammareal,Filename,'Sheet','Gamma (Real) mradkm','Range','B2');
writematrix(Gammaimag,Filename,'Sheet','Gamma (Imag) mradkm','Range','B2');
writematrix(Pc,Filename,'Sheet','Potencia característica MW','Range','B2');
writematrix(Z0real,Filename,'Sheet','Imped secuenc 012 (Real)
ohmkm','Range','B2');
writematrix(Zlreal,Filename,'Sheet','Imped secuenc 012 (Real)
ohmkm','Range','B3');
writematrix(Z2real,Filename,'Sheet','Imped secuenc 012 (Real)
ohmkm','Range','B4');
writematrix(Z0imag,Filename,'Sheet','Imped secuenc 012 (Imag)
ohmkm','Range','B2');
writematrix(Zlimag,Filename,'Sheet','Imped secuenc 012 (Imag)
ohmkm','Range','B3');
writematrix(Z2imag,Filename,'Sheet','Imped secuenc 012 (Imag)
ohmkm','Range','B4');
writematrix(Uc,Filename,'Sheet','Tensión crit corona kV','Range','B2');
%writematrix(Us,Filename,'Sheet','Max tensión corona kV','Range','B2');
writematrix(PcoronaT,Filename,'Sheet','Pérdidas corona MW','Range','B2');
%% Tramos
filename2=['PyU ',num2str(NP)];
Filename2=join(filename2);
save(Filename2,'deltaUpercent','deltaPpercent');
```

Cálculos eléctricos del tramo subterráneo:

```
format compact;
digits 25;
clear
close all
%% Datos del conductor
l=13550; % longitud de la línea EN METROS
circ=1; % Número de circuitos
cfase=1; % Número de conductores por fase (cables de potencia)
Rdc=0.0778*10^-3; % Resistencia DC a 20° EN OHMIOS/METRO
X=0.273*10^-3; % Inductancia EN OHMIOS/METRO
C=0.131*10^-9; % Capacidad EN FARADIOS/METROS
U=220; % Tensión de línea en kV
S=144.25; % Potencia a la entrada de la línea en MVA
ImaxAdm=528; % Corriente máxima del conductor según el fabricante
%% Parámetros para el informe
```

```
fp=0.958; % Factor de potencia por defecto 0.9 pero puede ser
0.958
NP='Subterráneo POE3'; % Nombre del Proyecto (Para el nombre del Excel)
entre comillas

%% Otros Parámetros (por lo general NO TOCAR)
f=50; % Frecuencia eléctrica (Hz)
w=2*pi*f; % Pulsación eléctrica (rad/s)
To=20; % Temperatura de referencia del cable en
°C
Tmax=90; % Temperatura máxima del conductor en °C
ro=pi/180; % Conversión grados a radianes
alfa=4*10^-3; % Coeficiente de aumento de la
resistividad del aluminio
%% Corrección de la Resistencia por Temperatura
I=S/(sqrt(3)*U)*10^3/circ/cfase; % Corriente en régimen permanente a
la que se va a someter al cable en A
Tf=To+(Tmax-To)*(I/ImaxAdm)^2; % Estimación de la temperatura final del
cable en función del grado de carga
RTemp=Rdc*(1+alfa*(Tf-To));

%% Efecto Pelicular
q=sqrt((8*pi*f*10^-7)/RTemp);
ys=q^4/(192+0.8*q^4);

%% Cálculo de Resistencia Real del cable (OHM/M)
Rfinal=Rdc*(1+alfa*(Tf-To))*(1+ys);

%% Cálculo de la Impedancia Serie y Admitancia Paralelo
B=w*C;
Zs=(Rfinal+X*i)/circ/cfase;
Yp=B*i*circ*cfase;
%% Ecuaciones de parámetros distribuidos
Zc=sqrt(Zs/Yp); % Impedancia Característica
Gamma=sqrt(Zs*Yp); % Constante de Propagación
Pc=U^2/abs(Zc);
A=cosh(Gamma*l);
B=-Zc*sinh(Gamma*l);
C=-1/Zc*sinh(Gamma*l);
D=cosh(Gamma*l);
M=[A B
C D];
cosphi=[0.8:0.001:1];
P=ones(1,length(cosphi));
%% Inicio de la línea
Uentrada=U/sqrt(3)*P*10^3;
Ientrada=I*exp(-i*acos(cosphi));

%% Final de la línea
Usalida=A.*Uentrada+B.*Ientrada;
Isalida=C.*Uentrada+D.*Ientrada;
```

```
%% Balance de Potencias
Pentrada=3*real(Uentrada.*conj(Ientrada));
Psalida=3*real(Usalida.*conj(Isalida));
deltaP=Pentrada-Psalida; % En vatios
deltaPpercent=deltaP./Pentrada*100; % En porcentaje
deltaPjoule=I^2*Rfinal*3*1; % En vatios
deltaPjoulepercent=3*circ*1*I^2*Rfinal./Pentrada*100; % En porcentaje

% Marker
posM=find(cosphi==fp);

figure(3);
p=plot(cosphi,deltaPpercent);
xticks([0:0.025:length(cosphi)]);
xlabel('cos Phi');
ylabel('deltaP (%)');
title('Pérdidas de potencia activa');
datatip(p, 'DataIndex',posM);
grid on;

%% Caída de tensión
deltaUpercent=((abs(Uentrada)-abs(Usalida))./abs(Uentrada))*100;
deltaU=(abs(Uentrada)-abs(Usalida)).*sqrt(3);

figure(4);
p=plot(cosphi,deltaUpercent);
xticks([0:0.025:length(cosphi)]);
xlabel('cos Phi');
ylabel('deltaU (%)');
title('Caída de tensión');
datatip(p, 'DataIndex',posM);
grid on;

%% Reactiva
Qentrada=3*imag(Uentrada.*conj(Ientrada));
Qsalida=3*imag(Usalida.*conj(Isalida));
deltaQ=Qentrada-Qsalida; % En vatios

%% Componentes de secuencia
a = exp(i*2*pi/3);
At = [
    [ 1 1 1 ] ;
    [ 1 a*a a ] ;
    [ 1 a a*a ] ;
    ] ;
Zmat=[
    Zs 0 0
    0 Zs 0
    0 0 Zs
    ];
Z012=inv(At)*Zmat*At;
Z0=Z012(1,1);
Z1=Z012(2,2);
Z2=Z012(3,3);

%% Preparación de datos
```

```
RTempA=1000*RTemp;
RfinalA=1000*Rfinal;
Zsreal=real(Zs)*1000;
Zsimag=imag(Zs)*1000;
Ypreal=real(Yp)*10^9;
Ypimag=imag(Yp)*10^9;
Zcreal=real(Zc);
Zcimag=imag(Zc);
Gammareal=real(Gamma)*10^6;
Gammaimag=imag(Gamma)*10^6;
Z0real=real(Z0)*1000;
Z0imag=imag(Z0)*1000;
Z1real=real(Z1)*1000;
Z1imag=imag(Z1)*1000;
Z2real=real(Z2)*1000;
Z2imag=imag(Z2)*1000;

%% OUTPUT
filename=['Resultados matlab ', num2str(NP), '.xlsx'];
Filename=join(filename);

writematrix(RTempA,Filename,'Sheet','Resistencia DC a T en ohmkm','Range','B2');
writematrix(RfinalA,Filename,'Sheet','Resistencia AC a T en ohmkm','Range','B2');
writematrix(Zsreal,Filename,'Sheet','Zs equivalente (Real) ohmkm','Range','B2');
writematrix(Zsimag,Filename,'Sheet','Zs equivalente (Imag) ohmkm','Range','B2');
%writematrix(Ypreal,Filename,'Sheet','Yp equivalente (Real)
micskm','Range','B2');
writematrix(Ypimag,Filename,'Sheet','Yp equivalente (Imag) micskm','Range','B2');
writematrix(Zcreal,Filename,'Sheet','Zc (Real) ohm','Range','B2');
writematrix(Zcimag,Filename,'Sheet','Zc (Imag) ohm','Range','B2');
writematrix(Gammareal,Filename,'Sheet','Gamma (Real) mradkm','Range','B2');
writematrix(Gammaimag,Filename,'Sheet','Gamma (Imag) mradkm','Range','B2');
writematrix(Pc,Filename,'Sheet','Potencia caracteristica MW','Range','B2');
writematrix(Z0real,Filename,'Sheet','Imped secuenc 012 (Real)
ohmkm','Range','B2');
writematrix(Z1real,Filename,'Sheet','Imped secuenc 012 (Real)
ohmkm','Range','B3');
writematrix(Z2real,Filename,'Sheet','Imped secuenc 012 (Real)
ohmkm','Range','B4');
writematrix(Z0imag,Filename,'Sheet','Imped secuenc 012 (Imag)
ohmkm','Range','B2');
writematrix(Z1imag,Filename,'Sheet','Imped secuenc 012 (Imag)
ohmkm','Range','B3');
writematrix(Z2imag,Filename,'Sheet','Imped secuenc 012 (Imag)
ohmkm','Range','B4');
%% Tramos
filename2=['PyU ', num2str(NP)];
Filename2=join(filename2);
save(Filename2,'deltaUpercent','deltaPpercent');
```

Para los cálculos electromagnéticos se ha utilizado el mismo código de Fernando Guisasola, cargando los datos de intensidad de ambos tramos:

```
load('aereosB.mat', 'Bchulo')
format compact;
digits 25;

%% INPUT
%% Datos de la Línea
NP='Magnéticos';           % Nombre del Proyecto (Para el nombre del Excel) entre
                             comillas
L=13550;                   % Longitud de la línea EN METROS
circ=1;                    % Número de circuitos
y=600;                     % Altura en metros sobre el nivel del mar Para corona
fp=0.958;                  % Factor de potencia por defecto 0.9 pero puede ser
0.958
FactorSol=1;               % Factor corrector de la intensidad media -> Horas
                             equivalentes de producción/8760 mapa REE
U=[                          % Tensión de Línea de cada circuito en kV
    220

%   Ucirc 1
%   Ucirc 2
%   Ucirc 3
%   Ucirc 4
    ];
S=[                          % Potencia a la entrada de cada circuito en MVA
    144.25

%   Scirc 1
%   Scirc 2
%   Scirc 3
%   Scirc 4
    ];

SFlag=1;                   % 0 si quieres la línea junta, 1 si quieres cada circuito por
separado
%% Datos de cada circuito
cfase=[                     % Conductores por fase, una posición de vector por
                             circuito, cables de potencia

                             1
%   cond circ 1
%   cond circ 2
%   cond circ 3
%   cond circ 4
    ];
rcond=[                     % Radio de conductores, una posición de vector por
                             circuito en METROS
    400*10^-3*0.5

%   Radio 1
%   Radio 2
%   Radio 3
%   Radio 4
    ];
```



```
Rdc=[ % Resistencia DC a 20° EN OHMIOS/METRO, una posición
de vector por circuito en METROS
    0.0778*10^-3

%      Rdc 1
%      Rdc 2
%      Rdc 3
%      Rdc 4
];

Imax=[ % Corriente Máxima de cada conductor en A
    528

%      Imax 1
%      Imax 2
%      Imax 3
%      Imax 4
];

%% Conductor de Tierra
rtierra=15.3*10^-3; % Radio del conductor de tierra EN METROS
t=0; % Número de conductores pasivos (cables de
tierra)
Rdctierra = 0;

%% Conductores totales (No Tocar)
CondAct=cfase*3; % Vector de conductores activos por circuito
c=sum(CondAct); % Conductores activos
n=c+t; % Conductores totales
auxc=zeros(circ,1);
for(o=1:circ)
    if(o==1)
        auxc(o)=cfase(o)*3;
    else
        auxc(o)=auxc(o-1)+cfase(o)*3;
    end
end
if(circ==1)
    SFlag=0;
end

%% Matrices de coordenadas
% Coordenadas desde el punto más bajo en el centro de la cruceta (x y)
X= [ % Se sigue este orden Dimensión (nx2)

    0      0.25-0.2
    0.25/2 0.528-0-25+0.4
    0.25/2 0.528-0.25+0.4

%      xR1  yR1
%      xR2  yR2
```

```
%      xS1  yS1
%      xS2  yS2
%      xT1  yT1
%      xT2  yT2
%      xR1' yR1'
%      xR2' yR2'
%      xS1' yS1'
%      xS2' yS2'
%      xT1' yT1'
%      xT2' yT2'
%      xt1  yt1
%      xt2  yt2

    ];
h=4; % Altura adicional al mínimo apoyo
H=ones(n,2)*h;
H(:,1)=0;
X=X+H; % Corrección por apoyo
Imag= [X(:,1) -X(:,2)]; % vector de coordenadas de las
imágenes

%% Definición de la Matriz M (cx3)

auxM=eye(3);
auxMduplex=[ 1 0 0
             1 0 0
             0 1 0
             0 1 0
             0 0 1
             0 0 1
             ];
auxMtriplex=[ 1 0 0
              1 0 0
              1 0 0
              0 1 0
              0 1 0
              0 1 0
              0 0 1
              0 0 1
              0 0 1
              ];
auxMcuadraplex=[ 1 0 0
                  1 0 0
                  1 0 0
                  1 0 0
                  0 1 0
                  0 1 0
                  0 1 0
                  0 1 0
                  0 0 1
                  0 0 1
                  0 0 1
                  ];
```

```

                                0 0 1
                                ];
auxMquintuplex=[ 1 0 0
                  1 0 0
                  1 0 0
                  1 0 0
                  1 0 0
                  0 1 0
                  0 1 0
                  0 1 0
                  0 1 0
                  0 1 0
                  0 0 1
                  0 0 1
                  0 0 1
                  0 0 1
                  0 0 1
                                ];
auxMsextuplex=[ 1 0 0
                 1 0 0
                 1 0 0
                 1 0 0
                 1 0 0
                 1 0 0
                 0 1 0
                 0 1 0
                 0 1 0
                 0 1 0
                 0 1 0
                 0 1 0
                 0 0 1
                 0 0 1
                 0 0 1
                 0 0 1
                 0 0 1
                 0 0 1
                                ];
auxMheptuplex=[ 1 0 0
                 1 0 0
                 1 0 0
                 1 0 0
                 1 0 0
                 1 0 0
                 1 0 0
                 0 1 0
                 0 1 0
                 0 1 0
                 0 1 0
                 0 1 0
                 0 1 0
                 0 1 0
                 0 0 1

```

```

        0 0 1
        0 0 1
        0 0 1
        0 0 1
        0 0 1
        0 0 1
        0 0 1
    ];

%% Vector de radios
auxtierra=ones(t,1)*rtierra;
auxcond=ones(c,1);
for (o=1:circ)
    if(o==1)
        for(g=1:auxc(o))
            auxcond(g)=rcond(o);
        end
    else
        for (g=auxc(o-1)+1:auxc(o))
            auxcond(g)=rcond(o);
        end
    end
end
R=[auxcond
    auxtierra];

%% Vector de Resistencias

auxtierraR=ones(t,1)*Rdctierra;
auxcondR=ones(c,1);

for (o=1:circ)
    if(o==1)
        for(g=1:auxc(o))
            auxcondR(g)=Rdc(o);
        end
    else
        for (g=auxc(o-1)+1:auxc(o))
            auxcondR(g)=Rdc(o);
        end
    end
end
r=[auxcondR
    auxtierraR];

%% Otros Parámetros (por lo general NO TOCAR)
f=50; % Frecuencia eléctrica (Hz)
w=2*pi*f; % Pulsación eléctrica (rad/s)
To=20; % Temperatura de referencia del cable en
°C
Tmax=85; % Temperatura máxima del conductor en °C
mu0=4*pi*10^(-7); % Permeabilidad magnética del vacío (A/m)
epsilon0=8.85*10^(-12); % Permitividad magnética del vacío
RMG=exp(-0.25)*R; % Radio medio geometrico del conductor

```

```

ro=pi/180; % Conversión grados a radianes
roG=100; % Resistividad del terreno (ohmios*metro)
Rg=9.867*10^(-7)*f; % Resistencia serie del terreno por
unidad de longitud (ohmios/metro)
De=658.368*sqrt(roG/f); % Distancia equivalente al terreno (m)
alfa=4.03*10^-3; % Coeficiente de aumento de la
resistividad del aluminio
a012=exp(i*2*pi/3);
A012=[
    [ 1 1 1 ] ;
    [ 1 a012*a012 a012 ] ;
    [ 1 a012 a012*a012 ] ;
    [ 1 ] ;

%% Corrección por Temperatura

I=S./(sqrt(3)*U)*10^3; % Intensidades por fase (A)
for(o=1:circ) % Intensidades por conductor (A)
    if(o==1)
        for(g=1:auxc(o))
            Itemp(g)=I(o)/cfase(o);
            Imaxv(g)=Imax(o);
            Rdcv(g)=Rdc(o);
        end
    else
        for(g=auxc(o-1)+1:auxc(o))
            Itemp(g)=I(o)/cfase(o);
            Imaxv(g)=Imax(o);
            Rdcv(g)=Rdc(o);
        end
    end
end
for(g=1:c)
    Tf(g)=To+((Tmax-To)*(Itemp(g)/Imaxv(g))^2);
end
RTemp=Rdcv.*(1+alfa*(Tf-To));

%% Efecto Pelicular

q=sqrt((8*pi*f*10^-7)./RTemp);
ys=q.^4./(192+0.8*q.^4);

%% Cálculo de Resistencia Real del cable (OHM/M)
RfinalT=transpose(auxtierraR);
RfinalC=RTemp.*(1+ys);
Rfinal=[RfinalC RfinalT];
%% Distancias entre conductores
Dis=ones(n,n); % Inicialización de la matriz
for(h=1:n)
    for(j=1:n)
        if(h==j) % Elementos de la diagonal
            Dis(h,j)=0;
        end
    end
end

```

```

else % Elementos no diagonales
    Dis(h,j)=sqrt((X(h,1)-X(j,1))^2+(X(h,2)-X(j,2))^2) ;
end
end
end

%% Distancias hasta las imágenes
DImag=ones(n,n); % Inicialización de la matriz
for(h=1:n)
    for(j=1:n)
        DImag(h,j)=sqrt((X(h,1)-Imag(j,1))^2+(X(h,2)-Imag(j,2))^2) ;
    end
end

%% Matriz de impedancias de la línea
Z=ones(n,n); % Inicialización de la matriz
for(h=1:n)
    for(j=1:n)
        if(h==j) % Elementos de la diagonal
            Z(h,j)= Rfinal(h)+Rg+i*w*mu0*log(De/RMG(h))/(2*pi);
        else % Elementos no diagonales
            Z(h,j)=Rg+i*w*mu0*log(De/Dis(h,j))/(2*pi);
        end
    end
end

%% Matriz de Potenciales de Maxwell
P=ones(n,n); % Inicialización de la matriz
for(h=1:n)
    for(j=1:n)
        if(h==j) % Elementos de la diagonal
            P(h,j)= 1/(2*pi*epsilon0)*log(2*X(h,2)/R(h));
        else % Elementos no diagonales
            P(h,j)=1/(2*pi*epsilon0)*log(DImag(h,j)/Dis(h,j)) ;
        end
    end
end

%% Matriz de Capacidades (F/m)
Cp=inv(P);
Y=i*w*Cp; % (nxn)

%% Reducción De los conductores pasivos
Zcc=Z(1:c,1:c); % Elementos de la matriz correspondientes
a cables que transportan potencia
Zww=Z((c+1):(c+t),(c+1):(c+t)); % Elementos de la matriz correspondientes
a los cables de tierra
Zcw=Z(1:c,(c+1):(c+t));
Zwc=Z((c+1):(c+t),1:c);
Zred=(Zcc-Zcw*inv(Zww)*Zwc); % Matriz reducida sin cables de tierra
(cxc)
Ypred=Y(1:c,1:c); % Matriz reducida sin cables de tierra
(cxc)

```

```
% Reducción de múltiples conductores por fase
if (SFlag==0)
Maux=[ auxM
        auxM
        auxM
        auxM
        auxM
        auxM
        auxM
        ];
Mauxduplex= [ auxMduplex
               auxMduplex
               auxMduplex
               auxMduplex
               auxMduplex
               auxMduplex
               ];
Mauxtriplex=[ auxMtriplex
               auxMtriplex
               auxMtriplex
               auxMtriplex
               auxMtriplex
               auxMtriplex
               ];
Mauxcuadraplex=[auxMcudadplex
                 auxMcudadplex
                 auxMcudadplex
                 auxMcudadplex
                 auxMcudadplex
                 ];
Mauxquintuplex=[auxMquintuplex
                 auxMquintuplex
                 auxMquintuplex
                 auxMquintuplex
                 auxMquintuplex
                 ];
Mauxsextuplex=[auxMsextuplex
                auxMsextuplex
                auxMsextuplex
                auxMsextuplex
                auxMsextuplex
                ];
Mauxheptuplex=[auxMheptuplex
                auxMheptuplex
```

```

        auxMheptuplex
        auxMheptuplex
        auxMheptuplex
        auxMheptuplex
        auxMheptuplex
    ];

if (circ==1)
    if(cfase==1)
        M=Maux(1:c,1:3);
    elseif(cfase==2)
        M=Mauxduplex(1:c,1:3);
    elseif(cfase==3)
        M=Mauxtriplex(1:c,1:3);
    elseif(cfase==4)
        M=Mauxcuadruplex(1:c,1:3);
    elseif(cfase==5)
        M=Mauxquintuplex(1:c,1:3);
    elseif(cfase==6)
        M=Mauxsextuplex(1:c,1:3);
    elseif(cfase==7)
        M=Mauxheptuplex(1:c,1:3);
    end
end

Zredfase=inv(transpose(M)*inv(Zred)*M);           % Matriz reducida por circuitos
simplex
Yredfase=transpose(M)*Ypred*M;                   % Matriz de admitancias por
circuitos simplex

ZD=(Zredfase(1,1)+Zredfase(2,2)+Zredfase(3,3))/3;
ZM=(Zredfase(1,2)+Zredfase(2,3)+Zredfase(1,3))/3;
Zs=ZD-ZM;

YpD=(Yredfase(1,1)+Yredfase(2,2)+Yredfase(3,3))/3;
YpM=(Yredfase(1,2)+Yredfase(2,3)+Yredfase(1,3))/3;
Yp=YpD-YpM;                                       % Admitancia Paralelo del
conductor
Afull=[
    [A012 zeros(3,9)];
    [zeros(3) A012 zeros(3,6)];
    [zeros(3,6) A012 zeros(3)];
    [zeros(3,9) A012];
];

Z012=inv(A012)*Zredfase*A012;
else

if (circ==2)

    if (cfase(1)==1)
        am=auxM;

```



```
elseif (cfase(1)==2)
    am=auxMduplex;
elseif (cfase(1)==3)
    am=auxMtriplex;
elseif (cfase(1)==4)
    am=auxMcuadрупlex;
elseif (cfase(1)==5)
    am=auxMquintuplex;
elseif (cfase(1)==6)
    am=auxMsextuplex;
elseif (cfase(1)==7)
    am=auxMheptuplex;
end

if (cfase(2)==1)
    bm=auxM;
elseif (cfase(2)==2)
    bm=auxMduplex;
elseif (cfase(2)==3)
    bm=auxMtriplex;
elseif (cfase(2)==4)
    bm=auxMcuadрупlex;
elseif (cfase(2)==5)
    bm=auxMquintuplex;
elseif (cfase(2)==6)
    bm=auxMsextuplex;
elseif (cfase(2)==7)
    bm=auxMheptuplex;
end

M=[am zeros(length(am),3)
    zeros(length(bm),3) bm];
end
if (circ==3)

    if (cfase(1)==1)
        am=auxM;
    elseif (cfase(1)==2)
        am=auxMduplex;
    elseif (cfase(1)==3)
        am=auxMtriplex;
    elseif (cfase(1)==4)
        am=auxMcuadрупlex;
    elseif (cfase(1)==5)
        am=auxMquintuplex;
    elseif (cfase(1)==6)
        am=auxMsextuplex;
    elseif (cfase(1)==7)
        am=auxMheptuplex;
    end

    if (cfase(2)==1)
```

```

    bm=auxM;
elseif (cfase(2)==2)
    bm=auxMduplex;
elseif (cfase(2)==3)
    bm=auxMtriplex;
elseif (cfase(2)==4)
    bm=auxMcuadruplex;
elseif (cfase(2)==5)
    bm=auxMquintuplex;
elseif (cfase(2)==6)
    bm=auxMsextuplex;
elseif (cfase(2)==7)
    bm=auxMheptuplex;
end

    if (cfase(3)==1)
        cm=auxM;
elseif (cfase(3)==2)
        cm=auxMduplex;
elseif (cfase(3)==3)
        cm=auxMtriplex;
elseif (cfase(3)==4)
        cm=auxMcuadruplex;
elseif (cfase(3)==5)
        cm=auxMquintuplex;
elseif (cfase(3)==6)
        cm=auxMsextuplex;
elseif (cfase(3)==7)
        cm=auxMheptuplex;
end

M=[am zeros(length(am),3) zeros(length(am),3)
    zeros(length(bm),3) bm zeros(length(bm),3)
    zeros(length(cm),3) zeros(length(cm),3) cm];
end
if (circ==4)

    if (cfase(1)==1)
        am=auxM;
elseif (cfase(1)==2)
        am=auxMduplex;
elseif (cfase(1)==3)
        am=auxMtriplex;
elseif (cfase(1)==4)
        am=auxMcuadruplex;
elseif (cfase(1)==5)
        am=auxMquintuplex;
elseif (cfase(1)==6)
        am=auxMsextuplex;
elseif (cfase(1)==7)
        am=auxMheptuplex;
end

```

```
    if (cfase(2)==1)
        bm=auxM;
    elseif (cfase(2)==2)
        bm=auxMduplex;
    elseif (cfase(2)==3)
        bm=auxMtriplex;
    elseif (cfase(2)==4)
        bm=auxMcuadraplex;
    elseif (cfase(2)==5)
        bm=auxMquintuplex;
    elseif (cfase(2)==6)
        bm=auxMsextuplex;
    elseif (cfase(2)==7)
        bm=auxMheptuplex;
    end

    if (cfase(3)==1)
        cm=auxM;
    elseif (cfase(3)==2)
        cm=auxMduplex;
    elseif (cfase(3)==3)
        cm=auxMtriplex;
    elseif (cfase(3)==4)
        cm=auxMcuadraplex;
    elseif (cfase(3)==5)
        cm=auxMquintuplex;
    elseif (cfase(3)==6)
        cm=auxMsextuplex;
    elseif (cfase(3)==7)
        cm=auxMheptuplex;
    end

    if (cfase(4)==1)
        dm=auxM;
    elseif (cfase(4)==2)
        dm=auxMduplex;
    elseif (cfase(4)==3)
        dm=auxMtriplex;
    elseif (cfase(4)==4)
        dm=auxMcuadraplex;
    elseif (cfase(4)==5)
        dm=auxMquintuplex;
    elseif (cfase(4)==6)
        dm=auxMsextuplex;
    elseif (cfase(4)==7)
        dm=auxMheptuplex;
    end

    M=[am zeros(length(am),3) zeros(length(am),3) zeros(length(am),3)
        zeros(length(bm),3) bm zeros(length(bm),3) zeros(length(bm),3)
        zeros(length(cm),3) zeros(length(cm),3) cm zeros(length(cm),3)
        zeros(length(dm),3) zeros(length(dm),3) zeros(length(dm),3) dm];
end
```

```
Zredcirc=inv(transpose(M)*inv(Zred)*M); % Matriz reducida por circuitos
simplex
Yredcirc=transpose(M)*Ypred*M; % Matriz de admitancias por
circuitos simplex
Afull=[
    [A012 zeros(3,9)];
    [zeros(3) A012 zeros(3,6)];
    [zeros(3,6) A012 zeros(3)];
    [zeros(3,9) A012];
];
AF=Afull(1:circ*3,1:circ*3);
Z012=inv(AF)*Zredcirc*AF;
Y012=inv(AF)*Yredcirc*AF;
for(o=1:circ)
    Zs(o)=Z012(2+3*(o-1),2+3*(o-1));
    Yp(o)=Y012(2+3*(o-1),2+3*(o-1));
end
end

%% Ecuaciones de parámetros distribuidos
Zc=sqrt(Zs./Yp); % Impedancia Característica
Gamma=sqrt(Zs.*Yp); % Constante de Propagación
for(o=1:circ)
    Pc(o)=(U(o)^2)/(abs(Zc(o)));
end
A=cosh(Gamma*L);
Bc=-Zc.*sinh(Gamma*L);
C=-(1./Zc).*sinh(Gamma*L);
D=cosh(Gamma*L);
cosphi=[0.8:0.001:1];
Pa=ones(1,length(cosphi));
%% Inicio de la línea (para carga inductiva)
Usimple=U./sqrt(3)*Pa*10^3;
Uentrada=ones(circ,length(cosphi));
Ientrada=ones(circ,length(cosphi));
if(circ>1)
    for(o=1:circ)
        Uentrada(o,:)=Usimple(o);
        Ientrada(o,:)=I(o)*exp(-i*acos(cosphi));
    end
else
    Uentrada=Usimple;
    Ientrada=I*exp(-i*acos(cosphi));
end
%% Final de la línea
if(circ>1)
    if(SFlag==0)
        Ientrada=sum(I)*exp(-i*acos(cosphi));
        Usalida=A*Uentrada+Bc*Ientrada;
        Isalida=C*Uentrada+D*Ientrada;
    else
        for(o=1:circ)
```

```

        Usalida(o,:)=A(o).*Uentrada(o,:)+Bc(o).*Ientrada(o,:);
        Isalida(o,:)=C(o).*Uentrada(o,:)+D(o).*Ientrada(o,:);
    end
end
else
    Usalida=A.*Uentrada+Bc.*Ientrada;
    Isalida=C.*Uentrada+D.*Ientrada;
end
%% Balance de Potencias

% Activa
Pentrada=3*real(Uentrada.*conj(Ientrada));
Psalida=3*real(Usalida.*conj(Isalida));

% Reactiva
Qentrada=3*imag(Uentrada.*conj(Ientrada));
Qsalida=3*imag(Usalida.*conj(Isalida));

% Marker
posM=find(cosphi==fp);

% Plot
if (SFlag==0)
    deltaPpercent=(Pentrada-Psalida)./Pentrada*100;    % En porcentaje
    figure(1);
    p=plot(cosphi,deltaPpercent);
    xticks([0:0.025:length(cosphi)]);
    xlabel('cos Phi');
    ylabel('deltaP (%)');
    title('Pérdidas de potencia activa');
    grid on;
    datatip(p,'DataIndex',posM);
else

    deltaPpercent=(Pentrada-Psalida)./Pentrada*100;
    if(circ>1)

        figure(1);
        p=plot(cosphi,deltaPpercent(1,:));
        xticks([0:0.025:length(cosphi)]);
        xlabel('cos Phi');
        ylabel('deltaP1 (%)');
        grid on;
        title('Pérdidas de potencia activa del circuito 1');
        datatip(p,'DataIndex',posM);

        figure(2);
        p=plot(cosphi,deltaPpercent(2,:));
        xticks([0:0.025:length(cosphi)]);
        xlabel('cos Phi');
        ylabel('deltaP2 (%)');
        grid on;
    end
end

```

```

datatip(p, 'DataIndex', posM);
title('Pérdidas de potencia activa del circuito 2');
    if(circ>2)
        figure(3);
        p=plot(cosphi, deltaPpercent(3, :));
        xticks([0:0.025:length(cosphi)]);
        xlabel('cos Phi');
        ylabel('deltaP3 (%)');
        grid on;
        title('Pérdidas de potencia activa del circuito 3');
        datatip(p, 'DataIndex', posM);
        if(circ>3)
            figure(4);
            p=plot(cosphi, deltaPpercent(4, :));
            xticks([0:0.025:length(cosphi)]);
            xlabel('cos Phi');
            ylabel('deltaP4 (%)');
            grid on;
            title('Pérdidas de potencia activa del circuito 4');
            datatip(p, 'DataIndex', posM);
        end
    end
end
end

%% Caída de tensión
if(SFlag==0)
    deltaUpercent=((abs(Uentrada)-abs(Usalida))./abs(Uentrada))*100;

    figure(2);
    p=plot(cosphi, deltaUpercent);
    xticks([0:0.025:length(cosphi)]);
    xlabel('cos Phi');
    ylabel('deltaU (%)');
    title('Caída de tensión');
    grid on;
    datatip(p, 'DataIndex', posM);
else

    deltaUpercent=(abs(Uentrada)-abs(Usalida))./abs(Uentrada)*100;

    if(circ>1)

        figure(5);
        p=plot(cosphi, deltaUpercent(1, :));
        xticks([0:0.025:length(cosphi)]);
        xlabel('cos Phi');
        ylabel('deltaU1 (%)');
        title('Caída de tensión del circuito 1');
        grid on;
        datatip(p, 'DataIndex', posM);
    end
end

```

```

figure(6);
p=plot(cosphi,deltaUpercent(2,:));
xticks([0:0.025:length(cosphi)]);
xlabel('cos Phi');
ylabel('deltaU2 (%)');
title('Caída de tensión del circuito 2');
grid on;
datatip(p,'DataIndex',posM);
    if(circ>2)
        figure(7);
        p=plot(cosphi,deltaUpercent(3,:));
        xticks([0:0.025:length(cosphi)]);
        xlabel('cos Phi');
        ylabel('deltaU3 (%)');
        grid on;
        title('Caída de tensión del circuito 3');
        datatip(p,'DataIndex',posM);
        if(circ>3)
            figure(8);
            p=plot(cosphi,deltaUpercent(4,:));
            xticks([0:0.025:length(cosphi)]);
            xlabel('cos Phi');
            ylabel('deltaU4 (%)');
            grid on;
            title('Caída de tensión del circuito 4');
            datatip(p,'DataIndex',posM);
        end
    end
end
end

%% Cálculo de Componentes de Secuencia

if(SFlag==0)
    Z0=Z012(1,1);
    Z1=Z012(2,2);
    Z2=Z012(3,3);
else
    for(o=1:circ)
        Z0(o)=Z012(1+3*(o-1),1+3*(o-1));
        Z1(o)=Z012(2+3*(o-1),2+3*(o-1));
        Z2(o)=Z012(3+3*(o-1),3+3*(o-1));
    end
end

%% Cálculo del campo ELÉCTRICO mediante superficies Gaussianas
V=U*1000/sqrt(3);
for(o=1:circ)                                % Intensidades por conductor (A)
    if(o==1)
        for(g=1:auxc(o))
            Uvect(g)=V(o);
        end
    end
end

```

```

else
    for (g=auxc(o-1)+1:auxc(o))
        Uvect(g)=V(o);
    end
end
end
Sd=150; % Distancia en metros hasta donde se evalúan los
campos
previo=1;
derf=1;
for(o=1:circ) % Fase de la tensión de los conductores, (te lo
crees y ya)
    der=0;
    if(o==1)
        for(h=previo+1-derf:previo+auxc(o)-derf)
            Uvect(h)=Uvect(h)*(1*exp(-2*pi/3*i*der));
            if(h==cfase(o))
                der=1;
            elseif(h==2*cfase(o))
                der=2;
            end
            previo=h;
            derf=0;
        end
    else
        der=0;
        trif=0;
        for(h=previo+1:auxc(o))
            Uvect(h)=Uvect(h)*(1*exp(-2*pi/3*i*der));
            trif=trif+1;
            if(trif==cfase(o))
                der=1;
            elseif(trif==2*cfase(o))
                der=2;
            end
            previo=h;
        end
    end
end
Pot=P(1:c,1:c);
Q=inv(Pot)*transpose(Uvect); % vector de cargas lineales en los
conductores
DISTX=transpose([-Sd:1:Sd]);
DISTY=ones((2*Sd+1),1);
DIST=[DISTX DISTY];
E=ones(1,2*Sd+1)*0;
for(h=1:2*Sd+1) % Lugares donde se evalúa el campo
    for(j=1:c) % Conductores que generan el campo
        E(h)=E(h)+1/(2*pi*epsilon0)*Q(j)/sqrt((X(j,1)-DIST(h,1))^2+(X(j,2)-
DIST(h,2))^2);
    end
end
end

```



```
%% Display de E
Ekv=E*0.001; % En kilovoltios
figure
plot(DISTX,transpose(abs(Ekv)));
grid on
xticks([-Sd:25:Sd]);
xlabel('Distancia en horizontal al eje del apoyo(m)');
ylabel('E (kV/m)');
title('Módulo del campo eléctrico');

%% Cálculo del campo MAGNÉTICO mediante la ley de Biot-Savart
Ivect=transpose(Itemp);
mu0=mu0*0.99
previo=1;
derf=1;
for(o=1:circ) % Fase de la tensión de los conductores, (te lo
crees y ya)
    der=0;
    if(o==1)
        for(h=previo+1-derf:previo+auxc(o)-derf)
            Ivect(h)=Ivect(h)*(1*exp(-2*pi/3*i*der));
            if(h==cfase(o))
                der=1;
            elseif(h==2*cfase(o))
                der=2;
            end
            previo=h;
            derf=0;
        end
    else
        der=0;
        trif=0;
        for(h=previo+1:auxc(o))
            Ivect(h)=Ivect(h)*(1*exp(-2*pi/3*i*der));
            trif=trif+1;
            if(trif==cfase(o))
                der=1;
            elseif(trif==2*cfase(o))
                der=2;
            end
            previo=h;
        end
    end
end
Bx=ones(1,2*Sd+1)*0;
By=ones(1,2*Sd+1)*0;
for(h=1:2*Sd+1) % Lugares dónde se evalúa el campo
    for(j=1:c) % Conductores que generan el campo
        Bx(h)=Bx(h)+mu0*Ivect(j)*(X(j,1)-DIST(h,1))/(2*pi*(sqrt((X(j,1)-
DIST(h,1))^2+(X(j,2)-DIST(h,2))^2))^2);
```

```

By(h)=By(h)+mu0*Ivect(j)*(X(j,2)-DIST(h,2))/(2*pi*(sqrt((X(j,1)-
DIST(h,1))^2+(X(j,2)-DIST(h,2))^2))^2);
B(h)=sqrt(Bx(h)^2+By(h)^2);
end
end

%% Display de B
figure(10)
plot(DISTX,transpose(abs(B))); % plot 2D
hold on
LIMB=100; % Límite recomendado
LIMBvect=ones(1,2*Sd+1)*LIMB;
plot(DISTX,LIMBvect,DISTX,transpose(Bchulo));
xticks([-Sd:25:Sd]);
hold off
grid on
xlabel('Distancia en horizontal al eje del apoyo (m)');
ylabel('B (T)');
title('Evolución de la densidad de flujo magnético');
profund=[0:2*Sd];
for (i=1:2*Sd+1)
    campo(:,i)=transpose(abs(B));
end
figure(11)
surf(profund,flip(DISTX),campo,'LineStyle','none');
grid on
Bchulo=Bchulo*0.7*10^6;
B=B*10^6;
ylabel('Distancia en horizontal al eje del apoyo (m)');
xlabel('Dirección de avance de la línea (m)');
zlabel('B (T)');
title('Evolución de la densidad de flujo magnético');
colormap jet
% hold on
% zp = ones(2*Sd+1, 2*Sd+1)*0.4; % Generate z data
% surf(DISTX,profund,zp);
plot(DISTX,transpose(B),DISTX,transpose(Bchulo),DISTX,LIMBvect);
grid on;
%% Efecto corona
% Datos de efecto corona
Temp_aire = 25; % Temperatura del aire en °C
Usvect =[72.5 % Tensiones máximas de la red
145
245
420];
for (o=1:circ)
    if(U(o)==66)
        Us(o)=Usvect(1);
    elseif(U(o)==132)
        Us(o)=Usvect(2);
    elseif(U(o)==220)
        Us(o)=Usvect(3);
    end
end

```

```
elseif (U(o)==400)
    Us(o)=Usvect(4);
else
    Us(o)=0;
end
end
%% DMG
if(circ==1)
    DMG=(Dis(1,1+cfase)*Dis(1,1+2*cfase)*Dis(1+cfase,1+2*cfase))^(1/3);
elseif(circ==2)

dr=sqrt(Dis(1,1+cfase(1))*Dis(1,1+2*cfase(1))*Dis(1,1+auxc(1)+cfase(2))*Dis(1,1+auxc(1)+2*cfase(2))/Dis(1,1+auxc(1));

ds=sqrt(Dis(1+cfase(1),1)*Dis(1+cfase(1),1+2*cfase(1))*Dis(1+cfase(1),1+auxc(1))*Dis(1+cfase(1),1+auxc(1)+2*cfase(2))/Dis(1+cfase(1),1+auxc(1)+cfase(2));

dt=sqrt(Dis(1+2*cfase(1),1)*Dis(1+2*cfase(1),1+cfase(1))*Dis(1+2*cfase(1),1+auxc(1))*Dis(1+2*cfase(1),1+auxc(1)+cfase(2))/Dis(1+2*cfase(1),1+auxc(1)+2*cfase(2));
    DMG=(dr*ds*dt)^(1/3);
else
    DMG=0;
end
%% Cálculo del efecto corona
Densr = (273+25)*exp(-y/8150)/(273+Temp_aire); % Densidad relativa del aire
mc=0.85; % Coeficiente de rugosidad del conductor
ma=[ % Coeficiente climatológico
    1 % Condiciones secas
    0.8 % Condiciones húmedas
];

for(h=1:circ)
    Rcor(h)=0.4/(2*sin(pi/cfase(h)));
    req(h)=(cfase(h)*rcond(h)*(Rcor(h)^(cfase(h)-1)))^(1/cfase(h));
end
if(circ<=2)
    for(h=1:circ)
        for(j=1:2)

Uc(h,j)=(30*cfase(h)*mc*ma(j)*Densr*rcond(h)*100*log(DMG/req(1,h)))/sqrt(2);
            end
        end
        for(h=1:circ)
            for(j=1:2)
                if(Uc(h,j)<Us(h)/sqrt(3))
                    Pcorona(h,j)=241/Densr*(f+25)*sqrt(rcond(h)/DMG)*(Us(h)/sqrt(3)-Uc(h,j))^2*(10^-5); % Pérdidas por fase
                else
                    Pcorona(h,j)=0;
                end
            end
            PcoronaT(h,j)=3*Pcorona(h,j)*L/1000*10^-3;
        end
    end
end
```

```

        end
    end
else
    Uc=0;
    PcoronaT=0;
end
%% Preparación de datos
Zreal=real(Z)*1000;
Zimag=imag(Z)*1000;
RTempA=1000*RTemp;
RfinalA=1000*Rfinal;
Maxwell=P*10^-9;
VectQreal=real(Q)*10^6;
VectQimag=imag(Q)*10^6;
Yimag=imag(Y)*10^9;
Zsreal=real(Zs)*1000;
Zsimag=imag(Zs)*1000;
Ypreal=real(Yp)*10^9;
Ypimag=imag(Yp)*10^9;
Zcreal=real(Zc);
Zcimag=imag(Zc);
Gammareal=real(Gamma)*10^6;
Gammaimag=imag(Gamma)*10^6;
Z0real=real(Z0)*1000;
Z0imag=imag(Z0)*1000;
Z1real=real(Z1)*1000;
Z1imag=imag(Z1)*1000;
Z2real=real(Z2)*1000;
Z2imag=imag(Z2)*1000;
%% Output
filename=['Resultados matlab ', num2str(NP), '.xlsx'];
Filename=join(filename);
writematrix(Dis,Filename,'Sheet','Matriz de Distancias metros','Range','B2');
writematrix(DImag,Filename,'Sheet','Matriz de Distancias a Imag m','Range','B2');
writematrix(RTempA,Filename,'Sheet','Resistencia DC a T en ohmkm','Range','B2');
writematrix(RfinalA,Filename,'Sheet','Resistencia AC a T en ohmkm','Range','B2');
writematrix(Zreal,Filename,'Sheet','Matriz Z (Real) ohmkm','Range','B2');
writematrix(Zimag,Filename,'Sheet','Matriz Z (Imag) ohmkm','Range','B2');
writematrix(Maxwell,Filename,'Sheet','Matriz de Maxwell
(Real) kmnF', 'Range', 'B2');
writematrix(VectQreal,Filename,'Sheet','Vector de
cargas (Real) microcm', 'Range', 'B2');
writematrix(VectQimag,Filename,'Sheet','Vector de
cargas (Imag) microcm', 'Range', 'B2');
writematrix(Yimag,Filename,'Sheet','Matriz de Admit (Imag) mskm','Range','B2');
writematrix(Zsreal,Filename,'Sheet','Zs equivalente (Real) ohmkm','Range','B2');
writematrix(Zsimag,Filename,'Sheet','Zs equivalente (Imag) ohmkm','Range','B2');
%writematrix(Ypreal,Filename,'Sheet','Yp equivalente (Real)
micskm', 'Range', 'B2');
writematrix(Ypimag,Filename,'Sheet','Yp equivalente (Imag) micskm','Range','B2');
writematrix(Zcreal,Filename,'Sheet','Zc (Real) ohm', 'Range', 'B2');
writematrix(Zcimag,Filename,'Sheet','Zc (Imag) ohm', 'Range', 'B2');

```

```
writematrix(Gammareal,Filename,'Sheet','Gamma (Real) mradkm','Range','B2');
writematrix(Gammaimag,Filename,'Sheet','Gamma (Imag) mradkm','Range','B2');
writematrix(Pc,Filename,'Sheet','Potencia característica MW','Range','B2');
writematrix(Z0real,Filename,'Sheet','Imped secuenc 012 (Real)
ohmkm','Range','B2');
writematrix(Z1real,Filename,'Sheet','Imped secuenc 012 (Real)
ohmkm','Range','B3');
writematrix(Z2real,Filename,'Sheet','Imped secuenc 012 (Real)
ohmkm','Range','B4');
writematrix(Z0imag,Filename,'Sheet','Imped secuenc 012 (Imag)
ohmkm','Range','B2');
writematrix(Z1imag,Filename,'Sheet','Imped secuenc 012 (Imag)
ohmkm','Range','B3');
writematrix(Z2imag,Filename,'Sheet','Imped secuenc 012 (Imag)
ohmkm','Range','B4');
writematrix(Uc,Filename,'Sheet','Tensión crit corona kV','Range','B2');
%writematrix(Us,Filename,'Sheet','Max tensión corona kV','Range','B2');
writematrix(PcoronaT,Filename,'Sheet','Pérdidas corona MW','Range','B2');
%% Tramos
filename2=['PyU ',num2str(NP)];
Filename2=join(filename2);
save(Filename2,'deltaUpercent','deltaPpercent');
```

ANEXO II: PLANOS

Los planos del proyecto han sido realizados con la ayuda de Daniel Manzano Maya, delineante de Osprel.

El índice de los planos se muestra a continuación:

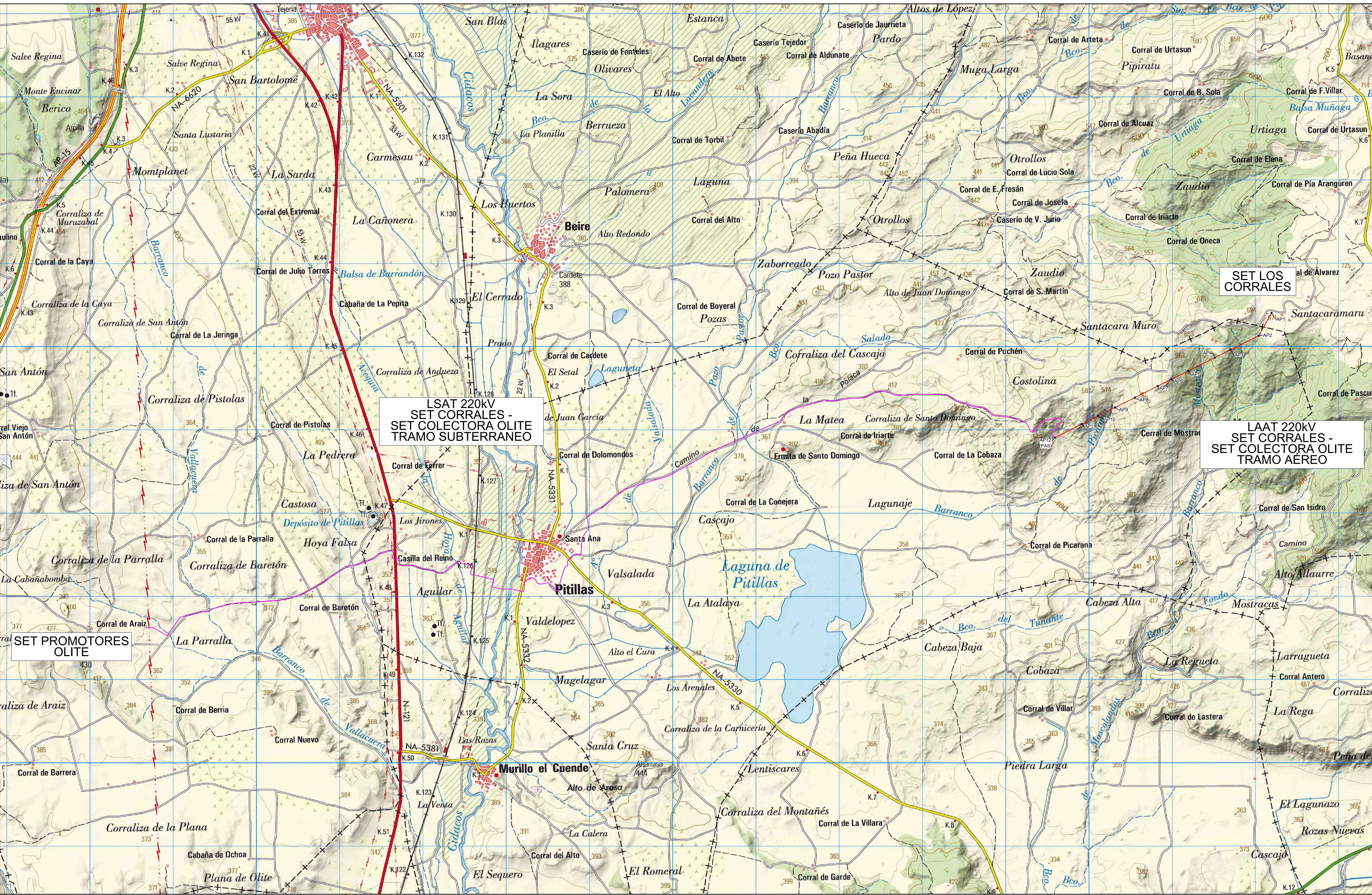
1. General

1.1. Situación y Emplazamiento	BIO-006.003.22_0-1001
1.2. Planta General	BIO-006.003.22_0-1002
1.3. Planta General Sobre Ortofoto	BIO-006.003.22_0-1003
1.4. Accesos	BIO-006.003.22_0-1004
1.5. Esquema General de Evacuación Eléctrica	BIO-006.003.22_0-1005

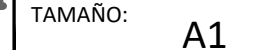
2. Tramo Aéreo

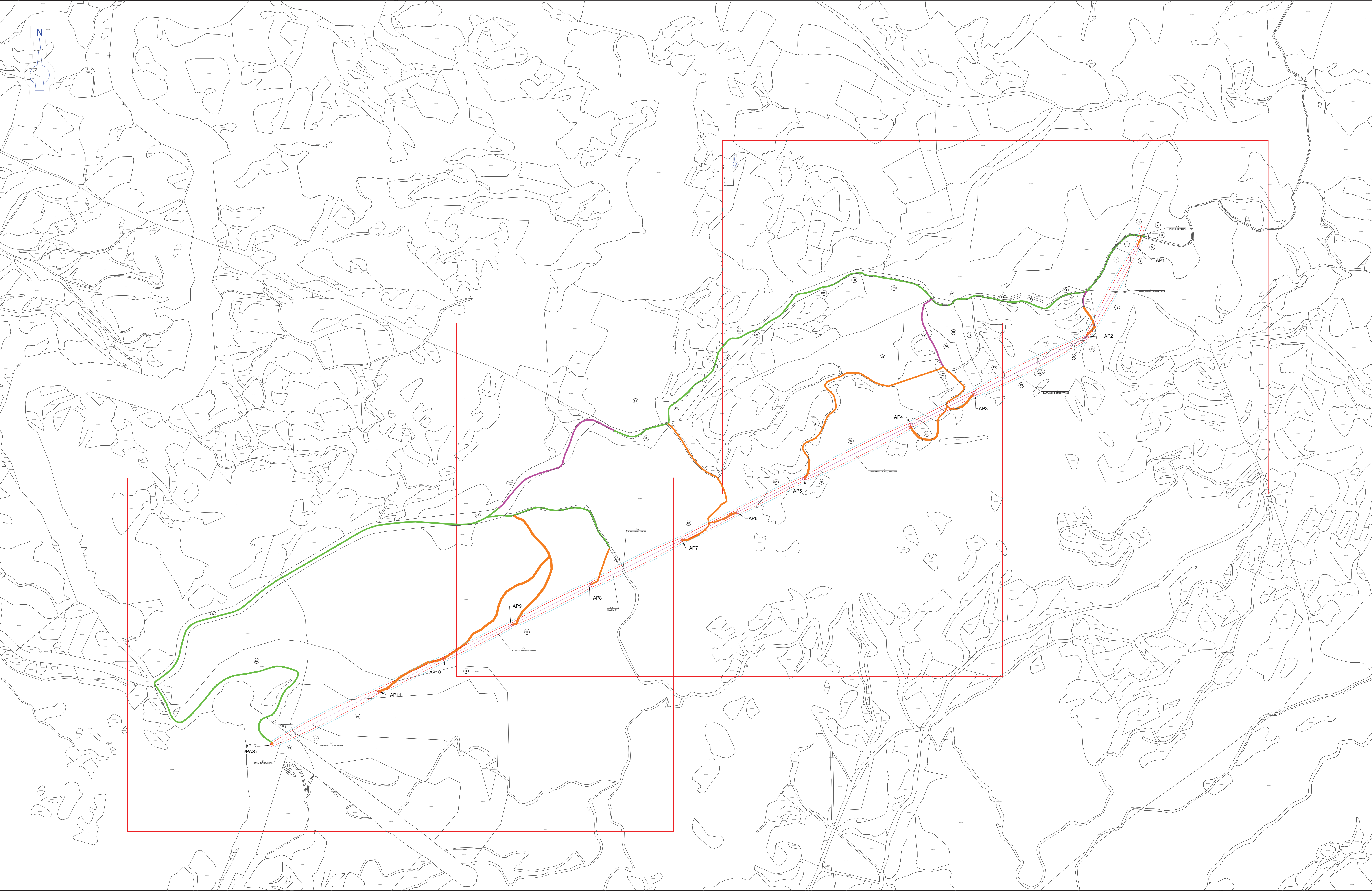
2.1. Planta y Perfil	BIO-006.003.22_0-1006
2.2. Apoyos y Cimentación	BIO-006.003.22_0-1007
2.2.1. CO-18000-S1773	
2.2.2. CO-12000-S1773	
2.2.3. CO-9000-S1773	
2.2.4. CO-7000-S1773	
2.2.5. CO-3000-S1773	
2.2.6. CO-18000-PAS	
2.3. Cadenas de Aislamiento para el conductor de fase	BIO-006.003.22_0-1008
2.3.1. Cadena de Amarre 220 kV Sencilla	
2.3.2. Cadena de Suspensión 220 kV	
2.4. Conjunto de Herrajes para el OPGW	BIO-006.003.22_0-1009
2.4.1. Conjunto de Amarre Pasante	
2.4.2. Conjunto de Amarre Bajante	
2.4.3. Conjunto de Suspensión	

2.5. Puesta a Tierra de Apoyos	BIO-006.003.22_0-1010
2.5.1. Con Picas	
2.5.2. Con Anillo Cerrado de Cobre	
2.6. Accesorios	BIO-006.003.22_0-1011
2.6.1. Amortiguadores	
2.6.2. Separadores	
2.6.3. Salvapájaros	
2.6.4. Placa de Señalización	
2.6.5. Balizas de Señalización	
3. Tramo Subterráneo	
3.1. Trazado General	BIO-006.003.22_0-1012
3.2. Disposición de Cables en la SET	BIO-006.003.22_0-1013
3.3. Zanjas Tipo	BIO-006.003.22_0-1014
3.4. Cámaras de Empalme	BIO-006.003.22_0-1015
3.5. Arqueta de Conexiones para Fibra Óptica	BIO-006.003.22_0-1016
3.6. Caja de Conexión a Tierra	BIO-006.003.22_0-1017
3.7. Esquema General de Conexionado de Pantallas	BIO-006.003.22_0-1018
3.8. Detalle del Terminal Exterior	BIO-006.003.22_0-1019
3.9. Detalle del Pararrayos	BIO-006.003.22_0-1020
3.10. Estructuras para Terminales de Cables	BIO-006.003.22_0-1021



Ingeniería Industrial y del ICAI						
Dña. M. Inmaculada Blázquez García Colegiada Nº 3694/2924	01	Febrero 2022	Primera Edición	DMM	IEG	MIBG
	Rev.	Fecha	Descripción	Dibujado	Comprobado	Aprobado

	ESCALA:	1/20.000	SITUACIÓN:				PROYECTO DE EJECUCIÓN					
	TAMAÑO:	A1	TÍTULO DEL PLANO:		SITUACIÓN							
PROMOTOR:			TÍTULO DEL PROYECTO:		LAT 220KV SET CORRALES - SET COLECTORA OLITE				Nº HOJA		Rev.	
									1 de 1		R1	
									NÚMERO DEL PLANO:			
					BIO-006.003.22_0-1001							



Ingeniería Industrial y del ICAI							LAT 220kV SET CORRALES - SET COLECTORA OLITE			LLAMADAS NUMERACIÓN CRUZAM. Y PARALE.		REFERENCIAS CATASTRALES:	LEYENDA TRAZADO:	LEYENDA ACCESOS:	osprel	ESCALA:	TÍTULO DEL PLANO:		
																1/5.000	PLANO LLAVE - Planta General		
	02	Febrero 2022			N.C.G.	S.V.M.	M.I.B.G.									capital energy	LAT 220kV SET CORRALES - SET COLECTORA OLITE		
	01	Enero 2022			N.C.G.	S.V.M.	M.I.B.G.										PLANO LLAVE		
	00	Enero 2022			N.C.G.	S.V.M.	M.I.B.G.										Rev. 02		
Dña. M. Inmaculada Blázquez García Colegiada N° 3694/2924	Rev.	Fecha	Proyectado	Dibujado	Comprobado	Aprobado											BIO-006.003.22_0-1002		



Ingeniería Industrial y del ICAI

Dña. M. Inmaculada Blázquez García

Colegiada N° 3694/2924

02	Febrero 2022		N.C.G.	S.V.M.	M.I.B.G.	
01	Enero 2022		N.C.G.	S.V.M.	M.I.B.G.	
00	Enero 2022		N.C.G.	S.V.M.	M.I.B.G.	
Rev.	Fecha	Proyectado	Dibujado	Comprobado	Aprobado	

N

Hoja 2

LLAMADAS NUMERACIÓN CRUZAM. Y PARALE.

REFERENCIAS CATASTRALES:

LEYENDA TRAZADO:

LEYENDA ACCESOS:

osprel

ESCALA:
1/2.000

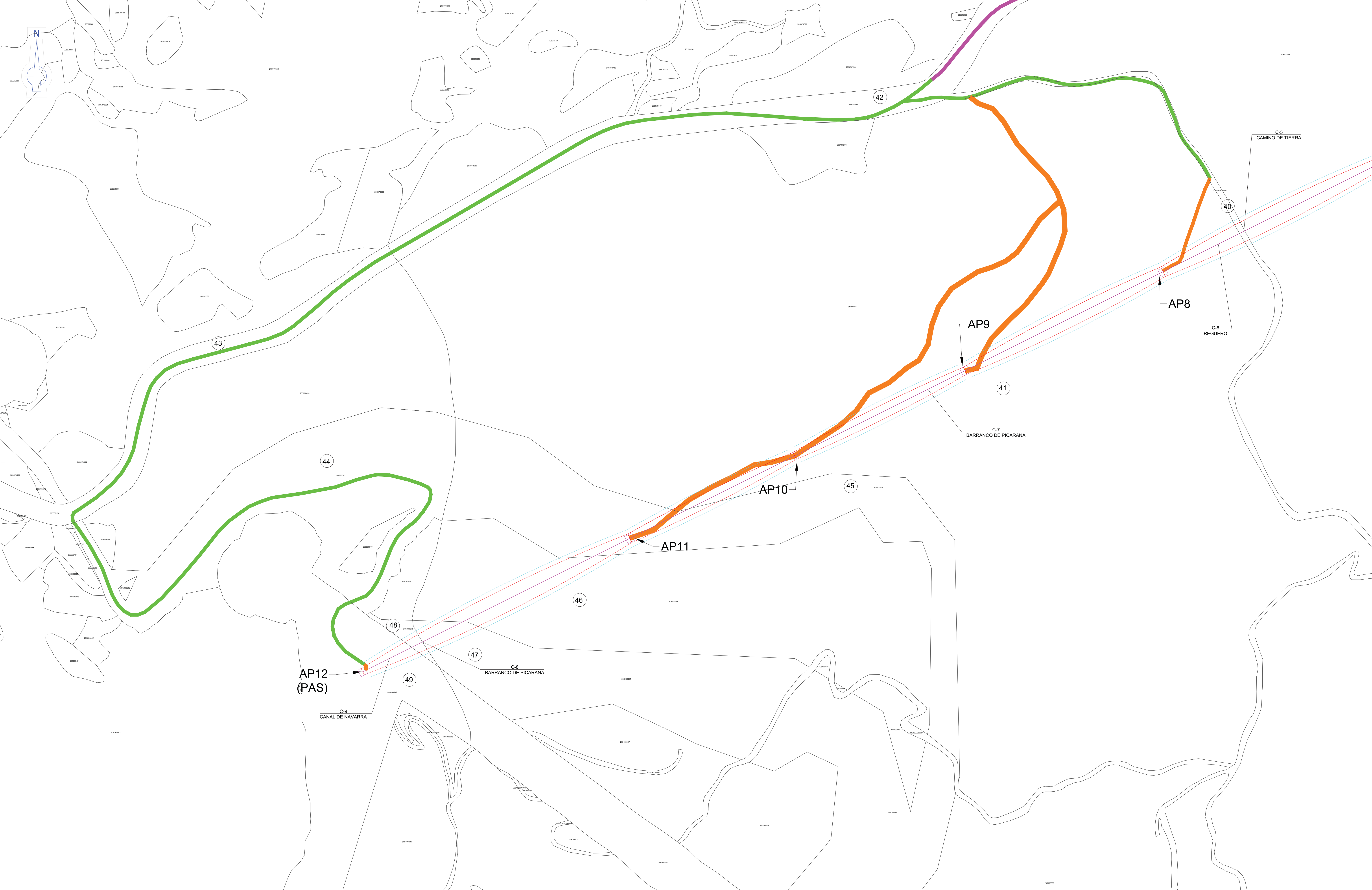
TÍTULO DEL PLANO:
Planta General

LAT 220kV SET CORRALES - SET COLECTORA OLITE

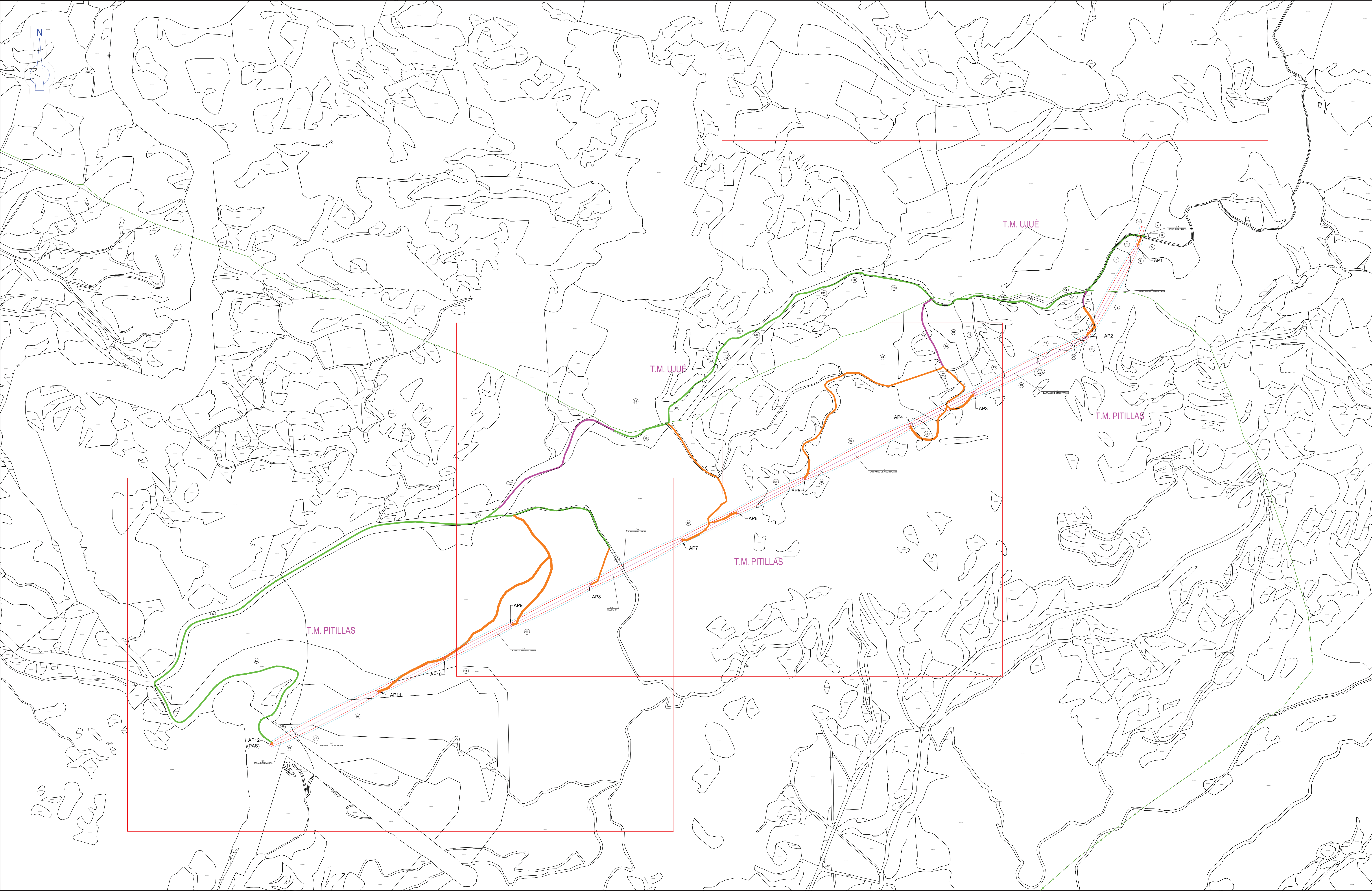
2 DE 3

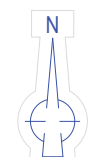
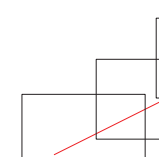
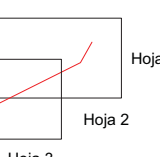
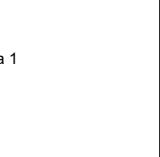
Rev.
02

BIO-006.003.22_0-1002



Ingeniería Industrial y del ICAI							LAT 220kV SET CORRALES - SET COLECTORA OLITE		LLAMADAS NUMERACION CRUZAM. Y PARALE.	REFERENCIAS CATASTRALES: 	LEYENDA TRAZADO: 	LEYENDA ACCESOS: 	osprel	ESCALA: 1/2.000	TÍTULO DEL PLANO: Planta General																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		

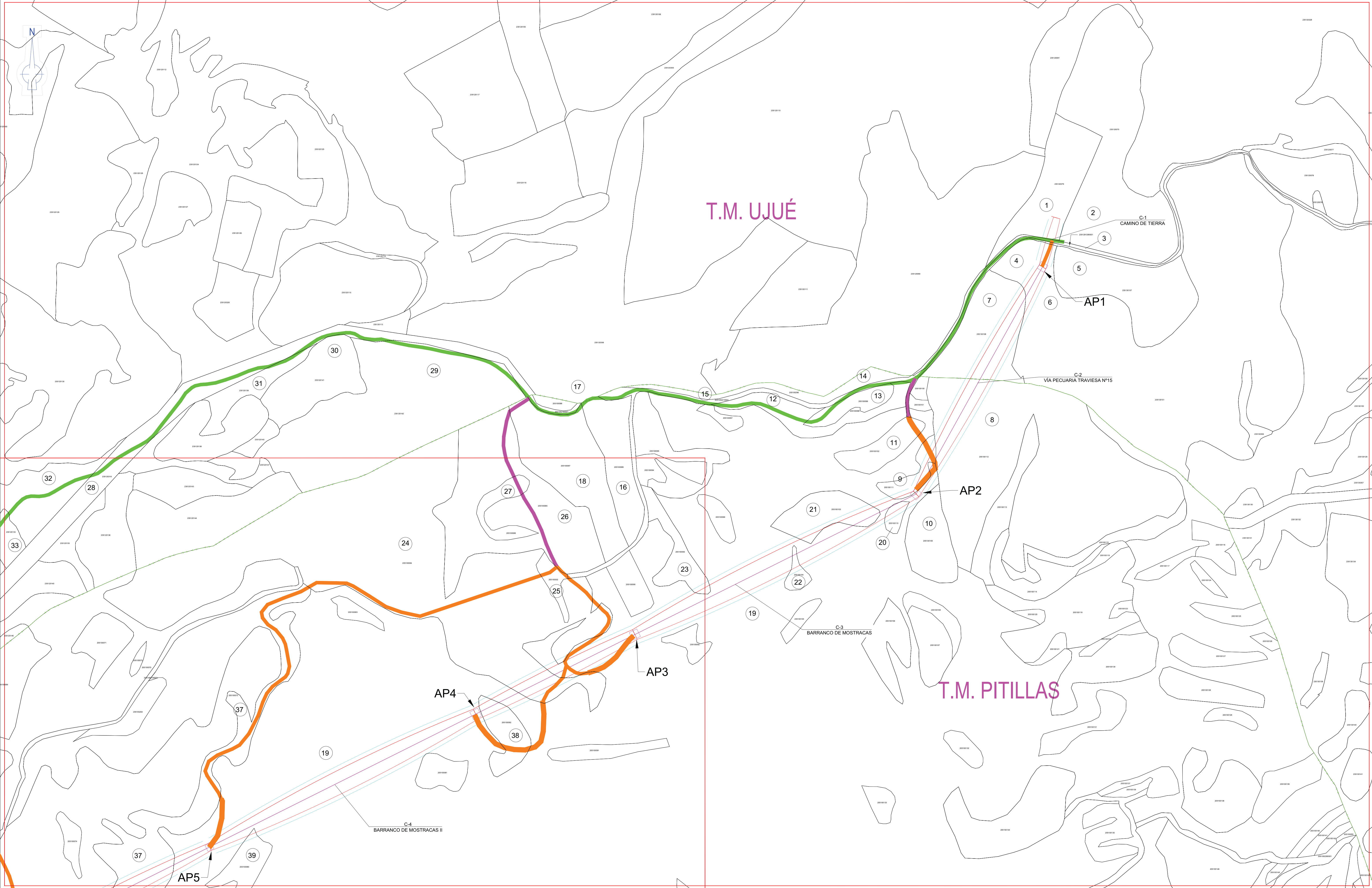


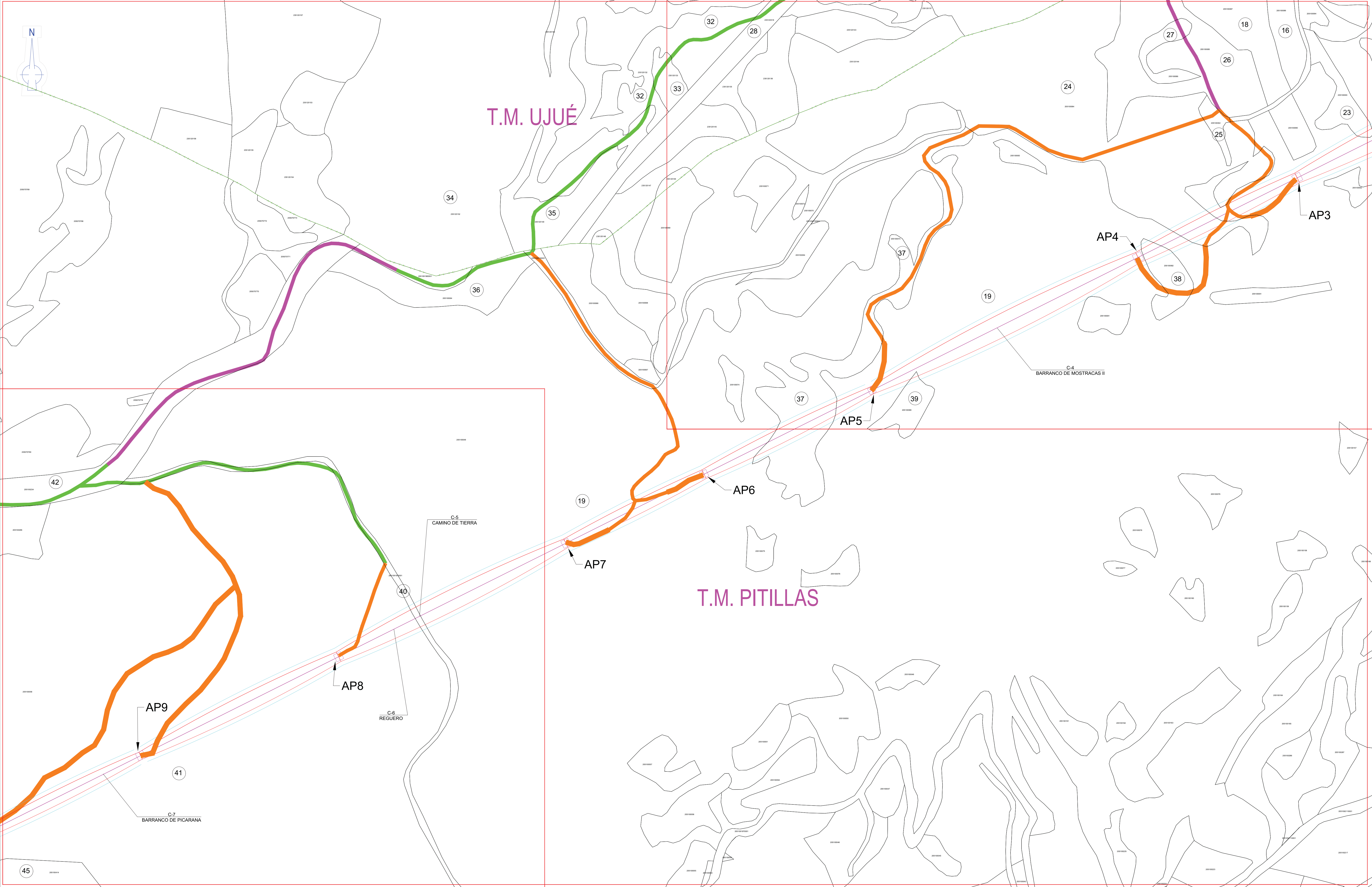
Ingeniería Industrial y del ICAI							LAT 220kV SET CORRALES - SET COLECTORA OLITE	   	LLAMADAS NUMERACIÓN CRUZAM. Y PARALE.	REFERENCIAS CATASTRALES:	LEYENDA TRAZADO:	LEYENDA ACCESOS:	osprel	ESCALA:	TÍTULO DEL PLANO:	
	PLANO LLAVE - Planta General Sobre Ortofoto															
	LAT 220kV SET CORRALES - SET COLECTORA OLITE															
	BIO-006.003.22_0-1003															

02	Febrero 2022		N.C.G.	S.V.M.	M.I.B.G.
01	Enero 2022		N.C.G.	S.V.M.	M.I.B.G.
00	Enero 2022		N.C.G.	S.V.M.	M.I.B.G.
Rev.	Fecha	Proyectado	Dibujado	Comprobado	Aprobado

Dña. M. Inmaculada Blázquez García	Colegiada N° 3694/2924

SUELO RÚSTICO Y URBANO:	LEYENDA TRAZADO:	LEYENDA ACCESOS:
 SUELO RÚSTICO  SUELO URBANO	 TRAZADO AEREO EN PROYECCION  ZONA DE SEGURIDAD  TRAZADO SUBTERRANEO	 ACCESO POR CARRETERA  CAMINO PÚBLICO EXISTENTE  ACCESO NUEVO A CREAR  ACCESO EXISTENTE A MEJORAR  ACCESO CORTADO





Ingeniería Industrial y del ICAI

Dña. M. Inmaculada Blázquez García

Colegiada N° 3694/2924

02	Febrero 2022		N.C.G.	S.V.M.	M.I.B.G.
01	Enero 2022		N.C.G.	S.V.M.	M.I.B.G.
00	Enero 2022		N.C.G.	S.V.M.	M.I.B.G.
Rev.	Fecha	Proyectado	Dibujado	Comprobado	Aprobado

N

Hoja 2

LLAMADAS NUMERACIÓN CRUZAM. Y PARALE.

REFERENCIAS CATASTRALES:

LEYENDA TRAZADO:

LEYENDA ACCESOS:

osprel

ESCALA:
1/2.000

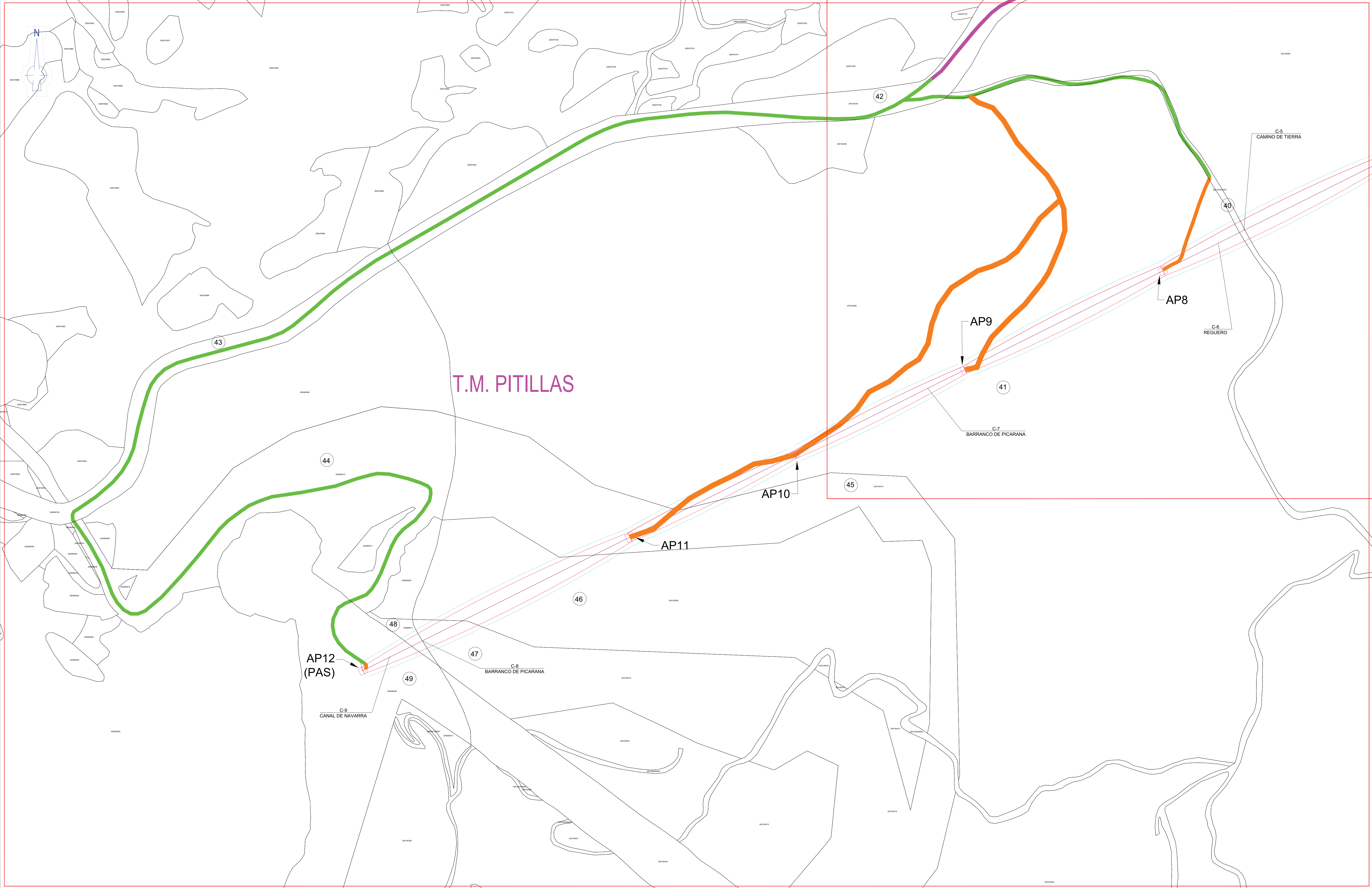
TÍTULO DEL PLANO:

LAT 220kV SET CORRALES - SET COLECTORA OLITE

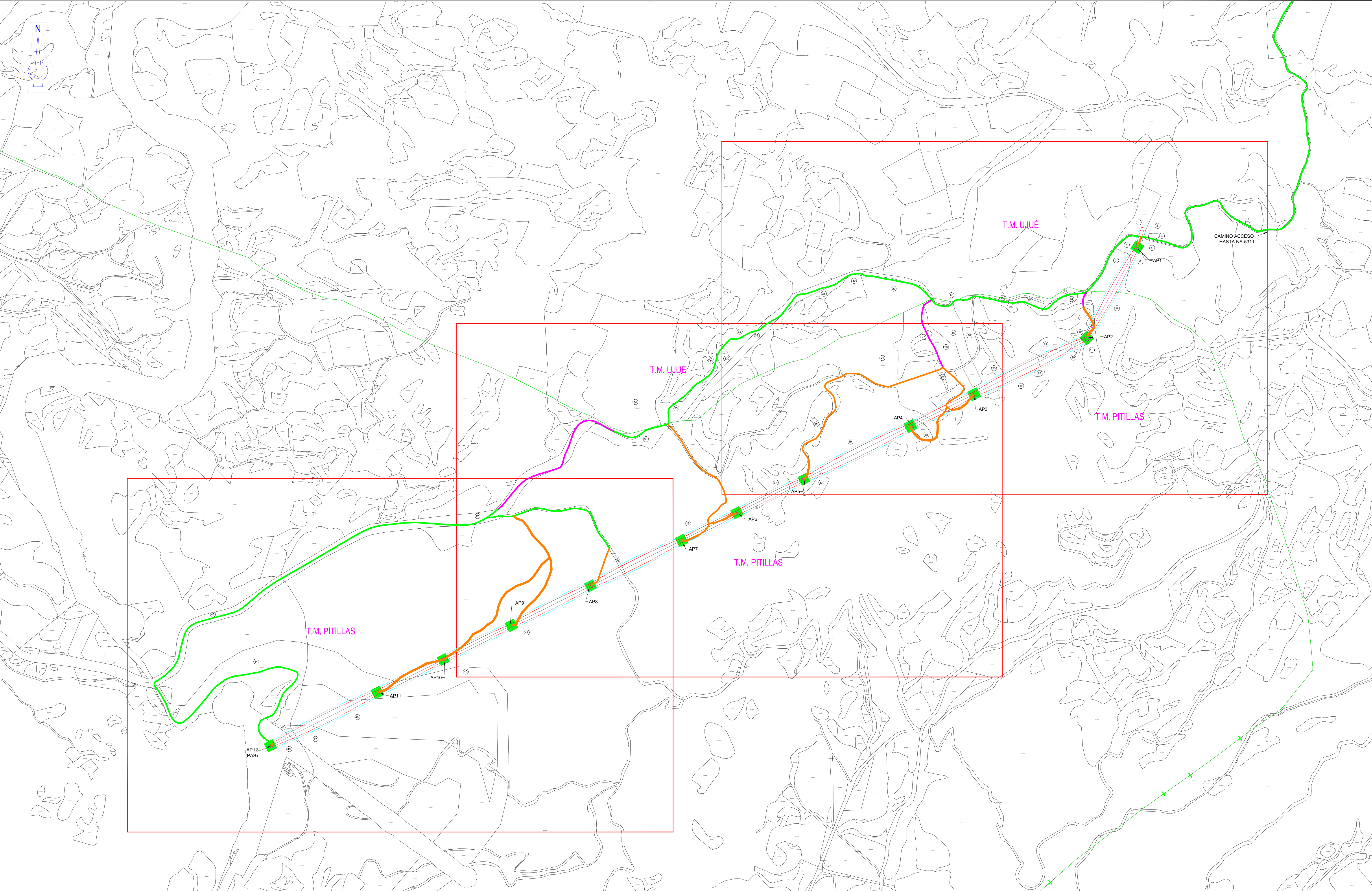
2 DE 3

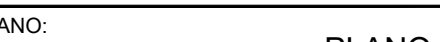
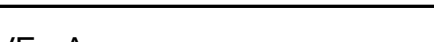
Rev. 02

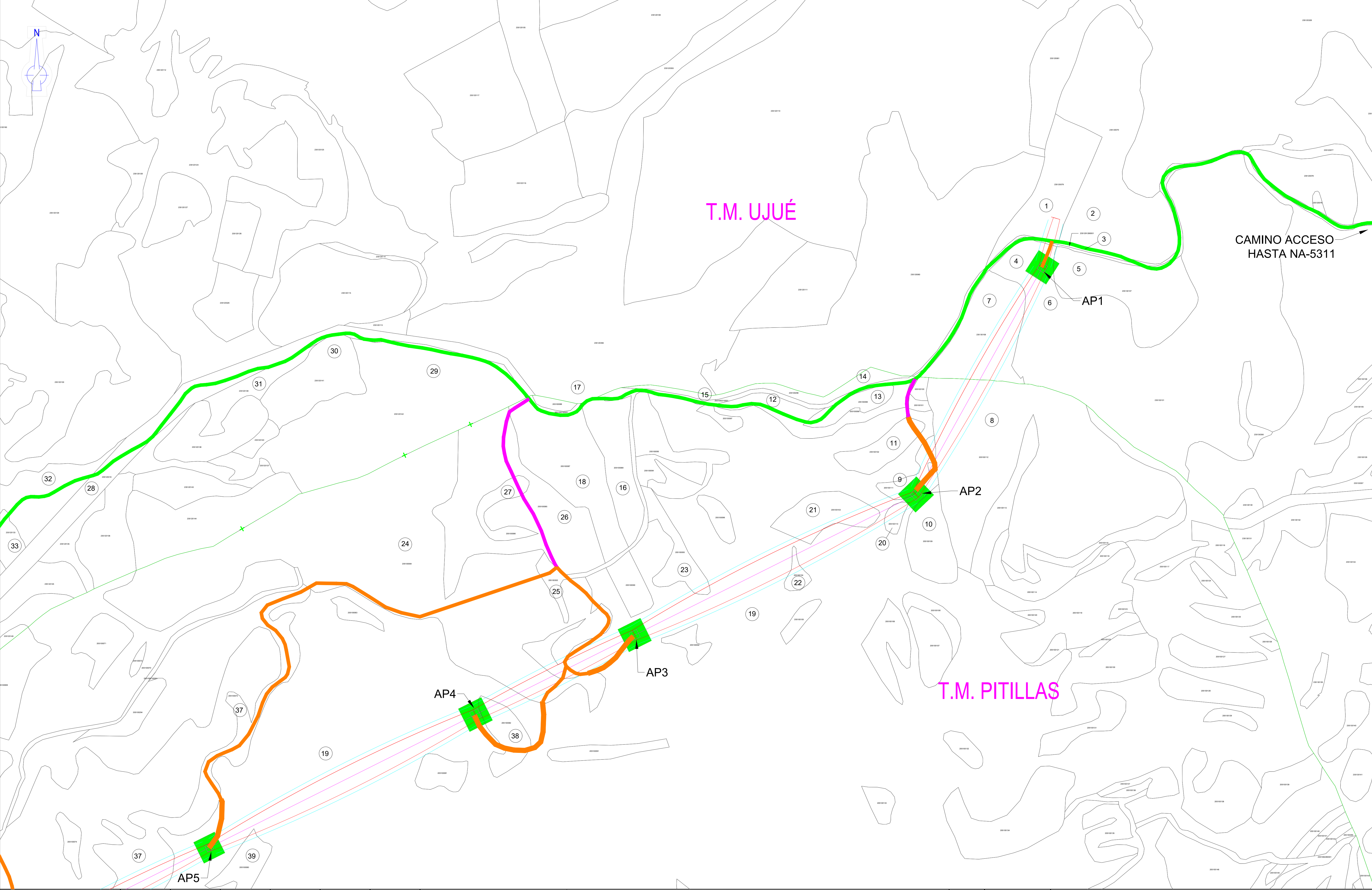
BIO-006.003.22_0-1003



Ingeniería Industrial y del ICAI							LAT 220kV SET CORRALES - SET COLECTORA OLITE		LLAMADAS NUMERACIÓN CRUZAM. Y PARALE.	REFERENCIAS CATASTRALES:	LEYENDA TRAZADO:	LEYENDA ACCESOS:	osprel	ESCALA:	TÍTULO DEL PLANO:		
														1/2.000		Planta General Sobre Ortofoto	
	02	Febrero 2022		N.C.G.	S.V.M.	M.I.B.G.											
	01	Enero 2022		N.C.G.	S.V.M.	M.I.B.G.											
Dña. M. Inmaculada Blázquez García	Rev.	Fecha	Proyectado	Dibujado	Comprobado	Aprobado									3 DE 3	Rev. 02	
Colegiada N° 3694/2924													capital energy		LAT 220kV SET CORRALES - SET COLECTORA OLITE		BIO-006.003.22_0-1003



Ingeniería Industrial y del ICAI							LAT 220kV SET CORRALES - SET COLECTORA OLITE			LLAMADAS NUMERACIÓN CRUZAM. Y PARALE.		REFERENCIAS CATASTRALES:		LEYENDA TRAZADO:		LEYENDA ACCESOS:		osprel	ESCALA: 1/5.000	TÍTULO DEL PLANO: PLANO LLAVE - Accesos																																																																																																																																																																																		
																			capital energy																																																																																																																																																																																			
	02	Febrero 2022			N.C.G.	S.V.M.	M.I.B.G.																																																																																																																																																																																															



Ingeniería Industrial y del ICAI

Dña. M. Inmaculada Blázquez García
Colegiada N° 3694/2924

02	Febrero 2022		N.C.G.	S.V.M.	M.I.B.G.
01	Enero 2022		N.C.G.	S.V.M.	M.I.B.G.
00	Enero 2022		N.C.G.	S.V.M.	M.I.B.G.
Rev.	Fecha	Proyectado	Dibujado	Comprobado	Aprobado

LAT 220KV SET CORRALES - SET COLECTORA OLITE

Hoja 1

LLAMADAS NUMERACIÓN CRUZAM. Y PARALE.

REFERENCIAS CATASTRALES:

LEYENDA TRAZADO:

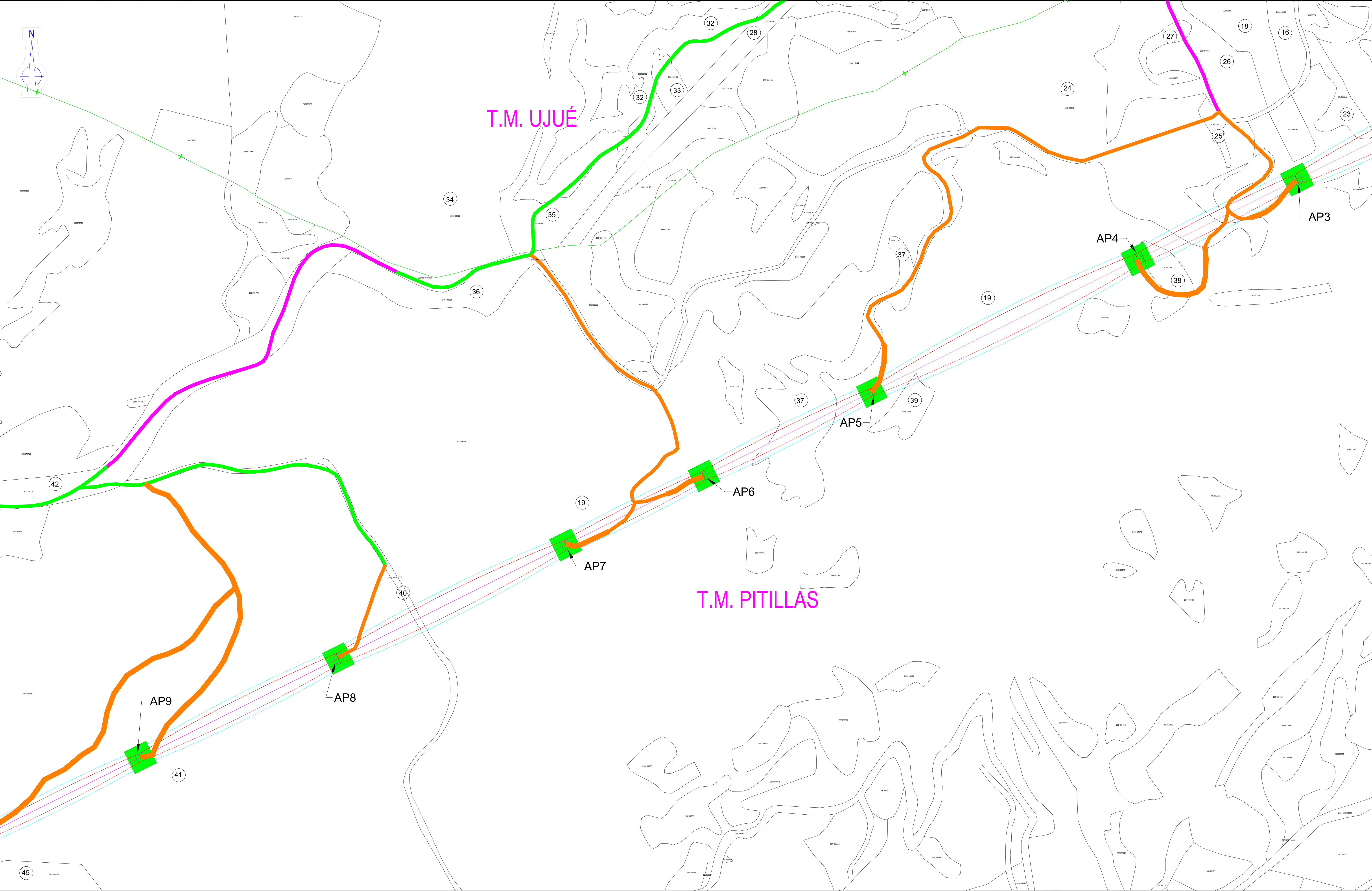
LEYENDA ACCESOS:

osprél

ESCALA: 1/2.000

capital energy

TÍTULO DEL PLANO: Accesos	
LAT 220KV SET CORRALES - SET COLECTORA OLITE	
1 DE 3	Rev. 02
BIO-006.003.22_0-1004	



Ingeniería Industrial y del ICAI

Dña. M. Inmaculada Blázquez García

Colegiada N° 3694/2924

02	Febrero 2022		N.C.G.	S.V.M.	M.I.B.G.	
01	Enero 2022		N.C.G.	S.V.M.	M.I.B.G.	
00	Enero 2022		N.C.G.	S.V.M.	M.I.B.G.	
Rev.	Fecha	Proyectado	Dibujado	Comprobado	Aprobado	

LAT 220KV SET CORRALES - SET COLECTORA OLITE

Hoja 2

LLAMADAS NUMERACIÓN CRUZAM. Y PARALE. C-## CRUZAMIENTO ORGANISMO AFECTADO P-## PARALELISMO ORGANISMO AFECTADO	REFERENCIAS CATASTRALES: SUELO RÚSTICO Y URBANO: (MMA) (PM) (PNNM) Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Urbano y Vivienda	LEYENDA TRAZADO: Ocupación Temporal Ocupación Permanente Trazado Aéreo en Protección Zona de Seguridad Trazado Subterráneo	LEYENDA ACCESOS: Acceso por Carretera Camino Público Existente Acceso Nuevo a Crear Acceso Existente a Mejorar Acceso Cortado

osprel

ESCALA:

1/2.000

TÍTULO DEL PLANO:

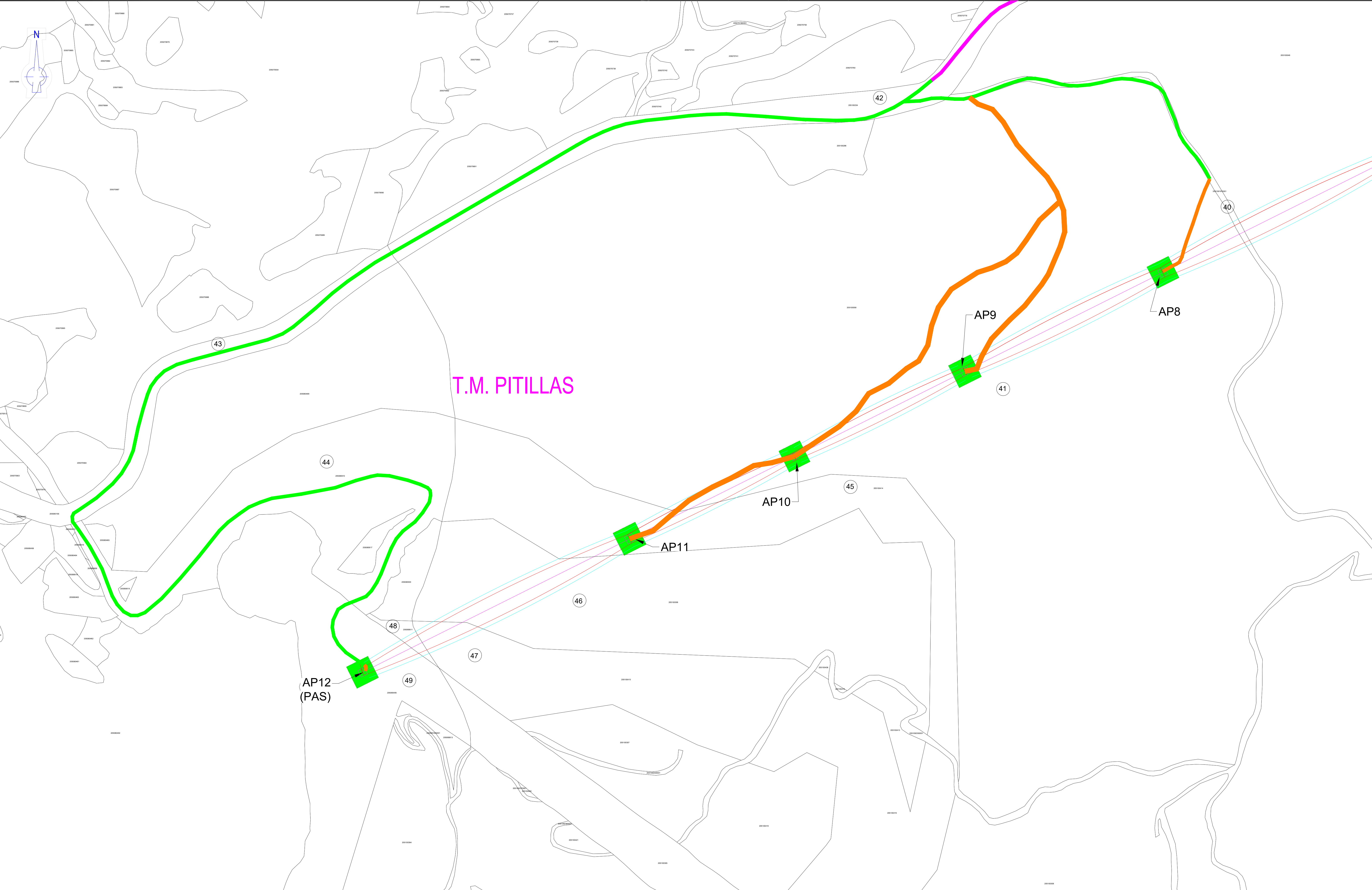
Accesos

LAT 220kv SET CORRALES - SET COLECTORA OLITE

2 DE 3

Rev. 02

BIO-006.003.22_0-1004



Ingeniería Industrial y del ICAI

Dña. M. Inmaculada Blázquez García

Colegiada N° 3694/2924

02	Febrero 2022		N.C.G.	S.V.M.	M.I.B.G.	
01	Enero 2022		N.C.G.	S.V.M.	M.I.B.G.	
00	Enero 2022		N.C.G.	S.V.M.	M.I.B.G.	
Rev.	Fecha	Proyectado	Dibujado	Comprobado	Aprobado	

LAT 220kV SET CORRALES - SET COLECTORA OLITE

LLAMADAS NUMERACIÓN CRUZAM. Y PARALE.

C-##
CRUZAMIENTO
ORGANISMO AFECTADO

P-##
PARALELISMO
ORGANISMO AFECTADO

REFERENCIAS CATASTRALES:

SUELO RÚSTICO Y URBANO:

LEYENDA TRAZADO:

OCUPACIÓN TEMPORAL

OCUPACIÓN PERMANENTE

TRAZADO AEREO EN PROYECCIÓN

ZONA DE SEGURIDAD

TRAZADO SUBTERRANEO

LEYENDA ACCESOS:

ACCESO POR CARRETERA

CAMINO PÚBLICO EXISTENTE

ACCESO NUEVO A CREAR

ACCESO EXISTENTE A MEJORAR

ACCESO CORTADO

osprel

ESCALA:
1/2.000

TÍTULO DEL PLANO:

Accesos

LAT 220kV SET CORRALES - SET COLECTORA OLITE

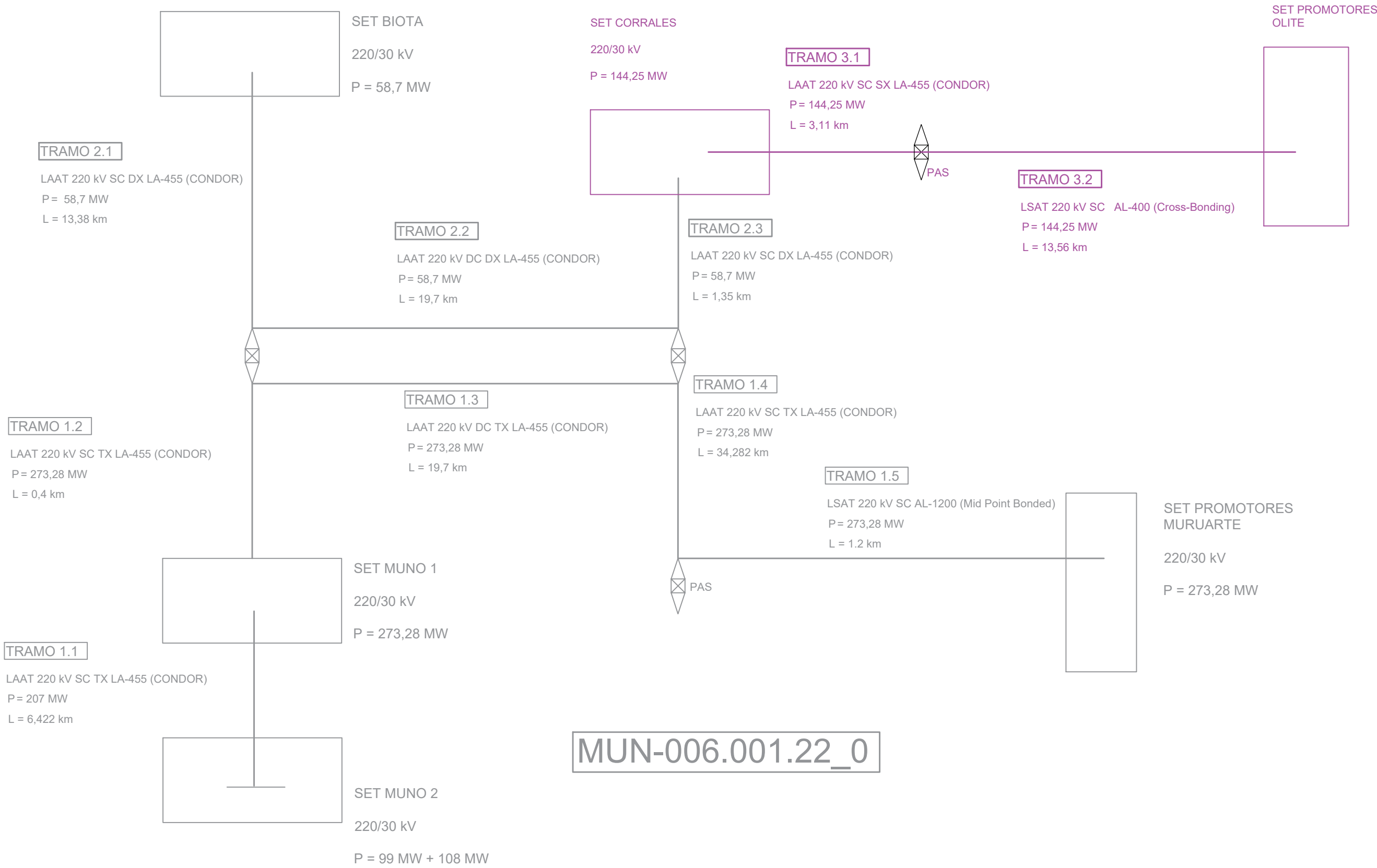
3 DE 3

Rev.
03

BIO-006.003.22_0-1004

BIO-006.002.22_0

BIO-006.003.22_0

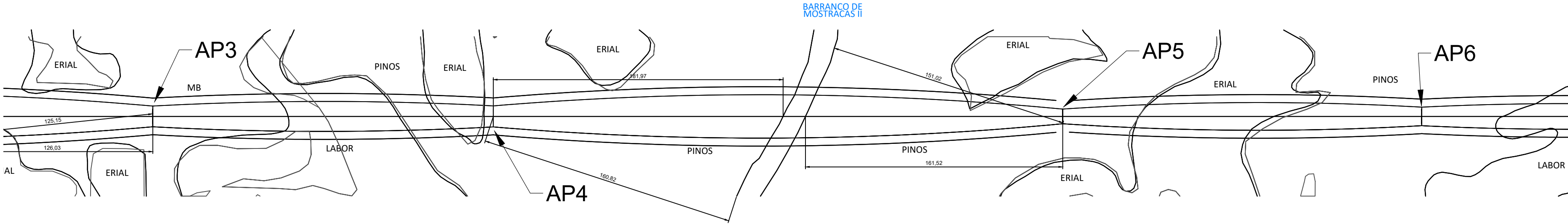
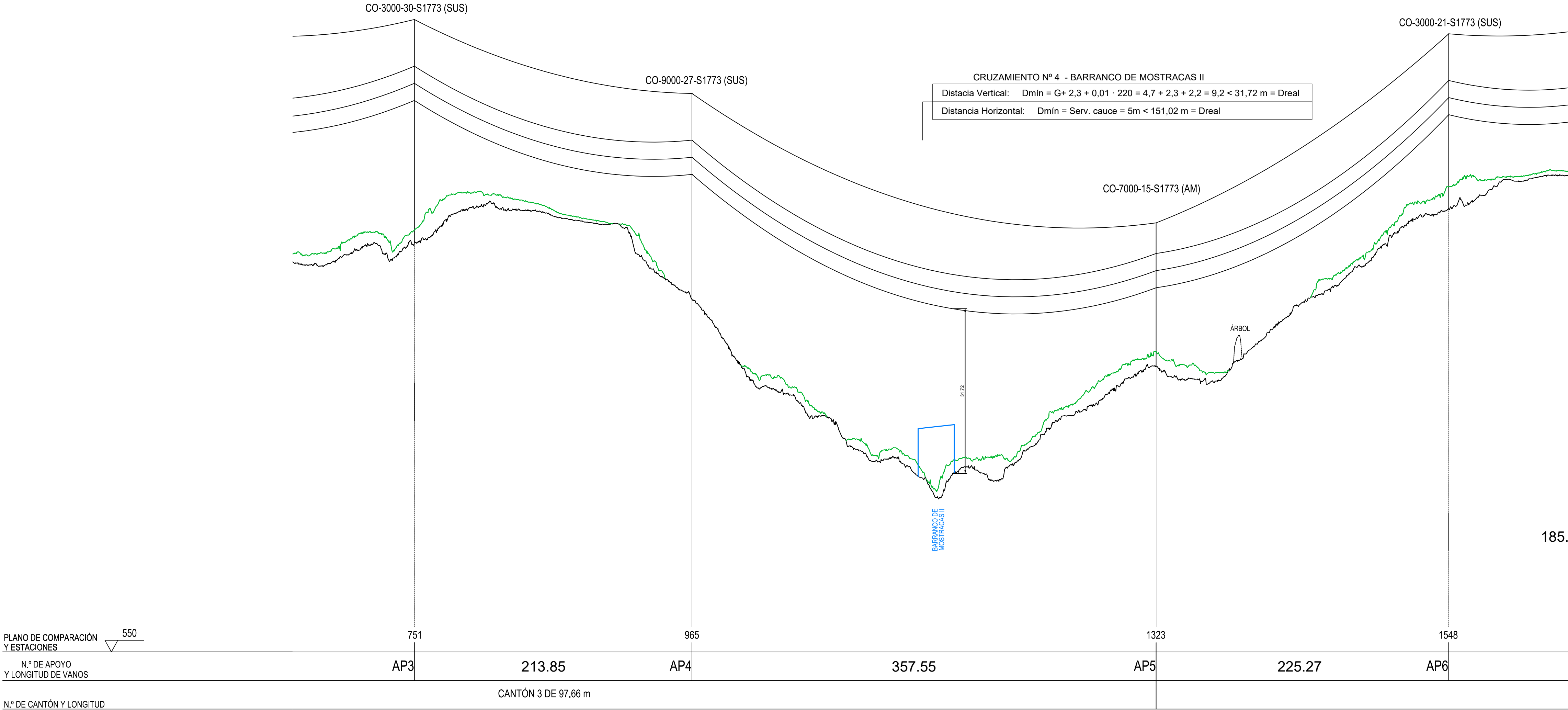


MUN-006.001.22_0

Ingeniera Industrial y del ICAI									ESCALA:	S/E	SITUACIÓN: PROYECTO DE EJECUCIÓN					
									TAMAÑO:	A3	TÍTULO DEL PLANO: ESQUEMA GENERAL DE EVACUACIÓN ELÉCTRICA					
									PROMOTOR:				TÍTULO DEL PROYECTO: LAT 220 kV SET Corrales - SET Promotores Olite		Nº HOJA	Rev.
Dña. M. Inmaculada Blázquez García Colegiada Nº 3694/2924	01	Febrero 2022	IEG	DMM	IEG	MIBG							NÚMERO DEL PLANO: BIO-006.003.22_0-1005			
	Rev.	Fecha	Proyectado	Dibujado	Comprobado	Aprobado										

COORDENADAS U.T.M.	
X	621514.24
Y	4699867.01
Z	617.83

COORDENADAS U.T.M.	
X	621194.39
Y	4699707.19
Z	604.92



COORDENADAS U.T.M.	
X	620992.72
Y	4699606.42
Z	635.50

COORDENADAS U.T.M.	
X	620826.66
Y	4699523.42
Z	637.78

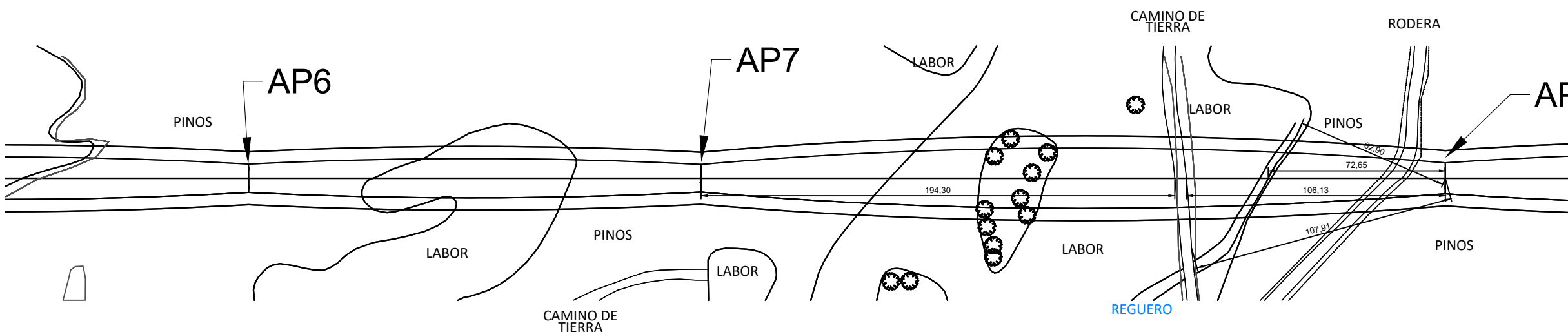
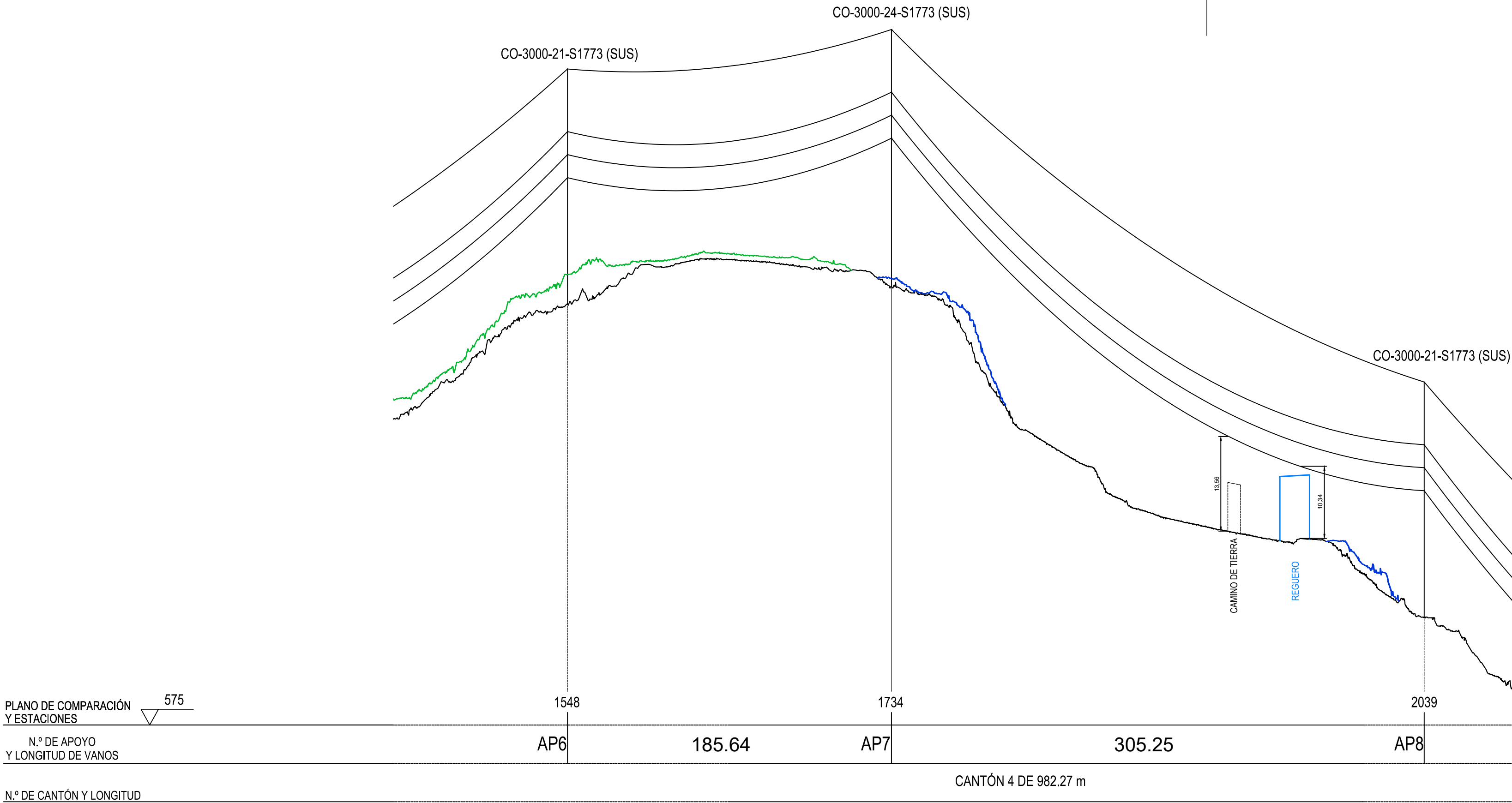
COORDENADAS U.T.M.	
X	620553.6
Y	4699387
Z	590.45

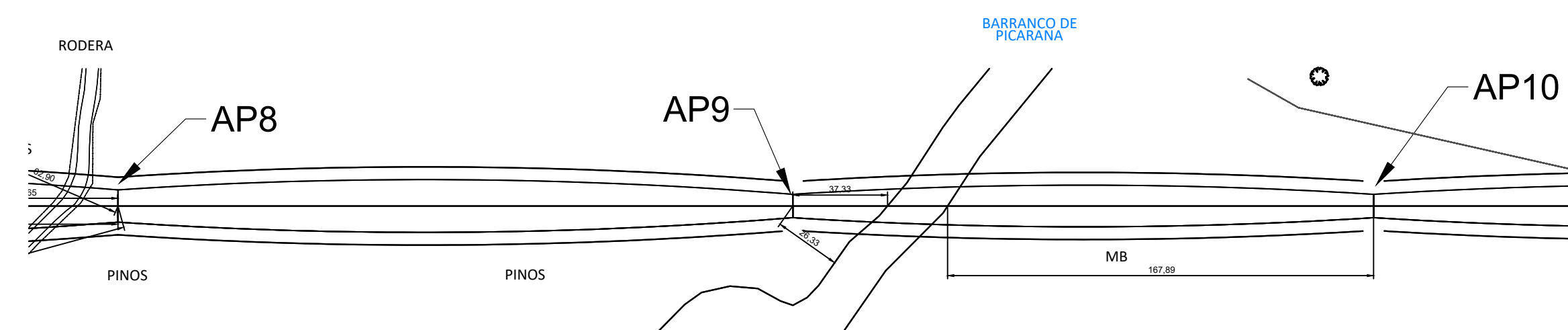
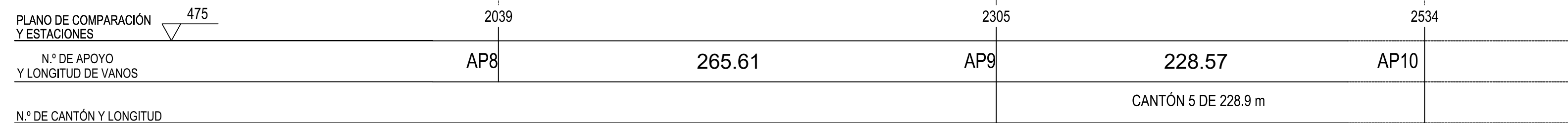
CRUZAMIENTO Nº 6 - REGUERO

Distancia Vertical:	$D_{min} = G + 2,3 + 0,01 \cdot 220 = 4,7 + 2,3 + 2,2 = 9,2 < 31,72 \text{ m} = D_{real}$
Distancia Horizontal:	$D_{min} = \text{Serv. cauce} = 5\text{m} < 62,90 \text{ m} = D_{real}$

CRUZAMIENTO Nº 5 - CAMINO DE TIERRA

$D_{min} = D_{add} + \Delta l = 5,3 + 1,7 = 7 \text{ m} < 13,56 \text{ m} = D_{real}$





Ingeniera Industrial y del ICAI						Nota: Los conductores se encuentran flechados a la temperatura de 85°C y el cable de tierra a la temperatura de -15°C de acuerdo a lo indicado en el R.L.A.T. ITC.07	osprel	ESCALA: 1/20.000	SITUACIÓN: PROYECTO DE EJECUCIÓN			
								TAMAÑO: A1	TÍTULO DEL PLANO: PLANTA Y PERFIL - TRAMO AÉREO			
								PROMOTOR: capital energy	TÍTULO DEL PROYECTO:		Nº HOJA	Rev.
									LAT 220kV SET CORRALES - SET COLECTORA OLITE		4 de 5	R1
									NÚMERO DEL PLANO: BIO-006.003.22_0-1006			
Dña. M. Inmaculada Blázquez García Colegiada Nº 3694/2924	01	Febrero 2022	Primera Edición	DMM	IEG	MIBG						
	Rev.	Fecha	Descripción	Dibujado	Comprobado	Aprobado						

LEYENDA

Perfil Lateral Derecho

Perfil Arbolado

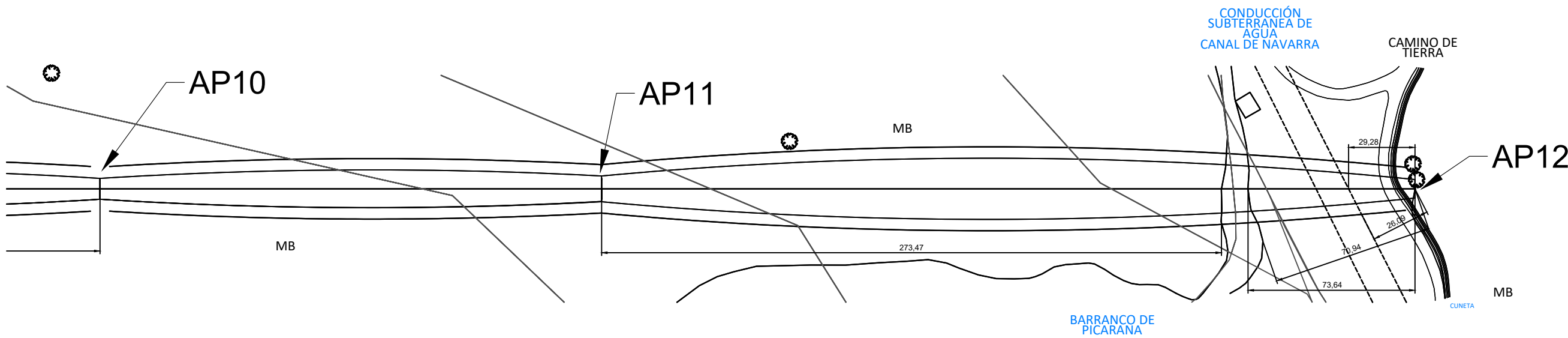
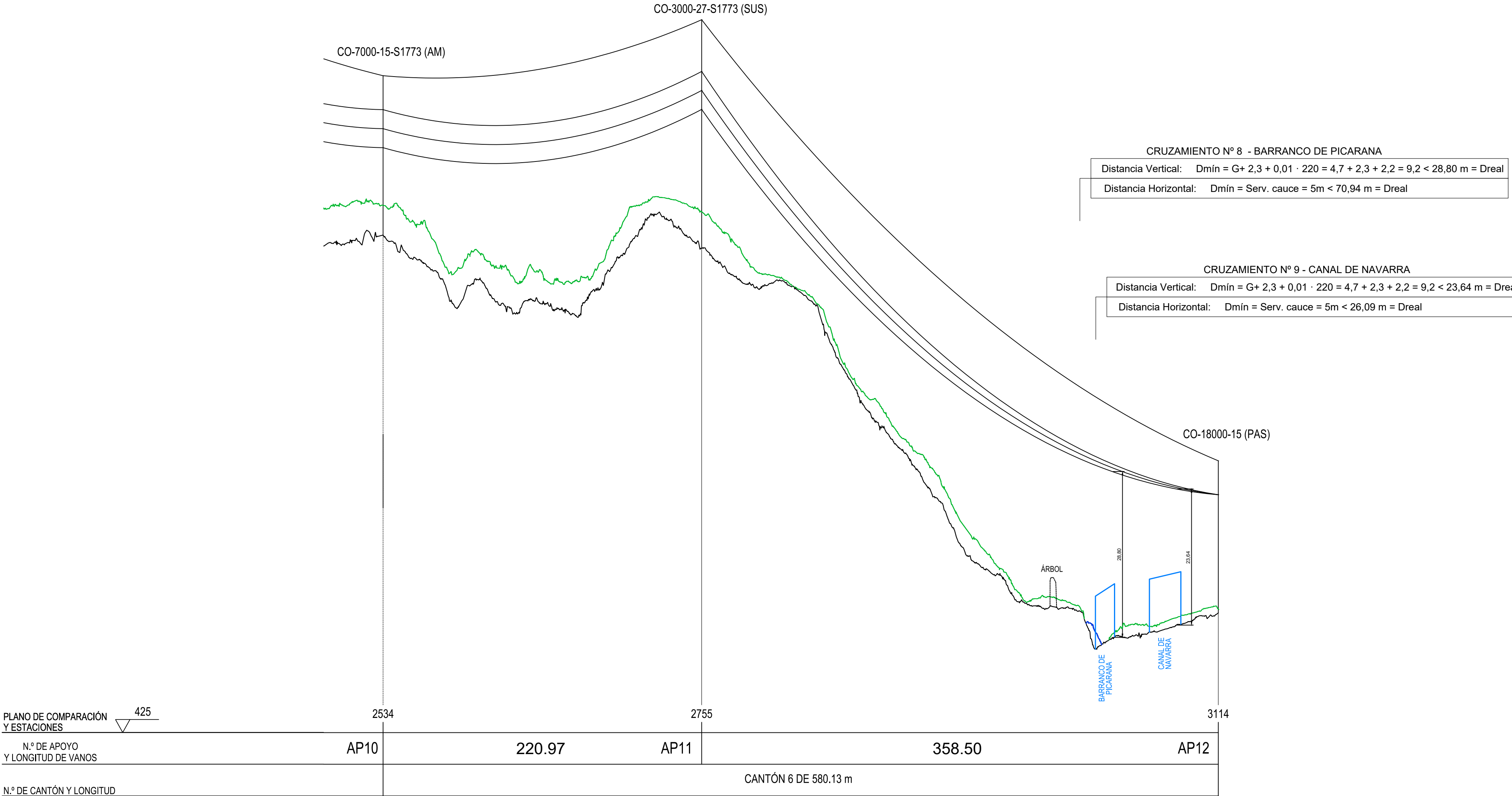
Protecciones caminos, carreteras,...

Perfil Lateral Izquierdo

Protecciones Hidrográficas

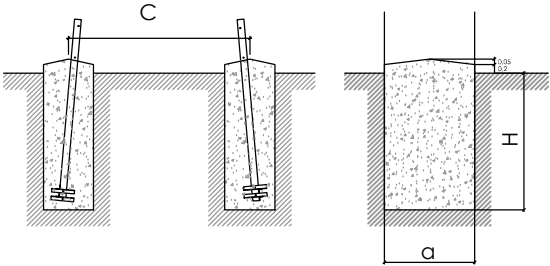
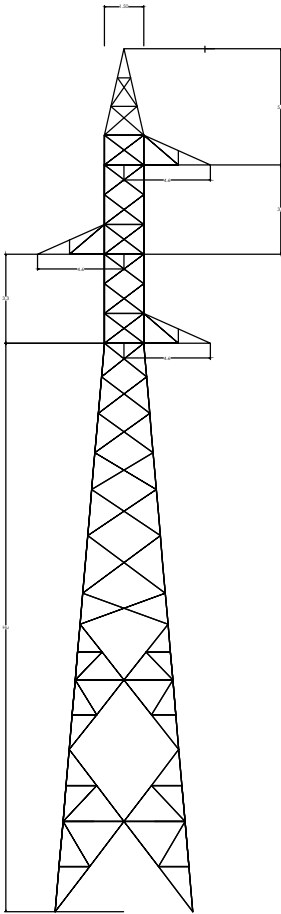
COORDENADAS U.T.M.	
X	619912.99
Y	4699066.9
Z	508.96

COORDENADAS U.T.M.	
X	619592.01
Y	4698906.48
Z	445.75



Nombre del Apoyo	Altura util (m)	GEOMETRÍA DEL APOYO (m)				Cimentación Cuadrada Recta - Terreno normal 3 daN/cm2					
		b	a	c	h	a	c	H	V exc unit (m3)	V exc (m3)	V horm (m3)
CO-18000-18-S1773	18,2	3,3	4,6	4,6	5,9	1,55	4,85	3,2	7,69	30,76	32,84

CO-18000-S1773

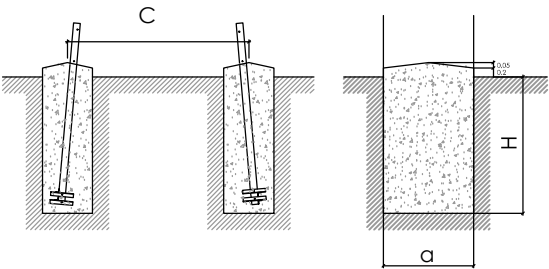
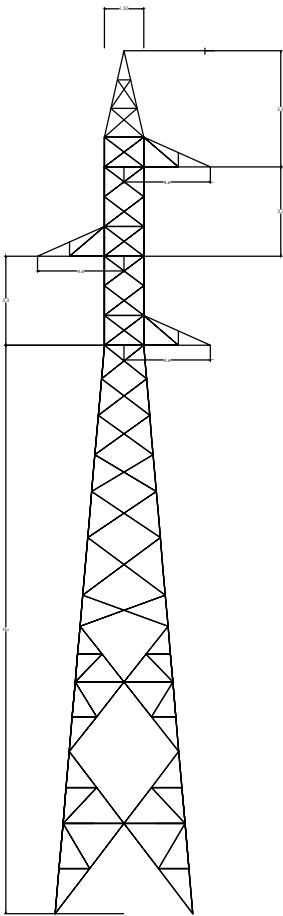


Consideraciones Particulares Torres		
MATERIALES	Características Mecánicas	S355J0 y S275JR según UNE-EN-10025
	Características Dimensionales	Perfiles de alas iguales según UNE-EN-10056 / Chapas de acero laminadas en caliente UNE-EN-10029
	Galvanización	EN-1461 / EN-10684
ANÁLISIS ESTRUCTURAL	ASCE 10-15	
TORNILLOS	R.D. 223 / 08	
SOFTWARE DE CÁLCULO	TOWER & PLS-CADD version 16.20 (Power Line Systems, Inc.)	

				01	Febrero 2022	IEG	DMM	IEG	MIBG	
				Rev.	Fecha	Proyectado	Dibujado	Comprobado	Aprobado	
Ingeniera Industrial y del ICAI		ESCALA:	S/E	SITUACIÓN: PROYECTO DE EJECUCIÓN						
		TAMAÑO:	A4	TÍTULO DEL PLANO: APOYOS Y CIMENTACIONES						
	Dña. M. Inmaculada Blázquez García Colegiada Nº 3694/2924		PROMOTOR:	TÍTULO DEL PROYECTO: LAT 220 kV SET Corrales - SET Promotores Olite APOYOS TIPO (CO-18000-S1773)					Nº HOJA 1 de 6	Rev. R1
								NÚMERO DEL PLANO: BIO-006.003.22_0-1007		

Nombre del Apoyo	Altura util (m)	GEOMETRÍA DEL APOYO (m)				Cimentación Cuadrada Recta - Terreno normal 3 daN/cm2					
		b	a	c	h	a	c	H	V exc unit (m3)	V exc (m3)	V horm (m3)
CO-12000-24-S1773	24,4	3,3	4,6	4,6	5,9	1,35	5,92	2,85	5,19	20,76	22,34

CO-12000-S1773



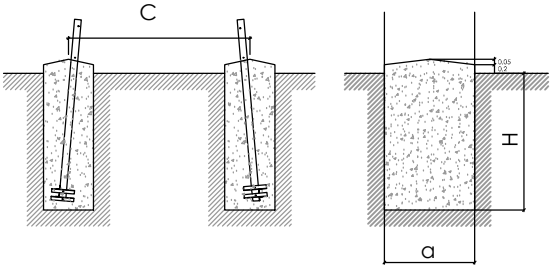
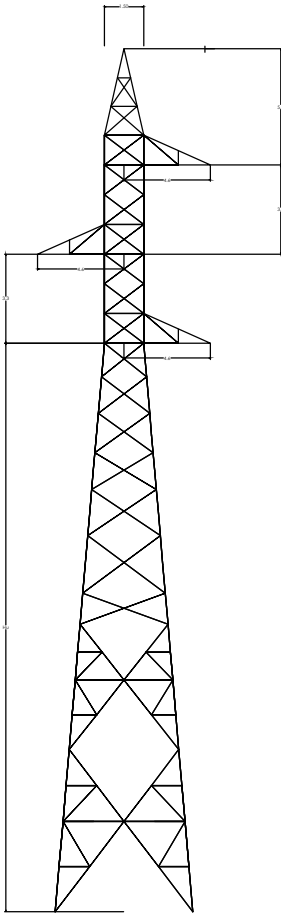
Consideraciones Particulares Torres		
MATERIALES	Características Mecánicas	S355J0 y S275JR según UNE-EN-10025
	Características Dimensionales	Perfiles de alas iguales según UNE-EN-10054 / Chapas de acero laminadas en caliente UNE-EN-10029
	Galvanización	EN-1461 / EN-10684
ANÁLISIS ESTRUCTURAL	ASCE 10-15	
TORNILLOS	R.D. 223 / 08	
SOFTWARE DE CÁLCULO	TOWER & PLS-CADD version 16.20 (Power Line Systems, Inc.)	

			01	Febrero 2022	IEG	DMM	IEG	MIBG	
			Rev.	Fecha	Proyectado	Dibujado	Comprobado	Aprobado	
Ingeniera Industrial y del ICAI	ESCALA:	S/E	SITUACIÓN: PROYECTO DE EJECUCIÓN						
	TAMAÑO:	A4	TÍTULO DEL PLANO: APOYOS Y CIMENTACIONES						
	PROMOTOR:	TÍTULO DEL PROYECTO: LAT 220 kV SET Corrales - SET Promotores Olite APOYOS TIPO (CO-12000-S1773)						Nº HOJA 2 de 6	Rev. R1
Dña. M. Inmaculada Blázquez García Colegiada Nº 3694/2924								NÚMERO DEL PLANO: BIO-006.003.22_0-1007	

Nombre del Apoyo	Altura útil (m)	GEOMETRÍA DEL APOYO (m)				Gmientación Cuadrada Recta - Terreno normal 3 daN/cm2					
		b	a	c	h	a	c	H	V exc unit (m3)	V exc (m3)	V horm (m3)
CO-9000-27-S1773	27,2	3,3	4,6	4,6	5,9	1,20	6,40	2,50	3,60	14,40	15,65

Nombre del Apoyo	Altura util (m)	GEOMETRÍA DEL APOYO (m)				Cimentación Cuadrada Recta - Terreno normal 3 daN/cm2					
		b	a	c	h	a	c	H	V exc unit (m3)	V exc (m3)	V hom (m3)
CO-7000-15-S1773	15,2	3,3	4,6	4,6	5,9	1,05	3,93	2,55	2,81	11,24	12,20
CO-7000-24-S1773	24,4	3,3	4,6	4,6	5,9	1,15	5,30	2,60	3,44	13,76	14,91
CO-7000-15-S1773	15,2	3,3	4,6	4,6	5,9	1,05	3,93	2,55	2,81	11,24	12,20

CO-7000-S1773

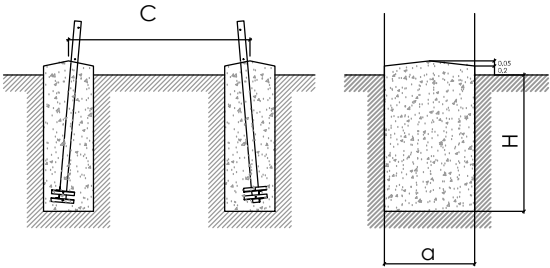
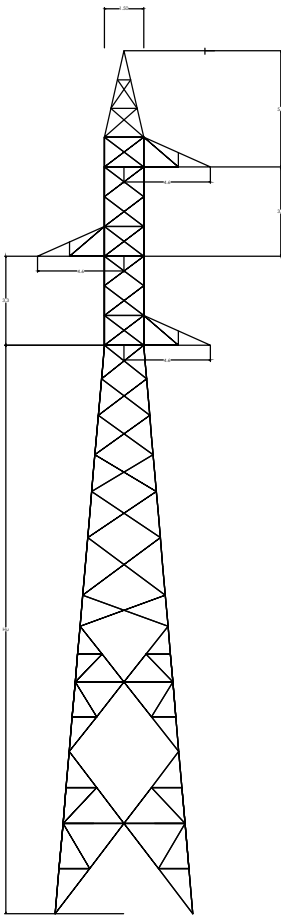


Consideraciones Particulares Torres		
MATERIALES	Características Mecánicas	S355J0 y S275JR según UNE-EN-10025
	Características Dimensionales	Perfiles de alas iguales según UNE-EN-10056 / Chapas de acero laminadas en caliente UNE-EN-10029
	Galvanización	EN-1461 / EN-10684
ANÁLISIS ESTRUCTURAL	ASCE 10-15	
TORNILLOS	R.D. 223 / 08	
SOFTWARE DE CÁLCULO	TOWER & PLS-CADD version 16.20 (Power Line Systems, Inc.)	

				01	Febrero 2022	IEG	DMM	IEG	MIBG	
				Rev.	Fecha	Proyectado	Dibujado	Comprobado	Aprobado	
Ingeniera Industrial y del ICAI		ESCALA:	S/E	SITUACIÓN: PROYECTO DE EJECUCIÓN						
		TAMAÑO:	A4	TÍTULO DEL PLANO: APOYOS Y CIMENTACIONES						
	Dña. M. Inmaculada Blázquez García Colegiada Nº 3694/2924		PROMOTOR:	TÍTULO DEL PROYECTO: LAT 220 kV SET Corrales - SET Promotores Olite APOYOS TIPO (CO-7000-S1773)					Nº HOJA 4 de 6	Rev. R1
								NÚMERO DEL PLANO: BIO-006.003.22_0-1007		

Nombre del Apoyo	Altura util (m)	GEOMETRÍA DEL APOYO (m)				Cimentación Cuadrada Recta - Terreno normal 3 daN/cm2					
		b	a	c	h	a	c	H	V exc unit (m3)	V exc (m3)	V horm (m3)
CO-3000-30-S1773	30,4	3,3	4,6	4,6	5,9	0,90	6,20	2,25	1,82	7,28	7,98
CO-3000-21-S1773	21,2	3,3	4,6	4,6	5,9	0,90	4,83	2,15	1,74	6,96	7,66
CO-3000-24-S1773	24,4	3,3	4,6	4,6	5,9	0,90	5,30	2,15	1,74	6,96	7,66
CO-3000-21-S1773	21,2	3,3	4,6	4,6	5,9	0,90	4,83	2,15	1,74	6,96	7,66
CO-3000-27-S1773	27,2	3,3	4,6	4,6	5,9	0,90	5,72	2,20	1,78	7,12	7,82

CO-3000-S1773

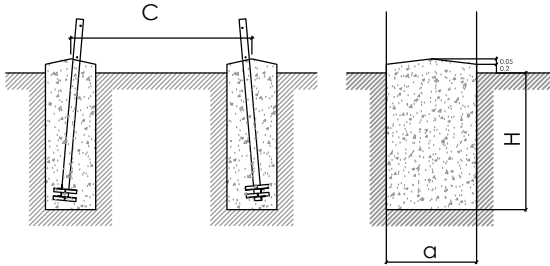
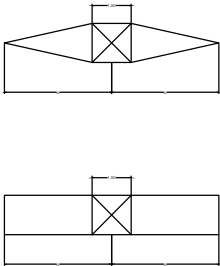
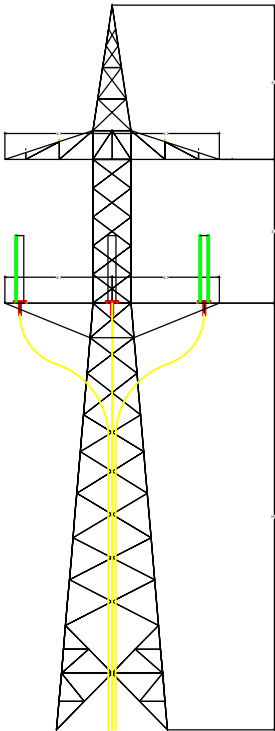


Consideraciones Particulares Torres		
MATERIALES	Características Mecánicas	S355J0 y S275JR según UNE-EN-10025
	Características Dimensionales	Perfiles de alas iguales según UNE-EN-10056 / Chapas de acero laminadas en caliente UNE-EN-10029
	Galvanización	EN-1461 / EN-10684
ANÁLISIS ESTRUCTURAL	ASCE 10-15	
TORNILLOS	R.D. 223 / 08	
SOFTWARE DE CÁLCULO	TOWER & PLS-CADD version 14.20 (Power Line Systems, Inc.)	

				01	Febrero 2022	IEG	DMM	IEG	MIBG
				Rev.	Fecha	Proyectado	Dibujado	Comprobado	Aprobado
Ingeniera Industrial y del ICAI		ESCALA:	S/E	SITUACIÓN: PROYECTO DE EJECUCIÓN					
		TAMAÑO:	A4	TÍTULO DEL PLANO: APOYOS Y CIMENTACIONES					
	Dña. M. Inmaculada Blázquez García Colegiada Nº 3694/2924		PROMOTOR:	TÍTULO DEL PROYECTO: LAT 220 kV SET Corrales - SET Promotores Olite APOYOS TIPO (CO-3000-S1773)				Nº HOJA 5 de 6	Rev. R1
							NÚMERO DEL PLANO: BIO-006.003.22_0-1007		

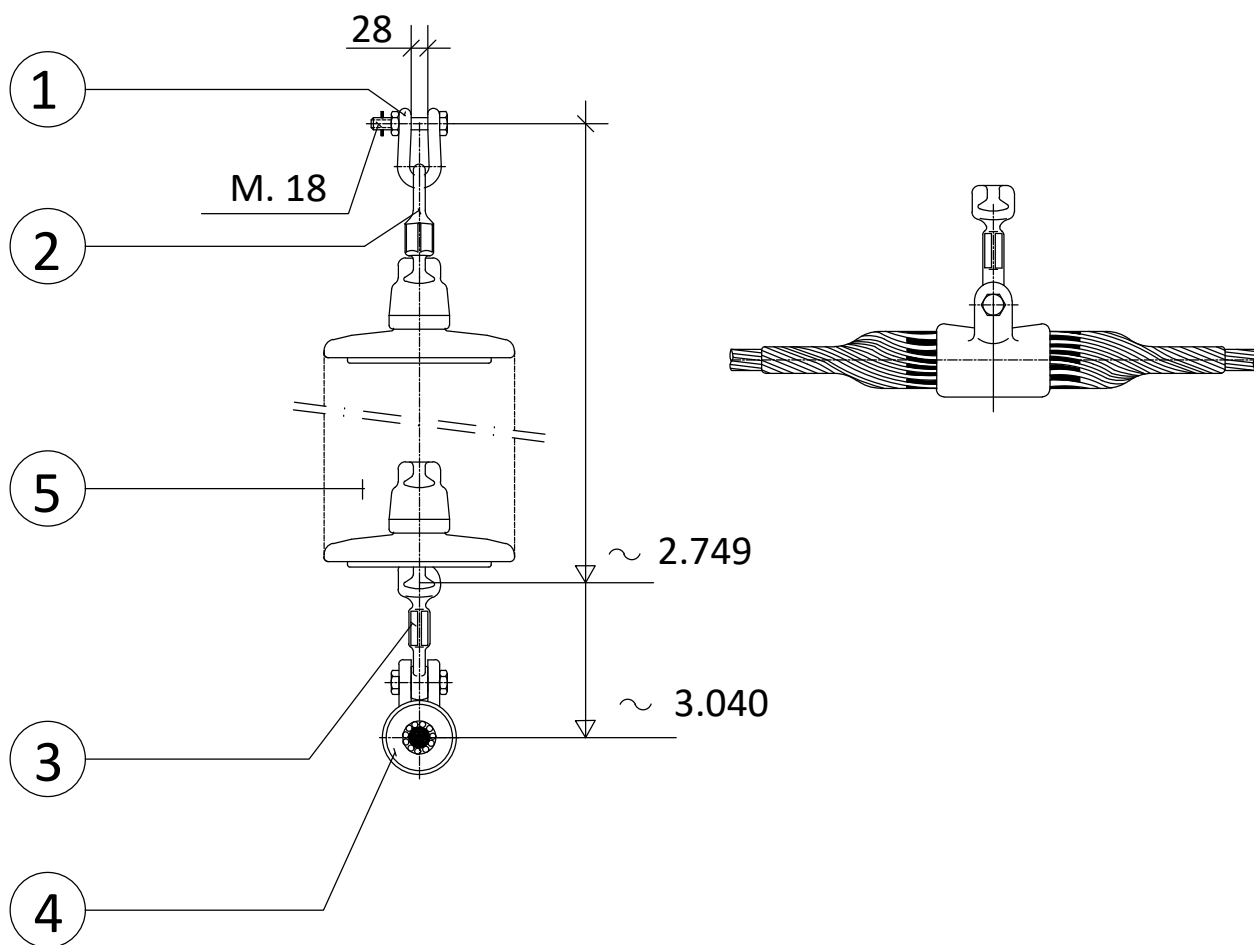
Nombre del Apoyo	Altura útil (m)	GEOMETRÍA DEL APOYO (m)				Cimentación Cuadrada Recta - Terreno normal 3 daN/cm2					
		b	a	c	h	a	c	H	V exc unit (m3)	V exc (m3)	V horm (m3)
CO-18000-15-PAS_SC	15,2	5,5	4,1	4,1	5,9	1,50	4,32	3,20	7,20	28,80	30,75

CO-18000-PAS



Consideraciones Particulares Torres		
MATERIALES	Características Mecánicas	S355J0 y S275JR según UNE-EN-10025
	Características Dimensionales	Perfiles de alas iguales según UNE-EN-10056 / Chapas de acero laminadas en caliente UNE-EN-10029
	Galvanización	EN-1461 / EN-10684
ANÁLISIS ESTRUCTURAL	ASCE 10-15	
TORNILLOS	R.D. 223 / 08	
SOFTWARE DE CÁLCULO	TOWER & PLS-CADD version 16.20 (Power Line Systems, Inc.)	

				01	Febrero 2022	IEG	DMM	IEG	MIBG
				Rev.	Fecha	Proyectado	Dibujado	Comprobado	Aprobado
Ingeniera Industrial y del ICAI		ESCALA:	S/E	SITUACIÓN: PROYECTO DE EJECUCIÓN					
		TAMAÑO:	A4	TÍTULO DEL PLANO: APOYOS Y CIMENTACIONES					
	PROMOTOR:		TÍTULO DEL PROYECTO: LAT 220 kV SET Corrales - SET Promotores Olite APOYOS TIPO (CO-18000-PAS)					Nº HOJA	Rev.
								1 de 6	R1
Dña. M. Inmaculada Blázquez García Colegiada Nº 3694/2924							NÚMERO DEL PLANO: BIO-006.003.22_0-1007		



CARGA DE ROTURA MIN. DE LA CADENA (SIN GRAPA) 16.000 daN.
AISLADOR NORMA 20 DE C.E.I.
HERRAJES, NORMA UNE 21.158
TODAS LAS PIEZAS CON TORNILLO Y PASADOR
TODAS LAS DIMENSIONES EN MM.

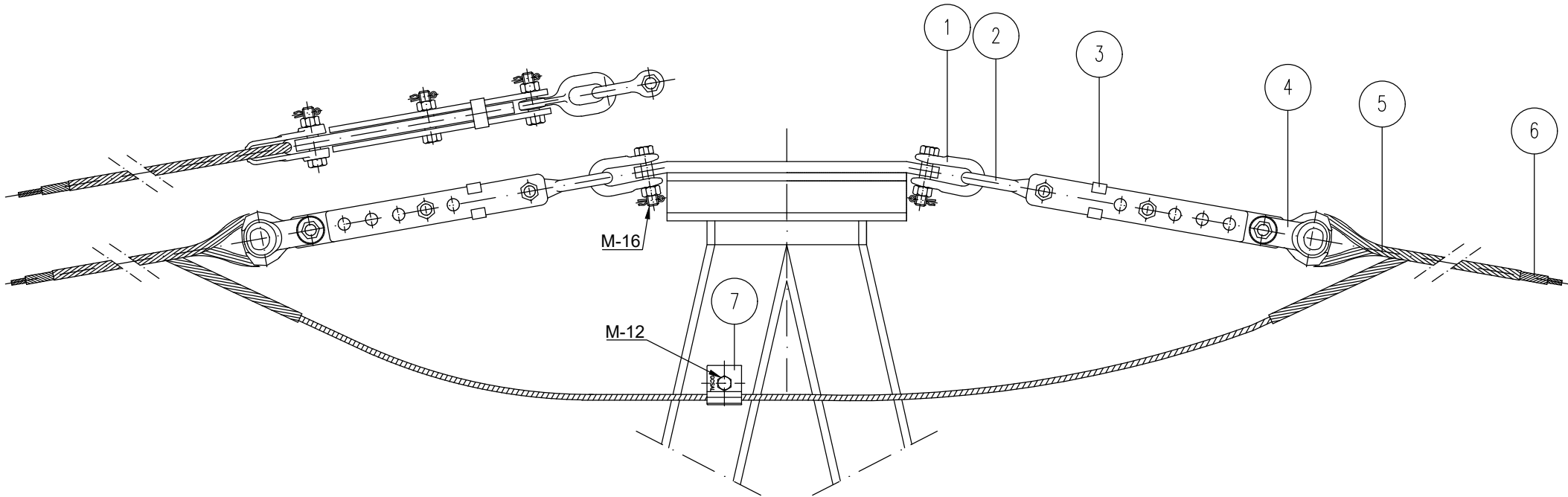
5	AISLADOR DE CADENA	14	VIDRIO	U160BSP
4	GRAPA SUSPENSION ARMADA AE	1	ALEACION AL.	GSA-AE
3	ROTULA LARGA DE PROTECCION N20	1	ACERO	RL20P
2	ANILLA BOLA DE PROTECCION N20	1	ACERO	AB20P
1	GRILLETE NORMAL N20	1	ACERO	GN20
POS.	DENOMINACION	CANT	MATERIAL	DESG.

		Rev.	Fecha	Proyectado	Dibujado	Comprobado	Aprobado

Ingeniera Industrial y del ICAI		ESCALA:	S/E	SITUACIÓN:	PROYECTO DE EJECUCIÓN	
		TAMAÑO:	A4	TÍTULO DEL PLANO:	CADENAS DE SUSPENSIÓN	
		PROMOTOR:			TÍTULO DEL PROYECTO:	LAT 220 kV SET Corrales - SET Promotores Olite
Dña. M. Inmaculada Blázquez García Colegiada Nº 3694/2924					Nº HOJA 1 de 1	Rev. R1
					NÚMERO DEL PLANO: BIO-006.003.22_0-1008	

Ø OPGW	RETENCIÓN PREFORMADA (REFERENCIA)	Ø CABLE (mm)		Ø VARILLAS (mm)	LONGITUD (mm)	C.R.N. (daN)	CONEXIÓN A TIERRA
		MIN.	MAX.				
15,60–16,50	RAAWFO–22,5/D	15.60	16.50	4.12	1380	12.000	GCSAL–14/18
	EPAWFO–16/I/2600			3.26	2600		

NOTA: C.R.N. DEL PREFORMADO



POSICIÓN	DENOMINACIÓN	CANT.
1	GRILLETE RECTO GN–16T	2
2	ESLABÓN REVIRADO ESR–16	2
3	TENSOR DE CORREDERA T–1	2
4	GUARDACABOS G–16	2
5	RETENCIÓN PREFORMADA RAAWFO	2
6	EMPALME DE PROTECCIÓN EPAWFO	2
7	CONEXIÓN A TIERRA	1

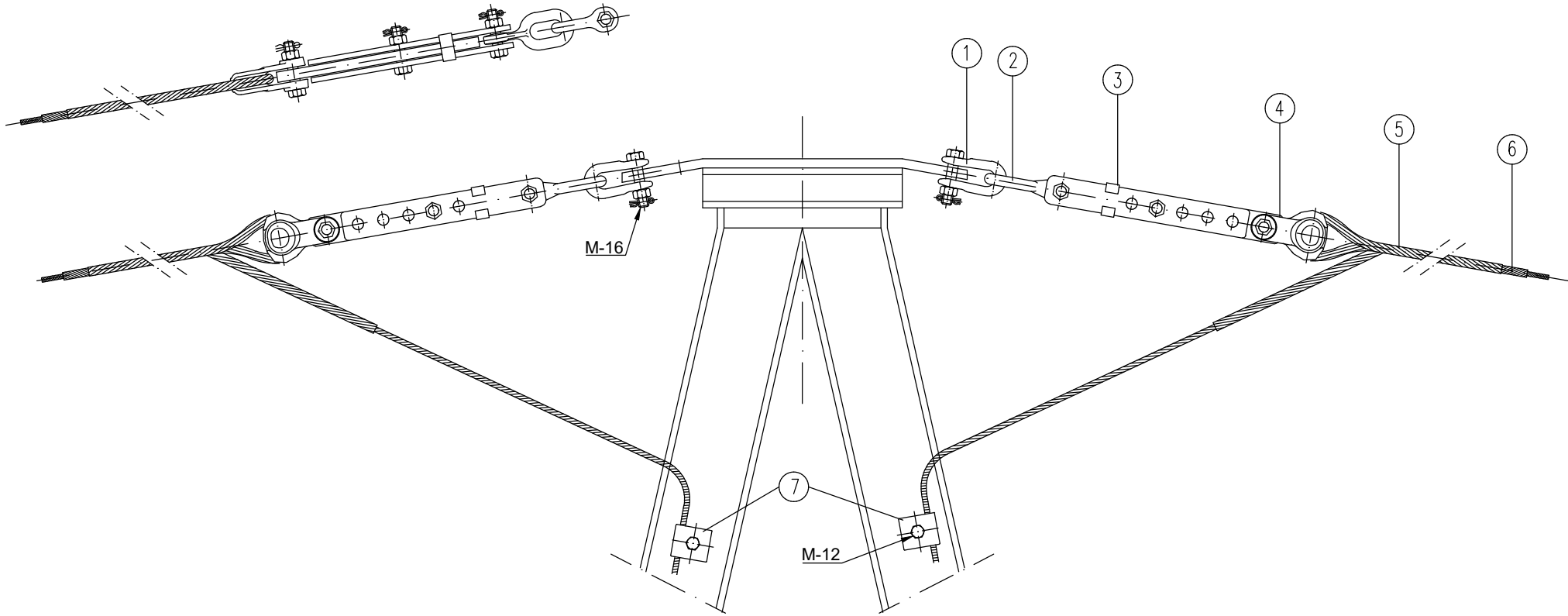
NOTAS:

- 1.– TODOS LOS HERRAJES DE LA CADENA SERAN SUMINISTRADOS POR EL MISMO FABRICANTE PARA EVITAR PROBLEMAS DE ACOPLAMIENTO.
- 2.– EL DIAMETRO DEL OPGW 96F es 16,4mm.

Ingeniera Industrial y del ICAI								osprel	ESCALA:	S/E	SITUACIÓN:				PROYECTO DE EJECUCIÓN			
									TAMAÑO:	A3	TÍTULO DEL PLANO:					CONJUNTO PARA FIBRA ÓPTICA DE AMARRE PASANTE		
									PROMOTOR:				TÍTULO DEL PROYECTO:		LAT 220 kV SET Corrales - SET Promotores Olite		Nº HOJA	Rev.
	01	Febrero 2022	IEG	DMM	IEG	MIBG		1 de 3	R1									
	Dña. M. Inmaculada Blázquez García Colegiada N° 3694/2924	Rev.	Fecha	Proyectado	Dibujado	Comprobado		Aprobado								NÚMERO DEL PLANO:		BIO-006.003.22_0-1009

Ø OPGW	RETENCIÓN PREFORMADA (REFERENCIA)	Ø CABLE (mm)		Ø VARILLAS (mm)	LONGITUD (mm)	C.R.N. (daN)	CONEXIÓN A TIERRA
		MIN.	MAX.				
15,60–16,50	RAAWFO–22,5/D	15.60	16.50	4.12	1380	12.000	GCSAL–14/18
	EPAWFO–16/I/2600			3.26	2600		

NOTA: C.R.N. DEL PREFORMADO



NOTAS:
1. CARGA DE ROTURA DE LOS HERRAJES: 12.500 daN

POSICIÓN	DENOMINACIÓN	CANT.
1	GRILLETE RECTO GN–16T	2
2	ESLABÓN REVIRADO ESR–16	2
3	TENSOR DE CORREDERA T–1	2
4	GUARDACABOS G–16	2
5	RETENCIÓN PREFORMADA RAAWFO	2
6	EMPALME DE PROTECCIÓN EPAWFO	2
7	CONEXIÓN A TIERRA	2

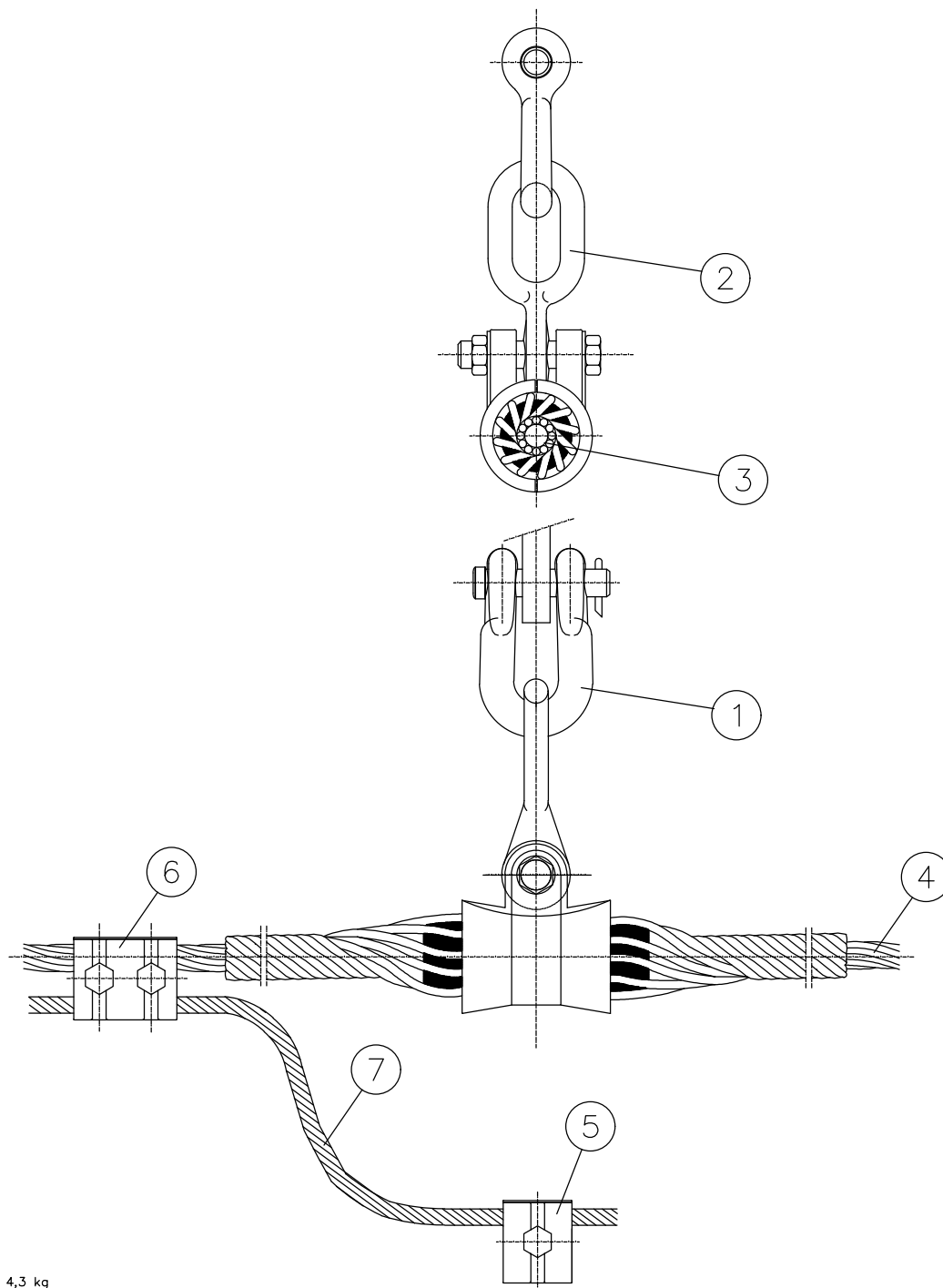
NOTAS:

- 1.– TODOS LOS HERRAJES DE LA CADENA SERAN SUMINISTRADOS POR EL MISMO FABRICANTE PARA EVITAR PROBLEMAS DE ACOPLAMIENTO.
- 2.– EL DIAMETRO DEL OPGW 96F es 16,4mm.

Ingeniera Industrial y del ICAI							ospräl	ESCALA:	S/E	SITUACIÓN:			PROYECTO DE EJECUCIÓN		
								TAMAÑO:	A3	TÍTULO DEL PLANO:			CONJUNTO PARA FIBRA ÓPTICA DE AMARRE BAJANTE		
								PROMOTOR:			TÍTULO DEL PROYECTO:			Nº HOJA	Rev.
								capital energy			LAT 220 kV SET Corrales - SET Promotores Olite			2 de 3	R1
														NÚMERO DEL PLANO:	

Dña. M. Inmaculada Blázquez García Colegiada Nº 3694/2924	01	Febrero 2022	IEG	DMM	IEG	MIBG
	Rev.	Fecha	Proyectado	Dibujado	Comprobado	Aprobado

BIO-006.003.22_0-1009	



PESO APROXIMADO: 4,3 kg
CARGA ROTURA DE LOS HERRAJES: 12.500 daN
CARGA ROTURA DE LA GRAPA: 6.000 daN

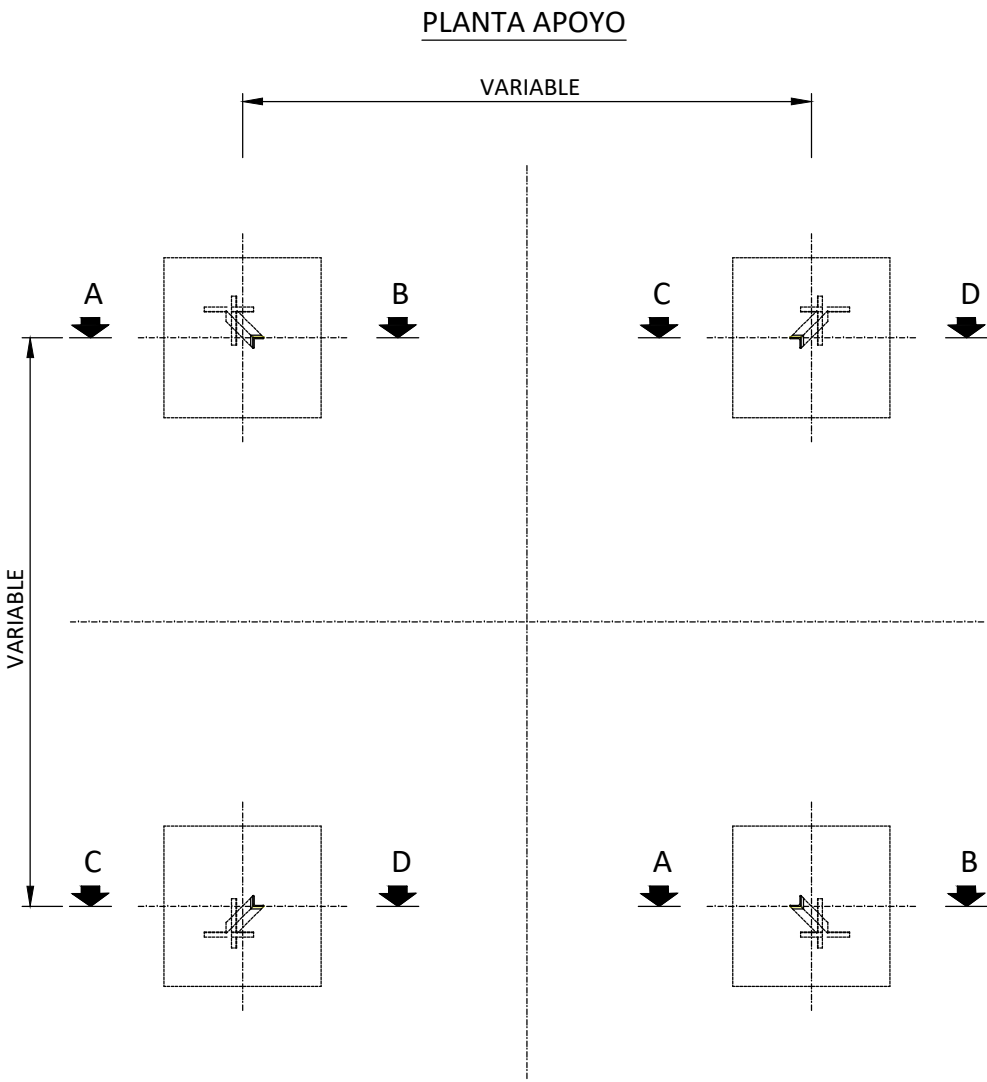
POS.	CODIGO	DENOMINACION	CANT.
1		GRILLETE NORMAL RECTO GN-16 UNESA	1
2		ESLABON REVIRADO ER-16	1
3		GRAPA GSA PARA CABLE F.O. 14,0/18,0 mm	1
4		CABLE DE FIBRA OPTICA OPGW 96 F	-
5		GRAPA CONEXION SENCILLA PARA CABLE ALUMINIO	1
6		GRAPA CONEXION UNIVERSAL PARALERA CABLE ALUMINIO	1
7		CABLE AL-AC LA-56	1 m

NOTAS:

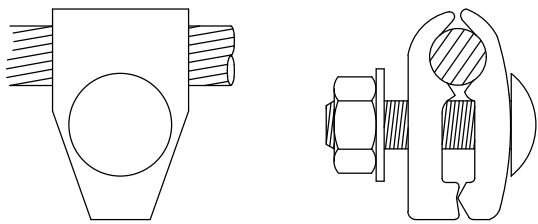
- 1.- TODOS LOS HERRAJES Y LA GRAPA DE LA CADENA SERAN SUMINISTRADOS POR EL MISMO FABRICANTE PARA EVITAR PROBLEMAS DE ACOPLAMIENTO.
2.- EL DIAMETRO DEL OPGW 96F es 16,4mm.

				01	Febrero 2022	IEG	DMM	IEG	MIBG	
				Rev.	Fecha	Proyectado	Dibujado	Comprobado	Aprobado	
Ingeniera Industrial y del ICAI		ESCALA:	S/E	SITUACIÓN:						
		TAMAÑO:	A4	TÍTULO DEL PLANO:						
	Dña. M. Inmaculada Blázquez García Colegiada Nº 3694/2924		PROMOTOR:	TÍTULO DEL PROYECTO:					Nº HOJA	Rev.
			LAT 220 kV SET Corrales - SET Promotores Olite					3 de 3	R1	
							NÚMERO DEL PLANO:			
							BIO-006.003.22_0-1009			

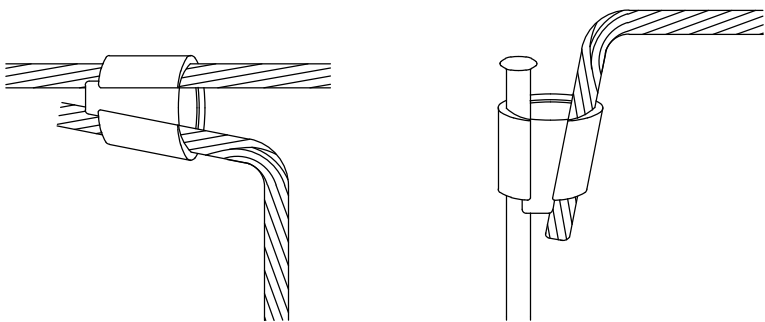
CIMENTACIÓN FRACCIONADA ZONAS NO TRANSITADAS



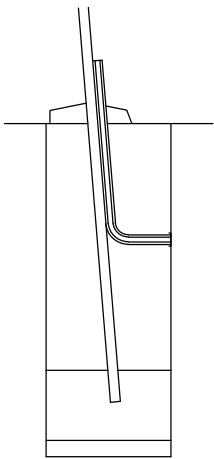
GRAPA CONEXIÓN CABLE DE TIERRA A APOYO



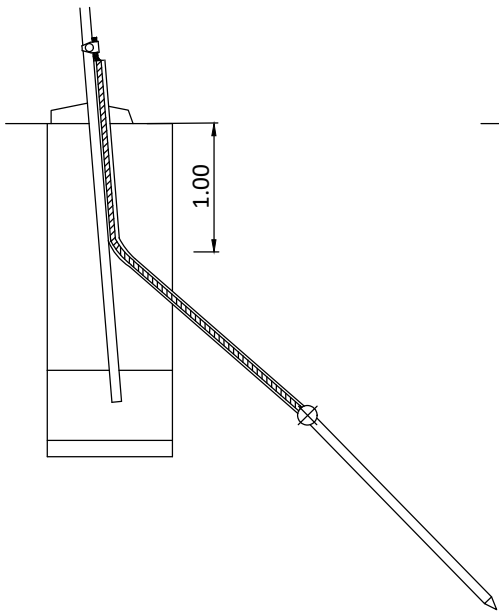
CONECTORES AMPACT PARA ENLACES
Cu/Cu Y Cu/PICA EN PUESTA A TIERRA



SECCIÓN C - D

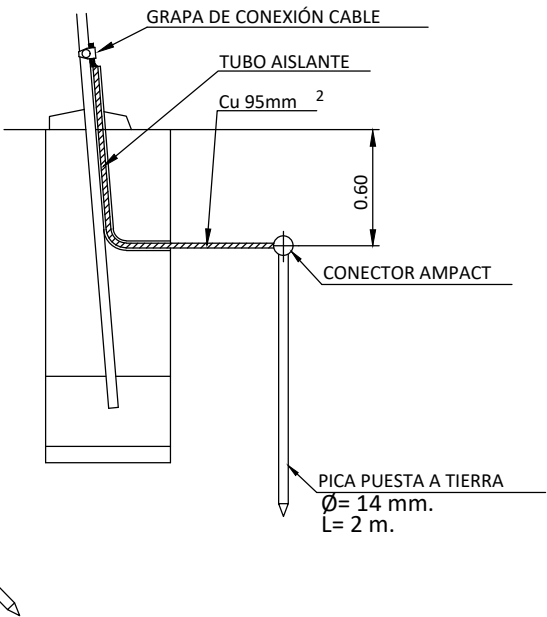


TIPO 1

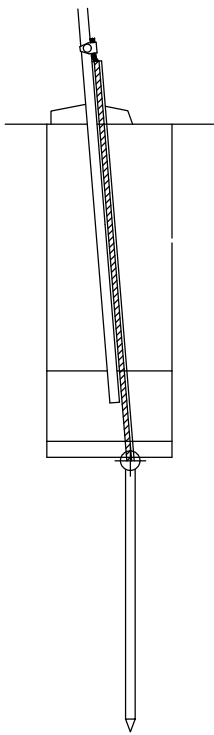


SECCIÓN A - B

TIPO 2



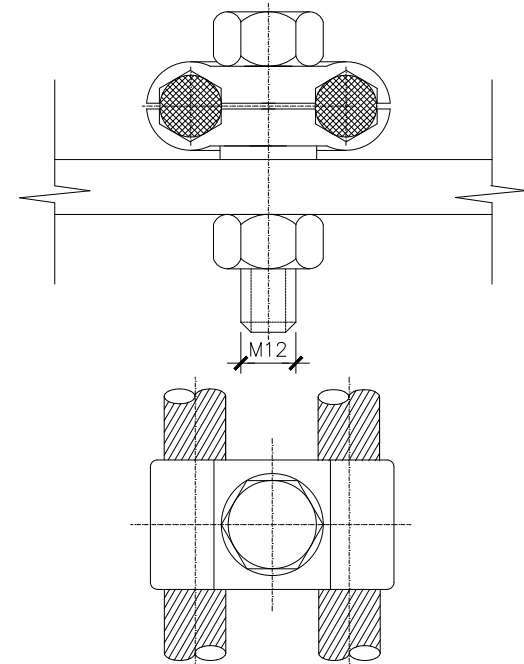
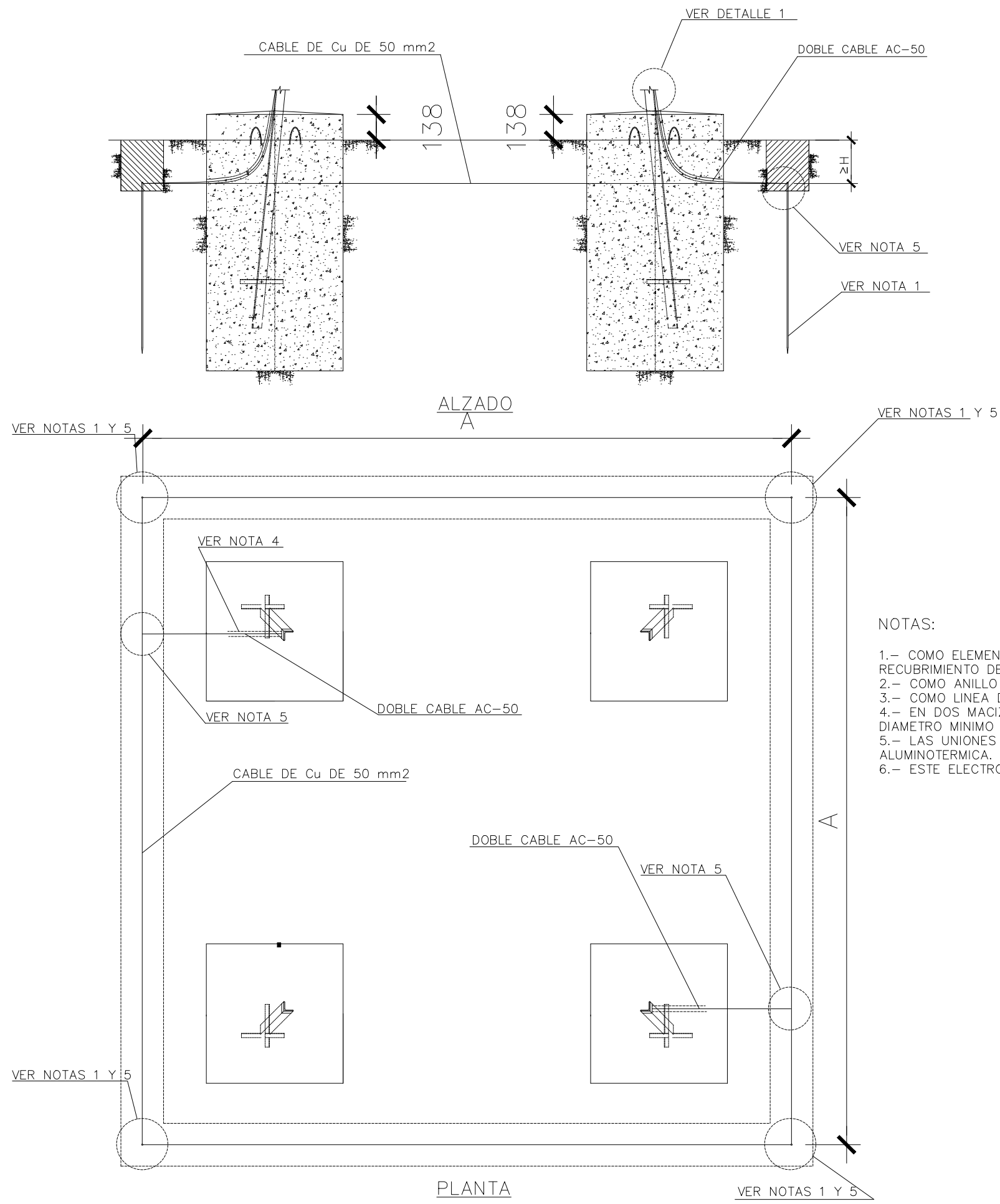
TIPO 3



NOTA:

Las Puestas a Tierra de los Apoyos cumplirán lo establecido en el Apartado 7 de la ITC-LAT-07 del Reglamento de Líneas de Alta Tensión

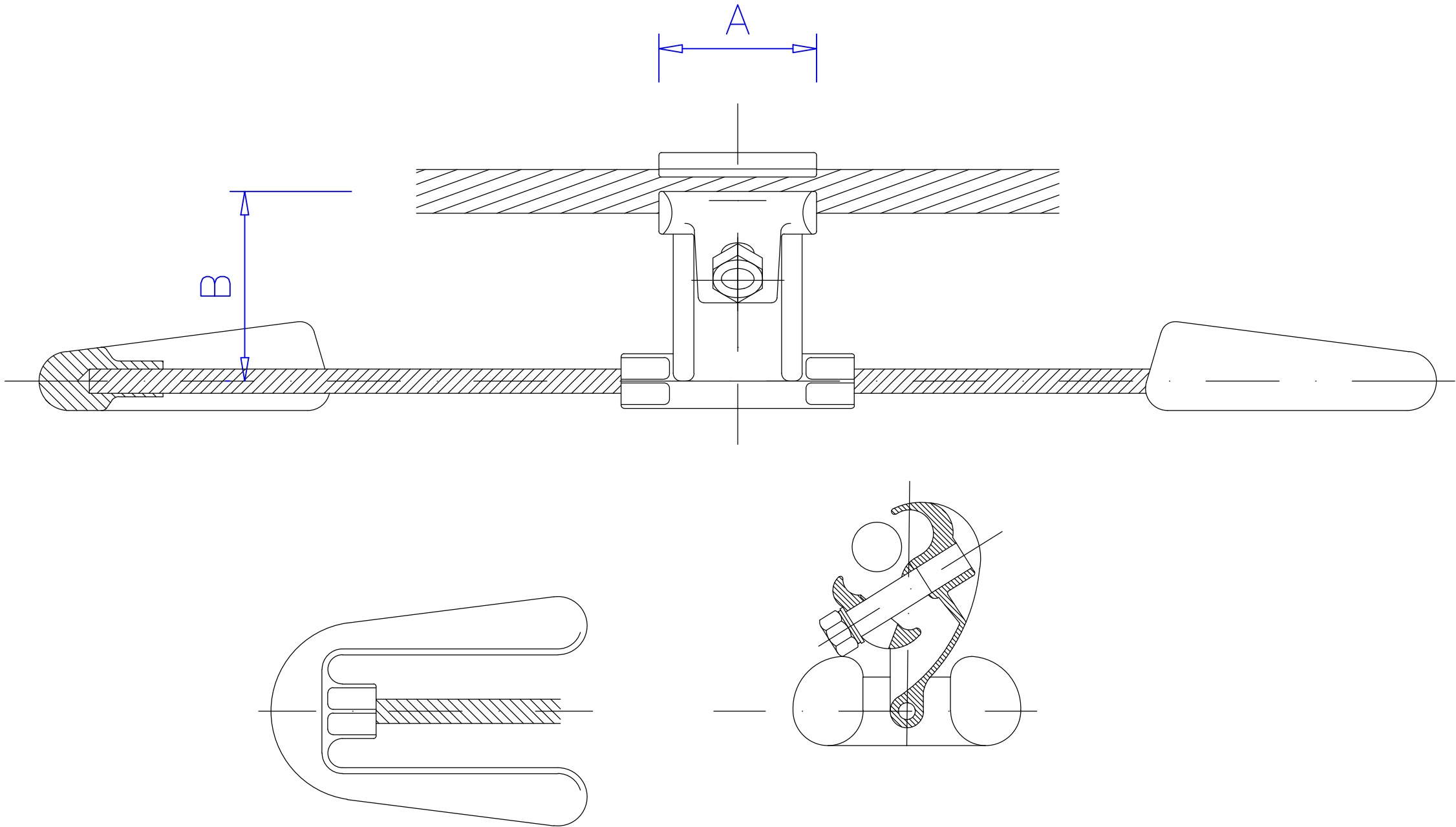
				01	Febrero 2022	IEG	DMM	IEG	MIBG	
				Rev.	Fecha	Proyectado	Dibujado	Comprobado	Aprobado	
Ingeniera Industrial y del ICAI		ESCALA:	S/E			SITUACIÓN: PROYECTO DE EJECUCIÓN				
		TAMAÑO:	A4			TÍTULO DEL PLANO: Puesta a Tierra CUATRO MACIZOS CON PICAS				
	Dña. M. Inmaculada Blázquez García Colegiada Nº 3694/2924	PROMOTOR: 	TÍTULO DEL PROYECTO: LAT 220 kV SET Corrales - SET Promotores Olite					Nº HOJA 1 de 1	Rev. R1	
								NÚMERO DEL PLANO: BIO-006.003.22_0-1010		



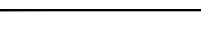
DETALLE 1
SIN ESCALA

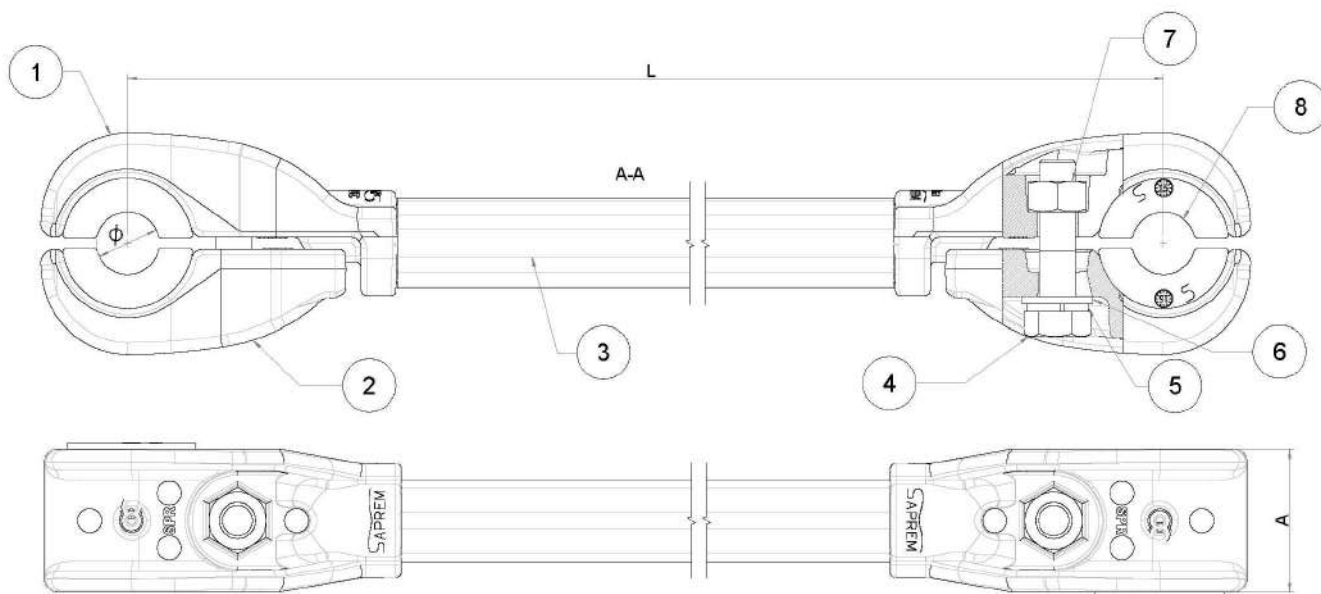
NIVEL DE TENSIÓN (kV)	DIMENSIONES DEL ANILLO A x A (mm)	PROFUNDIDAD DEL ANILLO H (mm) (VER NOTA 6)
45	10900 X 10900	≥ 500
66	10900 X 10900	≥ 800
132	10900 X 10900	≥ 800
220	15200 X 15200	≥ 500

- NOTAS:
- 1.- COMO ELEMENTOS DE DIFUSION VERTICAL SE EMPLEARAN PICAS CON ALMA DE ACERO Y RECUBRIMIENTO DE COBRE DE 2 m DE LONGITUD.
 - 2.- COMO ANILLO DIFUSOR SE EMPLEARA CABLE DE COBRE DESNUDO DE 50 mm2.
 - 3.- COMO LINEA DE TIERRA SE EMPLEARA DOBLE CABLE DE ACERO GALVANIZADO AC-50.
 - 4.- EN DOS MACIZOS IRAN EMBEBIDOS DOS TUBOS CORRUGADOS DE POLIETILENO DE DIAMETRO MINIMO 36 mm.
 - 5.- LAS UNIONES PICA-ANILLO Y LINEA DE TIERRA-ANILLO SE HARAN MEDIANTE SOLDADURA ALUMINOTERMICA.
 - 6.- ESTE ELECTRODO ES VALIDO PARA RESISTIVIDADES DEL TERRENO HASTA 200 Ω.m



TIPO CONDUCTOR	REFERENCIA	DIÁMETRO DEL CONDUCTOR (mm)		A (mm)	B (mm)	TORNILLO		PESO (kg)		
		MÍNIMO	MÁXIMO			TAM AÑO	PAR DE APRIETE (kg-m)	CONTRAPESOS	AMORTIGUADOR	
LA-56	AMG-050913	8	13	53	55	M-10	4-4,5	A	B	
OPGW 48F	AMG-050920	13	20	55	63	M-10	3-3,5	0,5	0,9	1,8

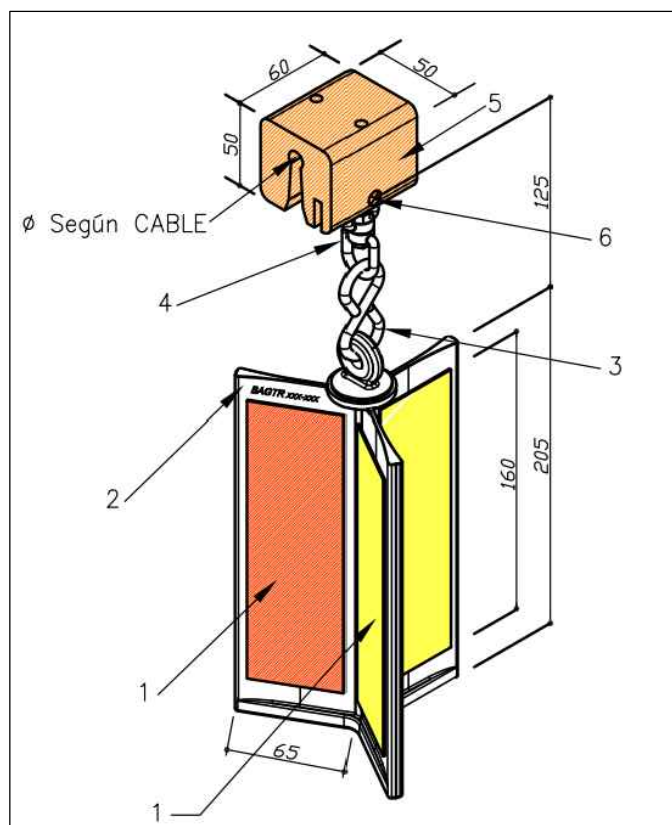
Ingeniera Industrial y del ICAI								ospräl	ESCALA:	S/E	SITUACIÓN: PROYECTO DE EJECUCIÓN				
									TAMAÑO:	A3	TÍTULO DEL PLANO: AMORTIGUADORES				
								PROMOTOR:	 LAT 220 kV SET Corrales - SET Promotores Olite				Nº HOJA		Rev.
	01	Febrero 2022	IEG	DMM	IEG	MIBG							1 de 1	R1	
	Rev.	Fecha	Proyectado	Dibujado	Comprobado	Aprobado							NÚMERO DEL PLANO: BIO-006.003.22_0-1011		



Referencia	Ø Conductor		Longitud	Peso
	Min.	Max.		
SP-1 / 29-32 / 330	29	32	330	1,245
SP-1 / 29-32 / 400	29	32	400	1,345
SP-1 / 29-32 / 450	29	32	450	1,445

				01	Febrero 2022	IEG	DMM	IEG	MIBG
				Rev.	Fecha	Proyectado	Dibujado	Comprobado	Aprobado

Ingeniera Industrial y del ICAI		ESCALA:	S/E	SITUACIÓN:				PROYECTO DE EJECUCIÓN			
		TAMAÑO:	A4	TÍTULO DEL PLANO:				SEPARADORES			
	PROMOTOR:			TÍTULO DEL PROYECTO:				LAT 220 kV SET Corrales - SET Promotores Olite			
	Dña. M. Inmaculada Blázquez García Colegiada Nº 3694/2924				Nº HOJA 1 de 1				Rev. R1		
						NÚMERO DEL PLANO: BIO-006.003.22_0-1011					



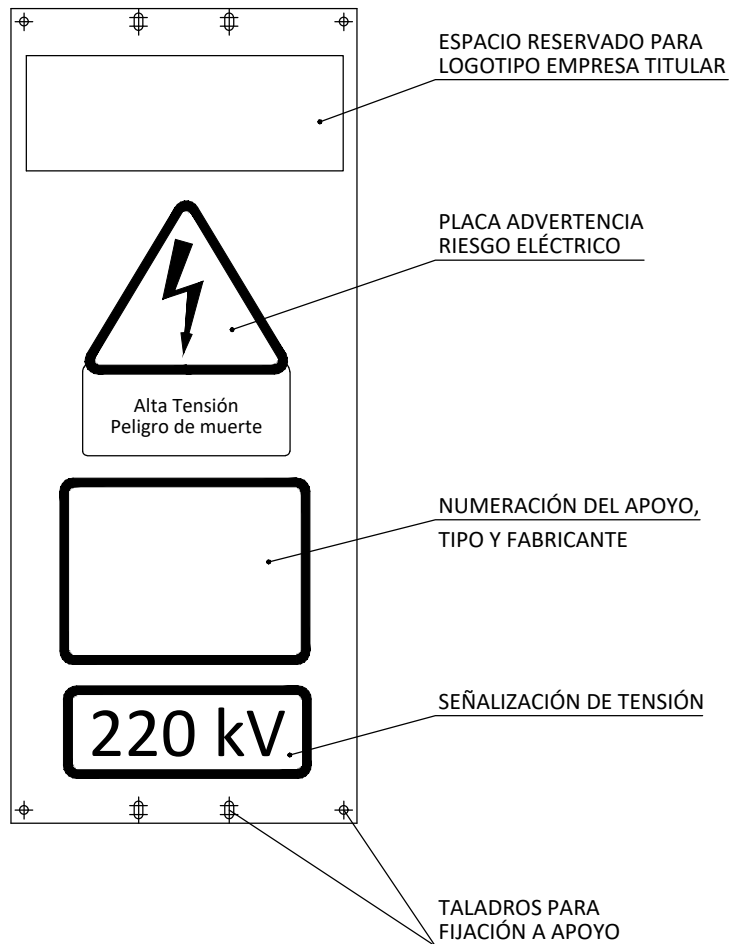
NOTAS:

- SU INSTALACIÓN VENDRÁ INDICADA EN EL ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL

REFERENCIA	Ø CABLE/CONDUCTOR
BAGTR 159-164	15,90-16,40 mm

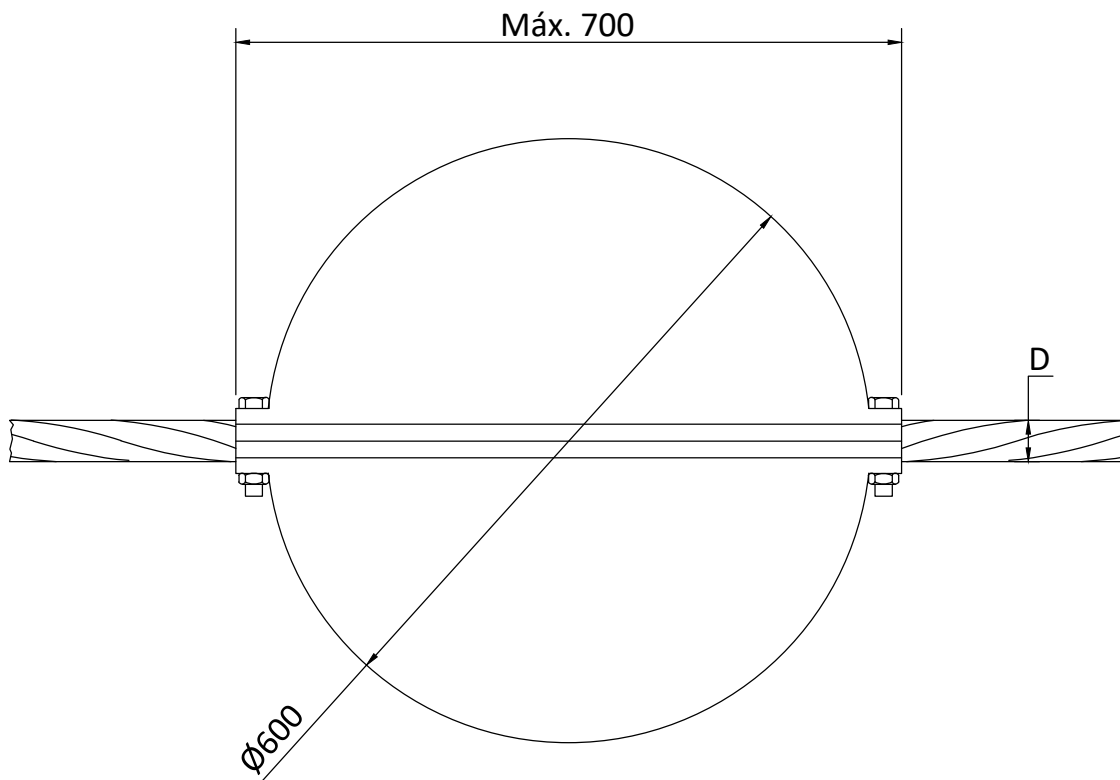
6	1	TORNILLO FIJACIÓN	AC. INOX. AISI-316
5	1	TACO ELASOMERO	POLIURETANO
4	1	GIRATORIO Ø 6/8mm.	AC. INOX. AISI-316
3	1	ESLABON DOBLE "S" Ø8mm.	AC. INOX. AISI-316
2	1	ASPA (COLOR NARANJA RAL-2004)	POLIAMIDA
1	3+3	REFLECTANTE ROJO Y AMARILLO	50x160mm.
POS.	CTD.	DENOMINACION	MATERIAL

				01	Febrero 2022	IEG	DMM	IEG	MIBG
				Rev.	Fecha	Proyectado	Dibujado	Comprobado	Aprobado
Ingeniera Industrial y del ICAI	osprei	ESCALA:	S/E	SITUACIÓN:					
		TAMAÑO:	A4	TÍTULO DEL PLANO:					
					Salvapájaros BAGTR				
Dña. M. Inmaculada Blázquez García Colegiada Nº 3694/2924	capital energy	PROMOTOR:		TÍTULO DEL PROYECTO:				Nº HOJA	Rev.
				LAT 220 kV SET Corrales - SET Promotores Olite				3 de 3	R1
								NÚMERO DEL PLANO: BIO-006.003.22_0-1009	



MATERIAL : CHAPA DE ACERO GALVANIZADO DE 1 mm DE ESPESOR
CON RECUBRIMIENTO MÍNIMO DE CINCO DE 271 g/m²

				01	Febrero 2022	IEG	DMM	IEG	MIBG							
				Rev.	Fecha	Proyectado	Dibujado	Comprobado	Aprobado							
Ingeniera Industrial y del ICAI		ESCALA:	S/E			SITUACIÓN:					PROYECTO DE EJECUCIÓN					
		TAMAÑO:	A4			TÍTULO DEL PLANO:					PLACA DE SEÑALIZACIÓN					
	Dña. M. Inmaculada Blázquez García Colegiada Nº 3694/2924		PROMOTOR:	TÍTULO DEL PROYECTO:										Nº HOJA		Rev.
			LAT 220 kV SET Corrales - SET Promotores Olite										1 de 1		R1	
													NÚMERO DEL PLANO:			
													BIO-006.003.22_0-1011			



MATERIAL:

ELEMENTO DE CONTACTO AL CABLE -> NEOPRENO
 ELEMENTO DE FIJACIÓN -> ACERO INOXIDABLE A4
 BALIZA -> FIBRA DE VIDRIO, ABS o SIMILAR

NOTAS:

TODOS LOS HERRAJES CON TORNILLO , TUERCA Y PASADOR.
 TODAS LAS PIEZAS DE ACERO, GALVANIZADAS.

HILO DE TIERRA	D (mm)
OPGW TIPO 1 17kA	15,3

Cotas en mm.

01	Febrero 2022	IEG	DMM	IEG	MIBG
Rev.	Fecha	Proyectado	Dibujado	Comprobado	Aprobado

Ingeniera Industrial y del ICAI



ESCALA: S/E

TAMAÑO: A4

SITUACIÓN:

PROYECTO DE EJECUCIÓN

TÍTULO DEL PLANO:

BALIZA AÉREA

PROMOTOR:



TÍTULO DEL PROYECTO:

LAT 220 kV SET Corrales - SET Promotores Olite

Nº HOJA

1 de 1

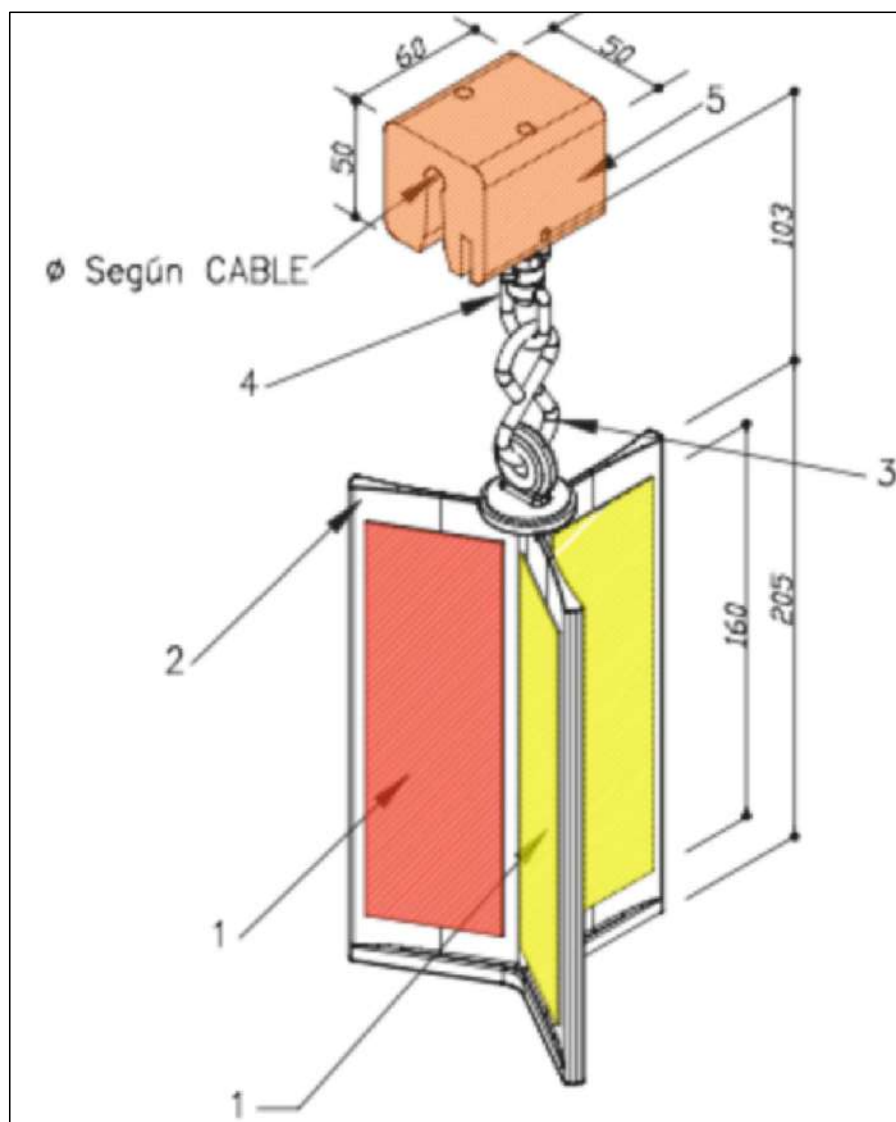
Rev.

R1

NÚMERO DEL PLANO:

BIO-006.003.22_0-1011

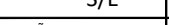
Dña. M. Inmaculada Blázquez García
 Colegiada Nº 3694/2924

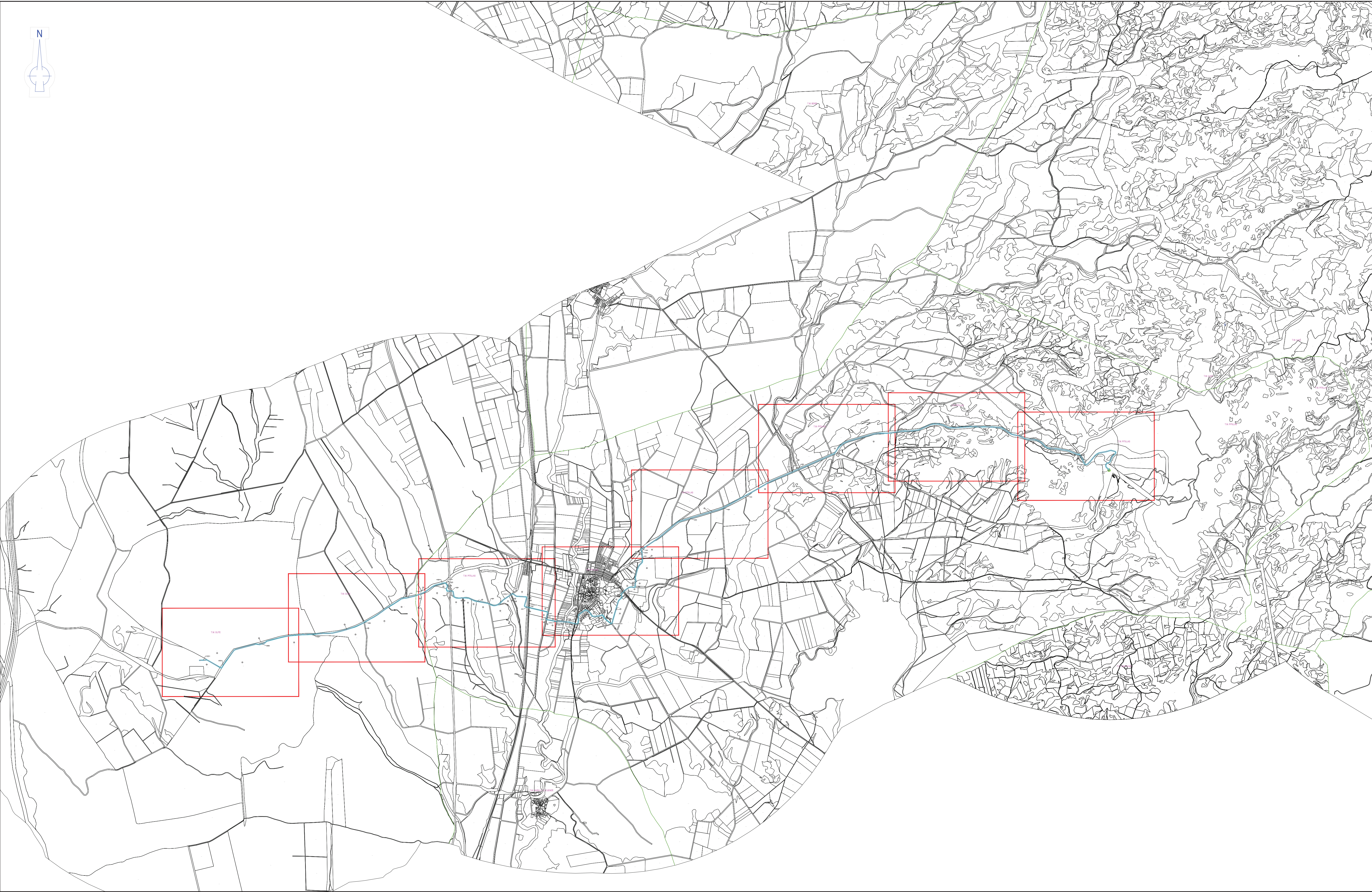


LISTA DE ELEMENTOS

1	REFLECTANTE (ROJO Y AMARILLO)
2	ASPA
3	ESLABÓN DOBLE "S"
4	GIRATORIO
5	TACO ELASTÓMERO DE FIJACIÓN

01	Febrero 2022	IEG	DMM	IEG	MIBG
Rev.	Fecha	Proyectado	Dibujado	Comprobado	Aprobado

Ingeniera Industrial y del ICAI		ESCALA: S/E	SITUACIÓN: PROYECTO DE EJECUCIÓN			
		TAMAÑO: A4	TÍTULO DEL PLANO: CATADIÓPTRICO			
	PROMOTOR:		TÍTULO DEL PROYECTO: LAT 220 kV SET Corrales - SET Promotores Olite			Nº HOJA 1 de 1 Rev. R1
Dña. M. Inmaculada Blázquez García Colegiada N° 3694/2924						NÚMERO DEL PLANO: BIO-006.003.22_0-1011



Ingeniería Industrial y del ICAI

Dña. M. Inmaculada Blázquez García
Colegiada N° 3694/2924

02	Febrero 2022		N.C.G.	S.V.M.	M.I.B.G.
01	Enero 2022		N.C.G.	S.V.M.	M.I.B.G.
00	Enero 2022		N.C.G.	S.V.M.	M.I.B.G.
Rev.	Fecha	Proyectado	Dibujado	Comprobado	Aprobado

LAT 220KV SET CORRALES - SET COLECTORA OLITE

LLAMADAS NUMERACIÓN CRUZAM. Y PARALE.

C-##
CRUZAMIENTO
ORGANISMO AFECTADO

P-##
PARALELISMO
ORGANISMO AFECTADO

REFERENCIAS CATASTRALES:

SUELO RÚSTICO Y URBANO:

LEYENDA TRAZADO:

ZANJA TEMPORAL

ZANJA PERMANENTE

TRAZADO AEREO EN PROYECCION

ZONA DE SEGURIDAD

TRAZADO SUBTERRANEO

LEYENDA ACCESOS:

ACCESO POR CARRETERA

CAMINO PUBLICO EXISTENTE

ACCESO NUEVO A CREAR

ACCESO EXISTENTE A MEJORAR

ACCESO CORTADO

osprel

ESCALA:

1/20.000

capital energy

TÍTULO DEL PLANO:

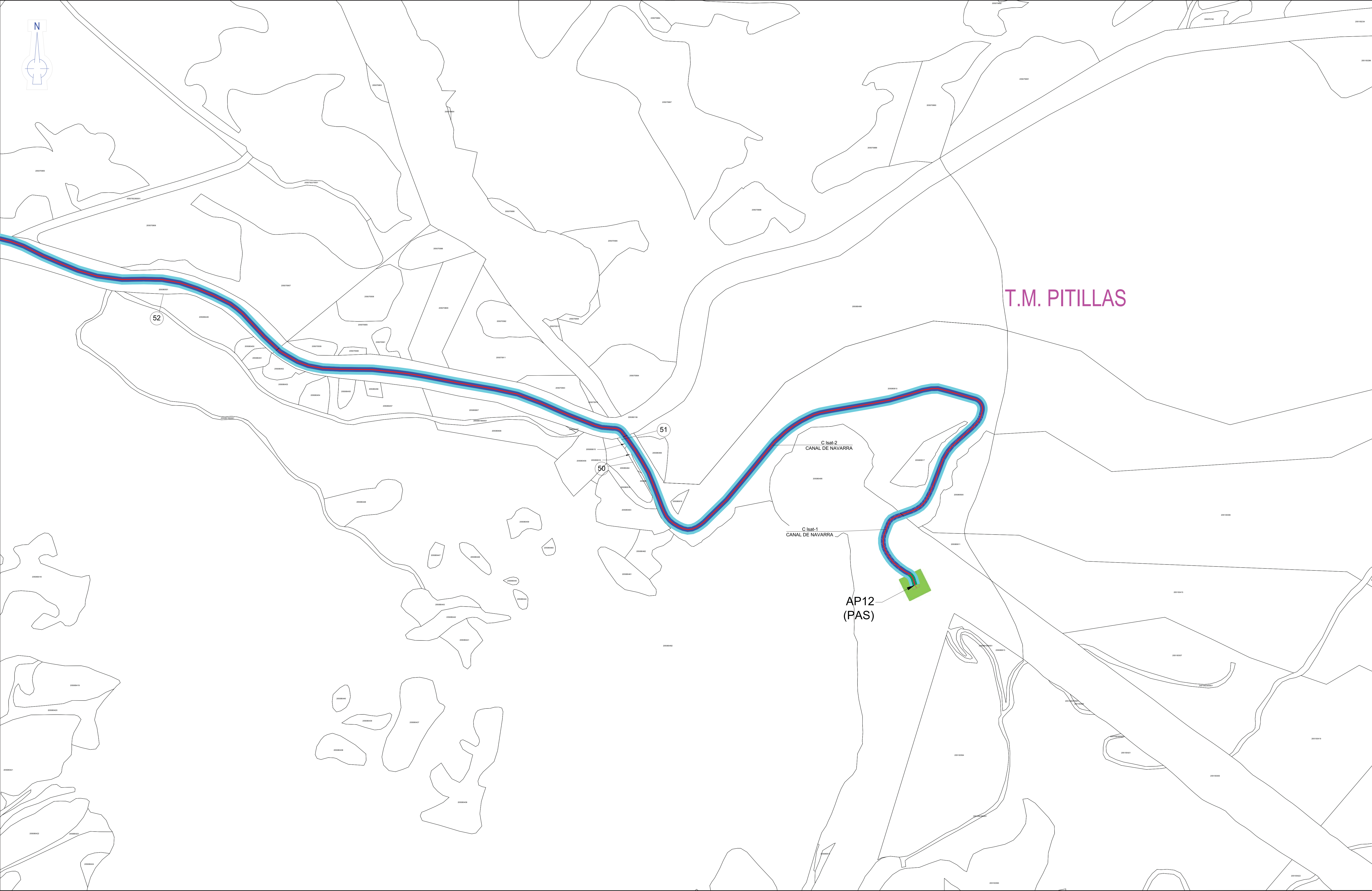
PLANO LLAVE - Trazado General

LAT 220KV SET CORRALES - SET COLECTORA OLITE

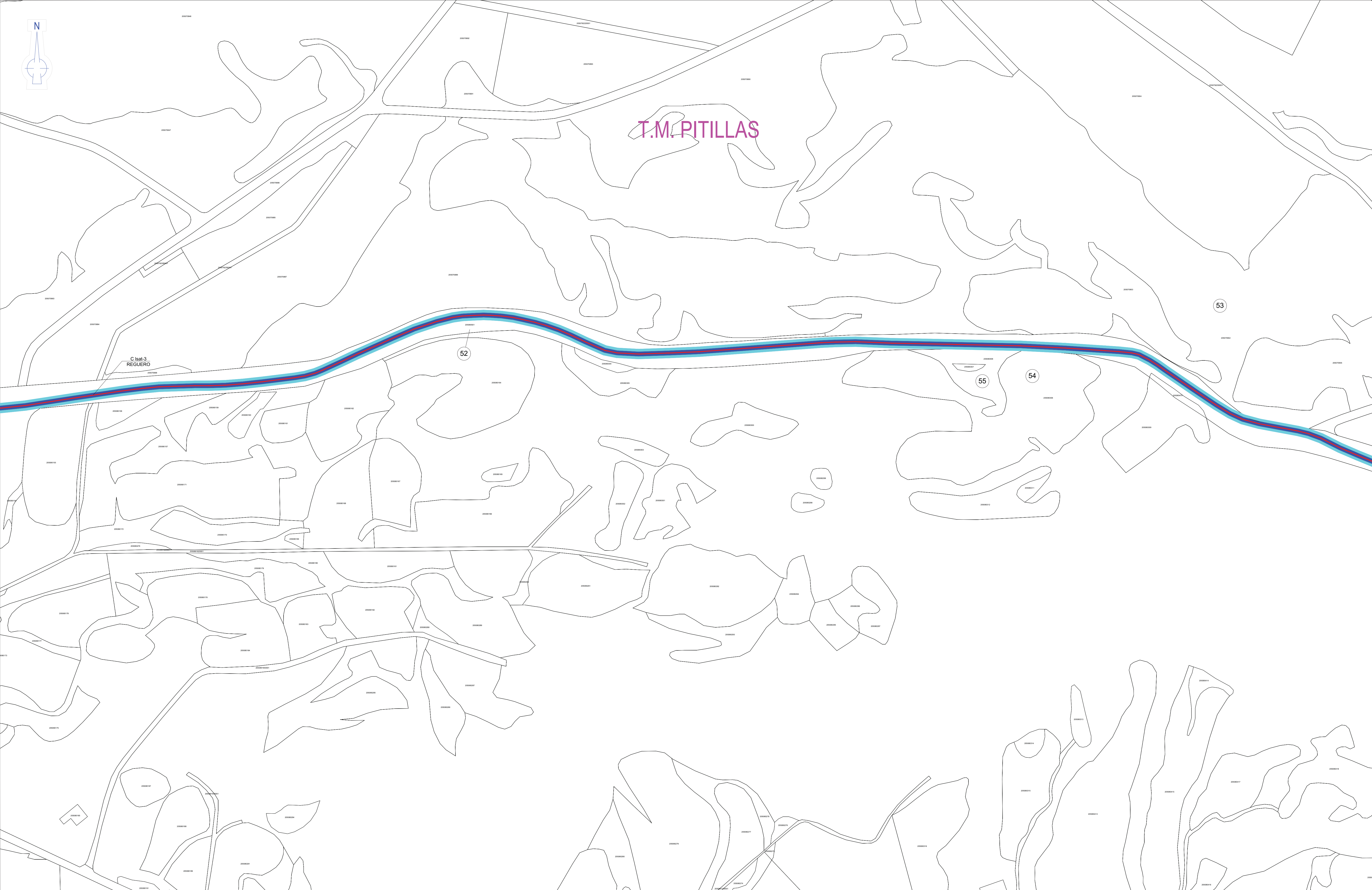
PLANO LLAVE

Rev. 02

BIO-006.003.22_0-1013



Ingeniería Industrial y del ICAI							LAT 220kv SET CORRALES - SET COLECTORA OLITE		LLAMADAS NUMERACIÓN CRUZAM. Y PARALE.	REFERENCIAS CATASTRALES:	LEYENDA TRAZADO:	LEYENDA ACCESOS:	osprel	ESCALA: 1/2.000	TÍTULO DEL PLANO:		
															Trazado General		
	02	Febrero 2022		N.C.G.	S.V.M.	M.I.B.G.									LAT 220kv SET CORRALES - SET COLECTORA OLITE	1 DE 8	Rev. 02
	01	Enero 2022		N.C.G.	S.V.M.	M.I.B.G.											
	00	Enero 2022		N.C.G.	S.V.M.	M.I.B.G.											
Rev.	Fecha	Proyectado	Dibujado	Comprobado	Aprobado	BIO-006.003.22_0-1013											



Ingeniería Industrial y del ICAI

Dña. M. Inmaculada Blázquez García

Colegiada N° 3694/2924

02	Febrero 2022		N.C.G.	S.V.M.	M.I.B.G.
01	Enero 2022		N.C.G.	S.V.M.	M.I.B.G.
00	Enero 2022		N.C.G.	S.V.M.	M.I.B.G.
Rev.	Fecha	Proyectado	Dibujado	Comprobado	Aprobado

N

LAT 220KV SET CORRALES - SET COLECTORA OLITE

Hoja 2

C-##

CRUZAMIENTO

ORGANISMO AFECTADO

P-##

PARALELISMO

ORGANISMO AFECTADO

SUELO RÚSTICO Y URBANO:

M.M.M. (P.P.P. (P.M.M.))

M.M.M. (P.P.P. (P.M.M.))

M.M.M. (P.P.P. (P.M.M.))

LEYENDA TRAZADO:

ZANJA TEMPORAL

ZANJA PERMANENTE

TRAZADO AEREO EN PROTECCION

ZONA DE SEGURIDAD

TRAZADO SUBTERRANEO

LEYENDA ACCESOS:

ACCESO POR CARRETERA

CAMINO PUBLICO EXISTENTE

ACCESO NUEVO A CREAR

ACCESO EXISTENTE A MEJORAR

ACCESO CORTADO

osprel

ESCALA:

1/2.000

capital energy

TÍTULO DEL PLANO:

Trazado General

LAT 220kV SET CORRALES - SET COLECTORA OLITE

2 DE 8

Rev. 02

BIO-006.003.22_0-1003



Ingeniería Industrial y del ICAI

Dña. M. Inmaculada Blázquez García
Colegiada N° 3694/2924

02	Febrero 2022		N.C.G.	S.V.M.	M.I.B.G.
01	Enero 2022		N.C.G.	S.V.M.	M.I.B.G.
00	Enero 2022		N.C.G.	S.V.M.	M.I.B.G.
Rev.	Fecha	Proyectado	Dibujado	Comprobado	Aprobado

N

C-##

CRUZAMIENTO

ORGANISMO AFECTADO

P-##

PARALELISMO

ORGANISMO AFECTADO

LLAMADAS NUMERACIÓN CRUZAM. Y PARALEL.

REFERENCIAS CATASTRALES:

SUELO RÚSTICO Y URBANO:

LEYENDA TRAZADO:

LEYENDA ACCESOS:

osprel

ESCALA:

1/2.000

capital energy

TÍTULO DEL PLANO:

Trazado General

LAT 220kV SET CORRALES - SET COLECTORA OLITE

3 DE 8

Rev. 02

BIO-006.003.22_0-1003



Ingeniera Industrial y del ICAI

Dña. M. Inmaculada Blázquez García
Colegiada N° 3694/2924

02	Febrero 2022		N.C.G.	S.V.M.	M.I.B.G.
01	Enero 2022		N.C.G.	S.V.M.	M.I.B.G.
00	Enero 2022		N.C.G.	S.V.M.	M.I.B.G.
Rev.	Fecha	Proyectado	Dibujado	Comprobado	Aprobado

LAT 220KV SET CORRALES - SET COLECTORA OLITE

LLAMADAS NUMERACIÓN CRUZAM. Y PARALE.

C-##
CRUZAMIENTO
ORGANISMO AFECTADO

P-##
PARALELISMO
ORGANISMO AFECTADO

REFERENCIAS CATASTRALES:

SUELO RÓSTICO Y URBANO:

LEYENDA TRAZADO:

ZANJA TEMPORAL

ZANJA PERMANENTE

TRAZADO AEREO EN PROYECCION

ZONA DE SEGURIDAD

TRAZADO SUBTERRANEO

LEYENDA ACCESOS:

ACCESO POR CARRETERA

CAMINO PÚBLICO EXISTENTE

ACCESO NUEVO A CREAR

ACCESO EXISTENTE A MEJORAR

ACCESO CORTADO

osprel

ESCALA:
1/2.000

TÍTULO DEL PLANO:

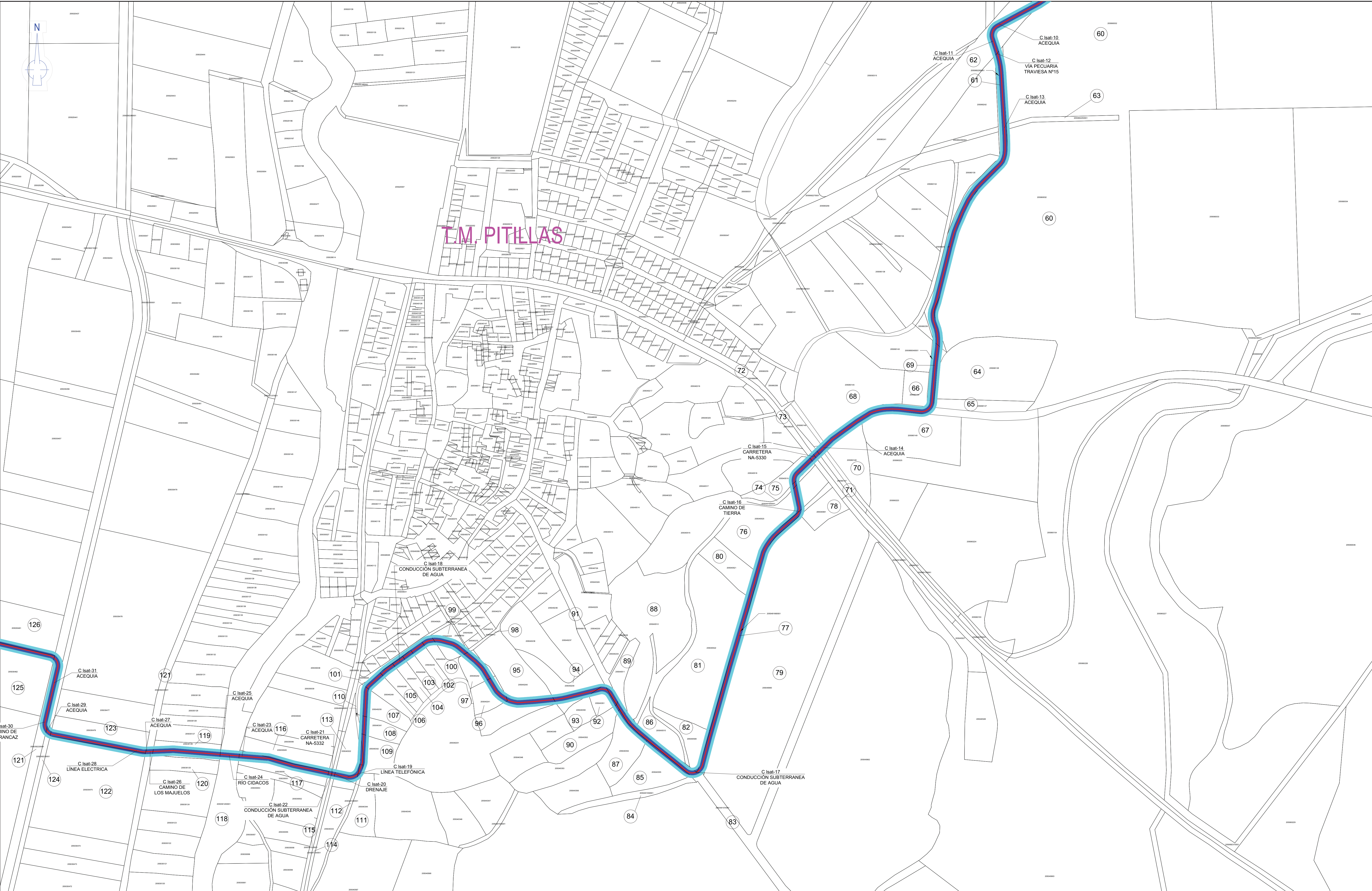
Trazado General

LAT 220KV SET CORRALES - SET COLECTORA OLITE

4 DE 8

Rev.
02

BIO-006.003.22_0-1013



Ingeniería Industrial y del ICAI

Dña. M. Inmaculada Blázquez García

Colegiada N° 3694/2924

02	Febrero 2022		N.C.G.	S.V.M.	M.I.B.G.
01	Enero 2022		N.C.G.	S.V.M.	M.I.B.G.
00	Enero 2022		N.C.G.	S.V.M.	M.I.B.G.
Rev.	Fecha	Proyectado	Dibujado	Comprobado	Aprobado

LAT 220KV SET CORRALES - SET COLECTORA OLITE

LLAMADAS NUMERACIÓN CRUZAM. Y PARALE.

C-##
CRUZAMIENTO
ORGANISMO AFECTADO

P-##
PARALELISMO
ORGANISMO AFECTADO

REFERENCIAS CATASTRALES:

SUELO RÚSTICO Y URBANO:

LEYENDA TRAZADO:

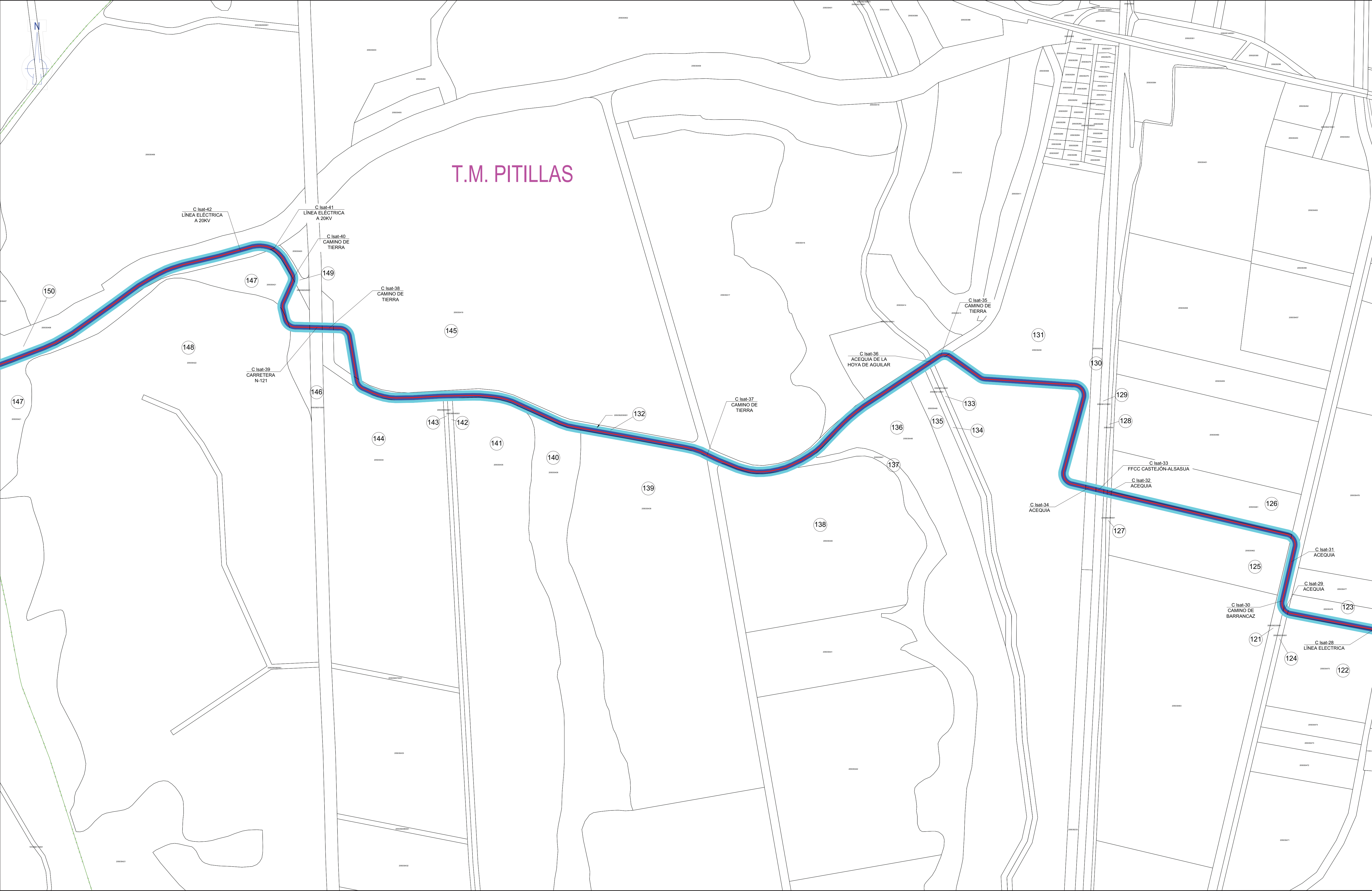
LEYENDA ACCESOS:

osprel

ESCALA:
1/2.000

capital energy

TÍTULO DEL PLANO:		Trazado General	
LAT 220KV SET CORRALES - SET COLECTORA OLITE		5 DE 8	Rev. 02
		BIO-006.003.22_0-1013	



Ingeniería Industrial y del ICAI

Dña. M. Inmaculada Blázquez García

Colegiada N° 3694/2924

02	Febrero 2022		N.C.G.	S.V.M.	M.I.B.G.
01	Enero 2022		N.C.G.	S.V.M.	M.I.B.G.
00	Enero 2022		N.C.G.	S.V.M.	M.I.B.G.
Rev.	Fecha	Proyectado	Dibujado	Comprobado	Aprobado

LAT 220KV SET CORRALES - SET COLECTORA OLITE

LLAMADAS NUMERACIÓN CRUZAM. Y PARALE.

C-##
CRUZAMIENTO
ORGANISMO AFECTADO

P-##
PARALELISMO
ORGANISMO AFECTADO

REFERENCIAS CATASTRALES:

SUELO RÚSTICO Y URBANO:

LEYENDA TRAZADO:

ZANJA TEMPORAL

ZANJA PERMANENTE

TRAZADO AEREO EN PROYECCION

TRAZADO SUBTERRANEO

LEYENDA ACCESOS:

ACCESO POR CARRETERA

CAMINO PÚBLICO EXISTENTE

ACCESO NUEVO A CREAR

ACCESO EXISTENTE A MEJORAR

ACCESO CORTADO

osprel

ESCALA:
1/2.000

TÍTULO DEL PLANO:

Trazado General

LAT 220KV SET CORRALES - SET COLECTORA OLITE

6 DE 8

Rev.
02

BIO-006.003.22_0-1013



Ingeniería Industrial y del ICAI

Dña. M. Inmaculada Blázquez García
Colegiada N° 3694/2924

02	Febrero 2022		N.C.G.	S.V.M.	M.I.B.G.
01	Enero 2022		N.C.G.	S.V.M.	M.I.B.G.
00	Enero 2022		N.C.G.	S.V.M.	M.I.B.G.
Rev.	Fecha	Proyectado	Dibujado	Comprobado	Aprobado

LAT 220KV SET CORRALES - SET COLECTORA OLITE

LLAMADAS NUMERACIÓN CRUZAM. Y PARALE.

C-##
CRUZAMIENTO
ORGANISMO AFECTADO

P-##
PARALELISMO
ORGANISMO AFECTADO

REFERENCIAS CATASTRALES:

SUELO RÚSTICO Y URBANO:

LEYENDA TRAZADO:

ZANJA TEMPORAL

ZANJA PERMANENTE

TRAZADO AEREO EN PROYECCION

ZONA DE SEGURIDAD

TRAZADO SUBTERRANEO

LEYENDA ACCESOS:

ACCESO POR CARRETERA

CAMINO PÚBLICO EXISTENTE

ACCESO NUEVO A CREAR

ACCESO EXISTENTE A MEJORAR

ACCESO CORTADO

osprel

ESCALA:
1/2.000

TÍTULO DEL PLANO:

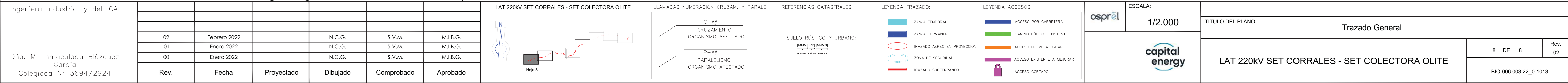
Trazado General

LAT 220kv SET CORRALES - SET COLECTORA OLITE

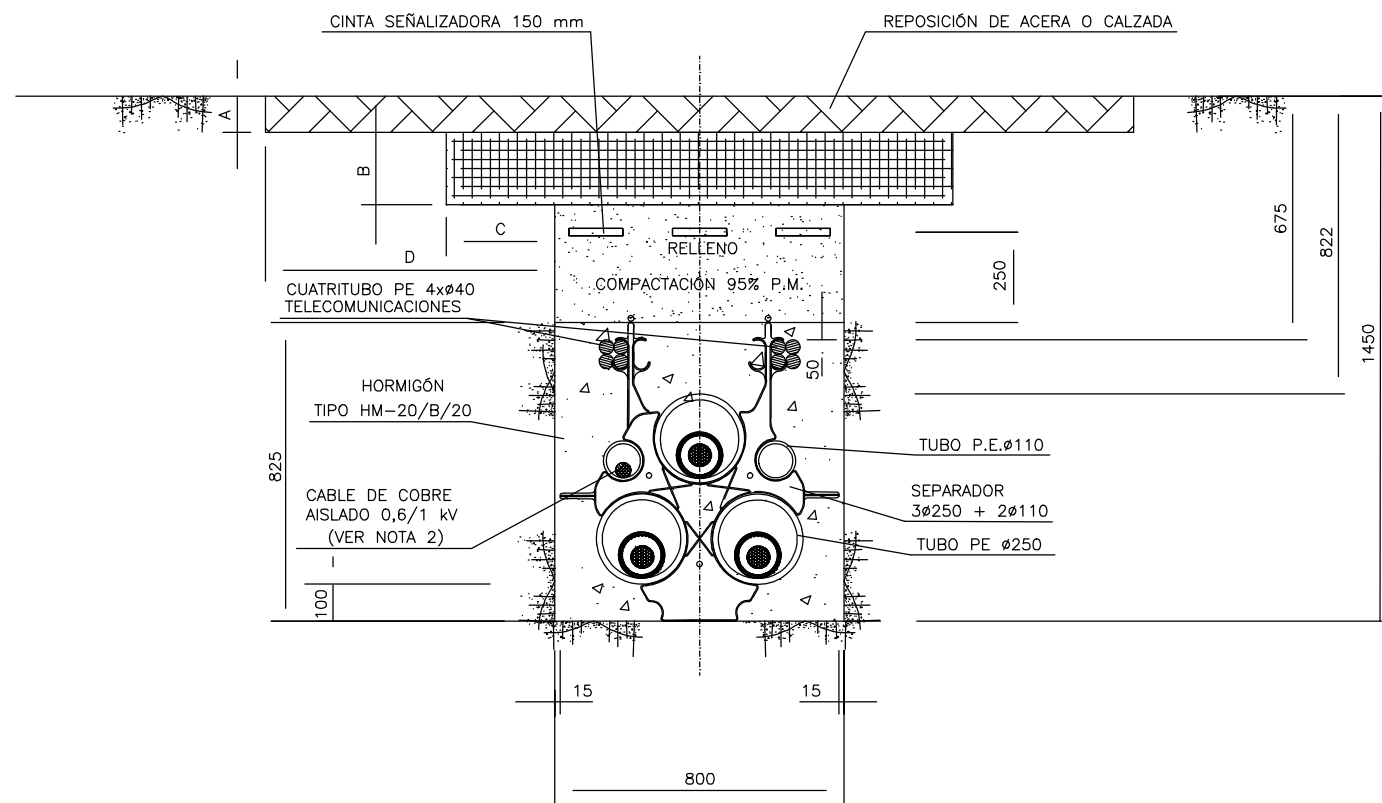
7 DE 8

Rev.
02

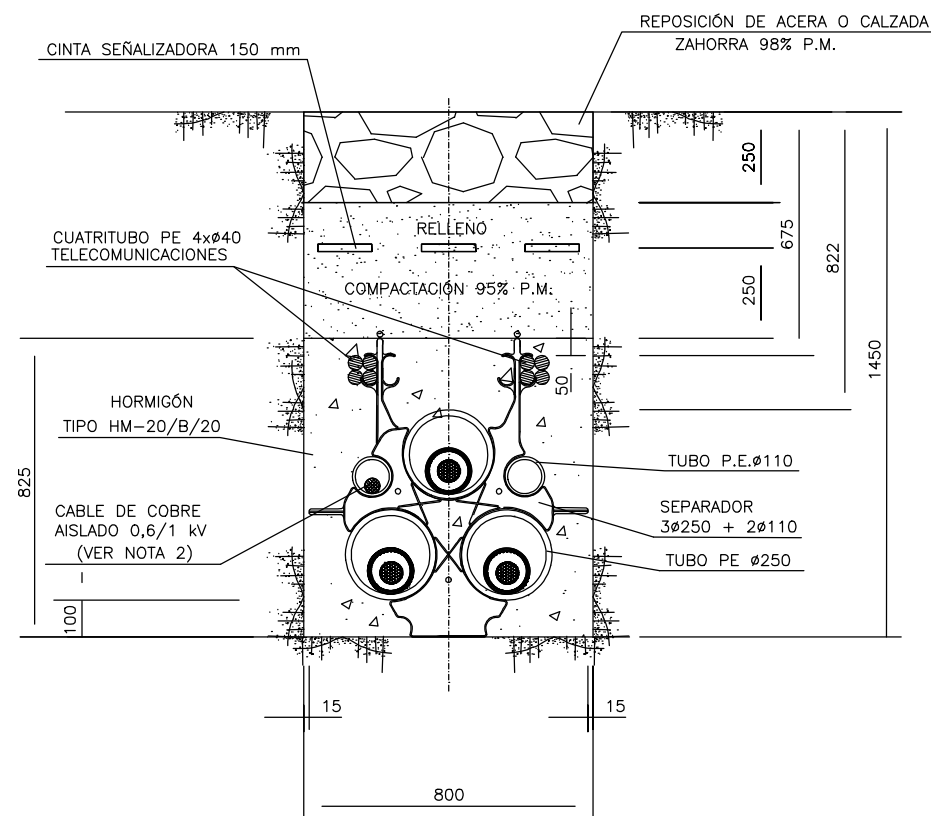
BIO-006.003.22_0-1013



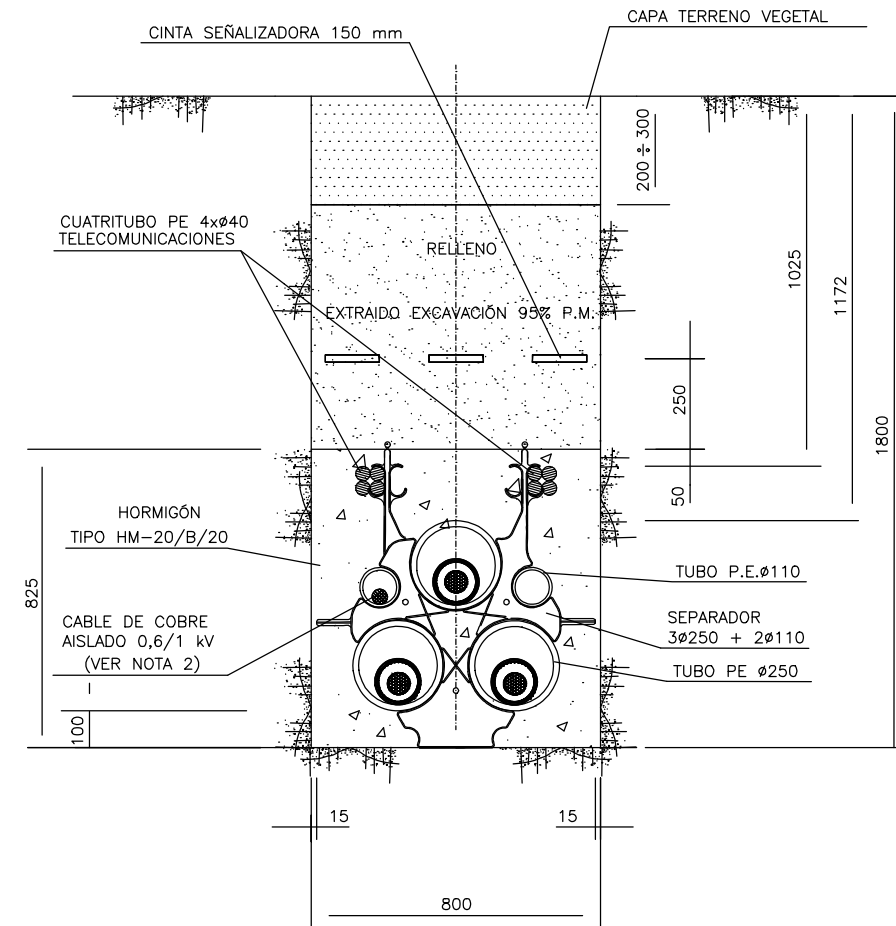
CANALIZACIÓN EN CALZADA Ó ACERA



CANALIZACIÓN EN CAMINO DE TIERRA



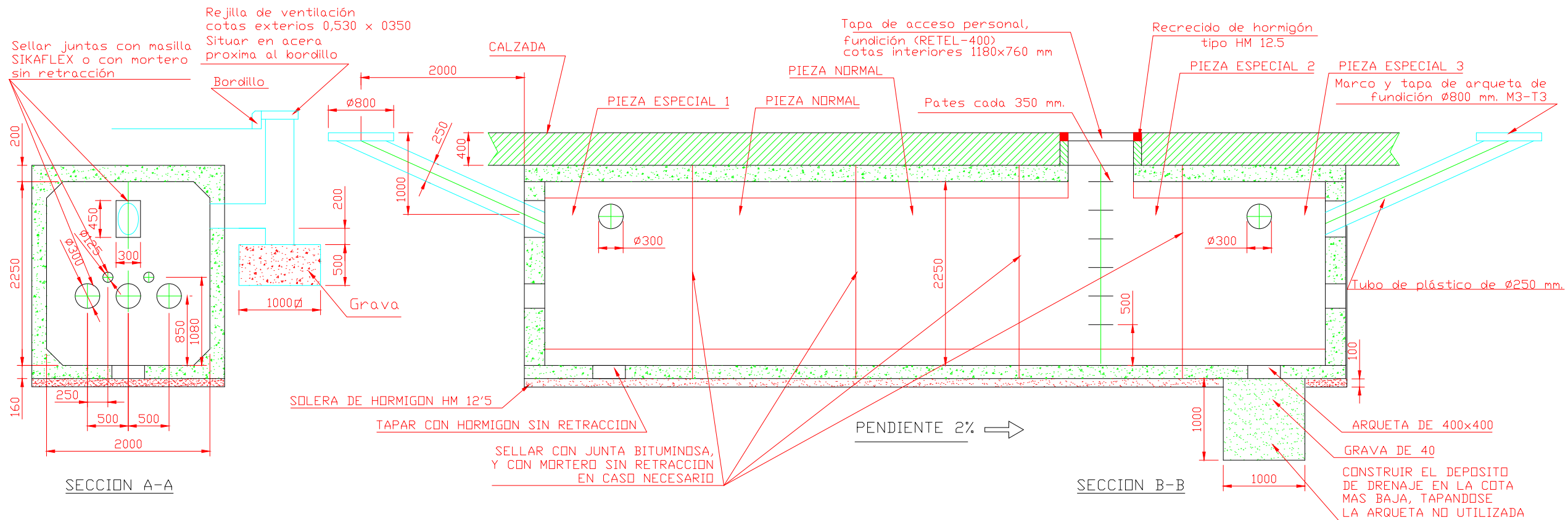
CANALIZACIÓN EN TERRENO DE CULTIVO



NOTAS:

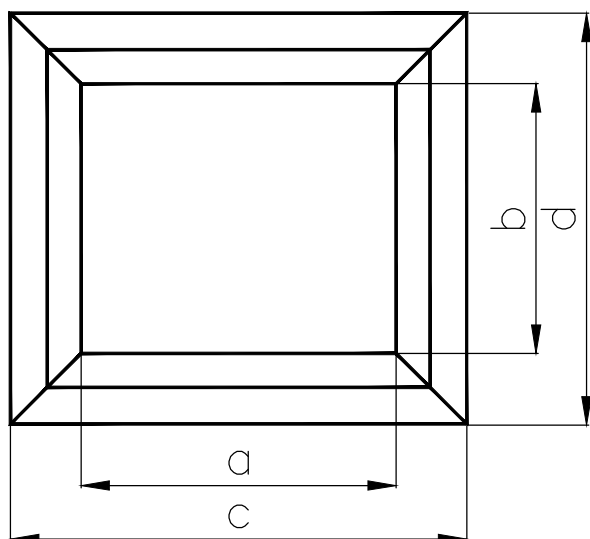
- 1.- La reposición del firme existente en la canalización en calzada o acera se efectuará de acuerdo con disposiciones de los municipios y demás organismos afectados definiéndose las cotas "A", "B", "C" y "D"
- 2.- En el caso de conexión a tierra de las pantallas "Single-Point" se realizará la transposición de los dos tubos Ø110 mm en el 50% del recorrido, por encima del tubo de Ø250 mm en una longitud de 6 m.
- 3.- Radio de curvatura mínimo de la canalización 12,5 m.
- 4.- En el interior de cada tubo se instalará una cuerda de nylon de Ø10 mm. y carga de rotura ≥ 10 kN. En cada tubo del cuatritubo de telecomunicaciones la cuerda de nylon será de Ø6 mm. y carga de rotura $\geq 7,5$ kN.
- 5.- El separador de los conductores de fase se instalará cada 1 m. cambiando la ubicación del testigo de un separador al siguiente de tal forma, que el testigo se encuentre en la misma posición cada 2 m.
- 6.- El cuatritubo de telecomunicaciones será de color exterior verde e interior blanco siliconado y estriado, espesor 3 mm, presión nominal 10 bar y coeficiente rozamiento menor 0,08.
- 7.- El cuatritubo de telecomunicaciones se instalará en una única pieza (sin empalmes) entre las arquetas dobles de telecomunicaciones, siendo pasante en las arquetas sencillas.
- 8.- El corte del cuatritubo de telecomunicaciones en el interior de las arquetas dobles de telecomunicaciones se realizará a 30 cm. de la pared interior.

Ingeniera Industrial y del ICAI								ESCALA:	S/E	SITUACIÓN:				PROYECTO DE EJECUCIÓN			
								TAMAÑO:	A3	TÍTULO DEL PLANO:				ZANJAS TIPO			
								PROMOTOR:		TÍTULO DEL PROYECTO:				Nº HOJA		Rev.	
	01	Febrero 2022	IEG	DMM	IEG	MIBG				LAT 220 kV SET Corrales - SET Promotores Olite				1 de 1		R1	
	Rev.	Fecha	Proyectado	Dibujado	Comprobado	Aprobado								NÚMERO DEL PLANO:			
Dña. M. Inmaculada Blázquez García Colegiada Nº 3694/2924																BIO-006.003.22_0-1014	



The diagram shows a composite figure with a rectangular base and a trapezoidal top. The rectangular base has a height of 10 units. The trapezoidal top has a bottom base of 10 units, a top base of 4 units, and a height of 6 units. The total height of the figure is 16 units.

Cotas	Dimensión (mm)
a	625±5
b	535±5
c	900±15
d	815±15
e	1200±50



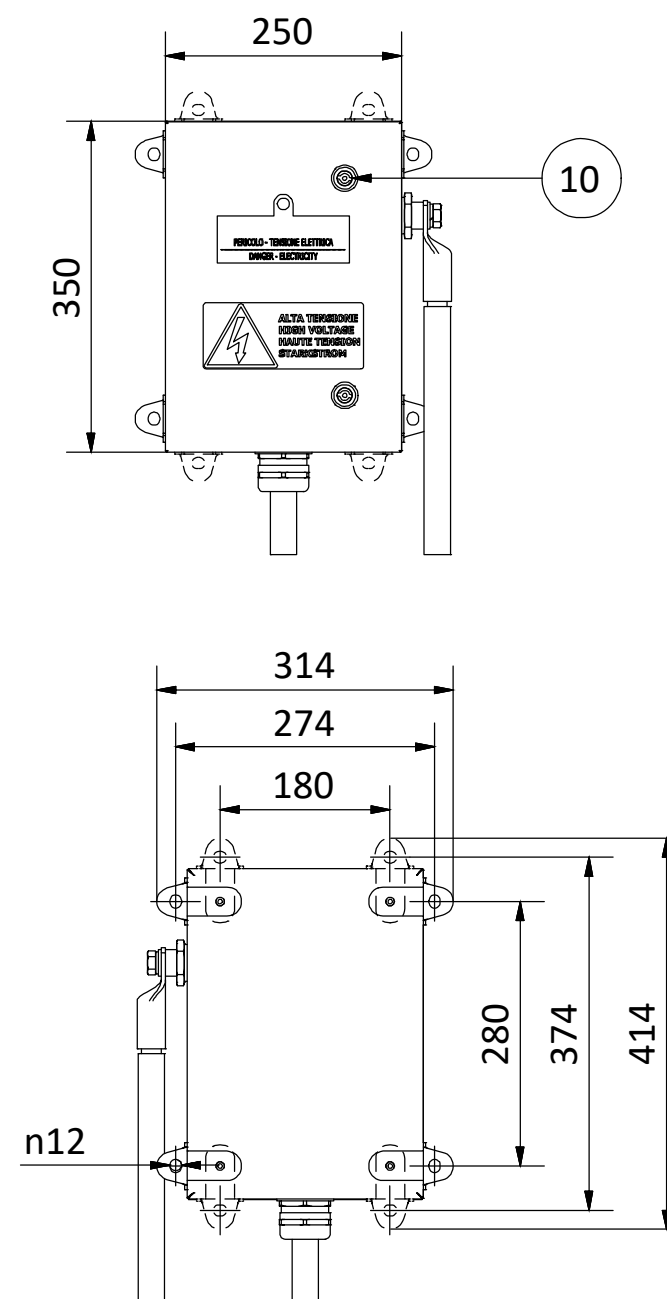
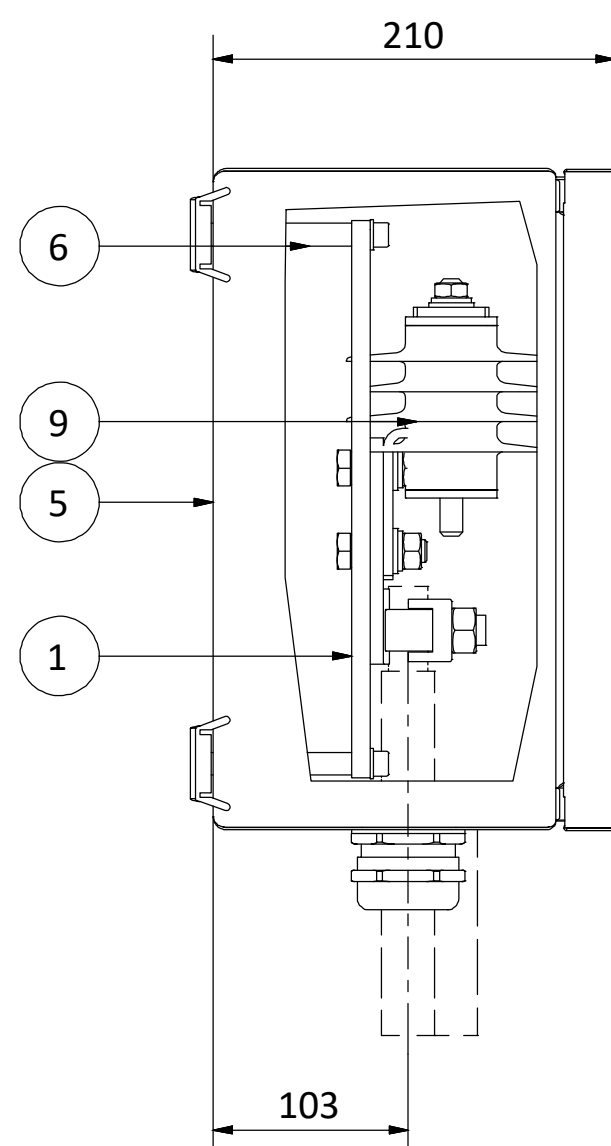
CRITERIO INSTALACION ARQUETAS SENCILLAS DE TELECOMUNICACIONES	
Distancia (m) entre cámaras de empalme/cámara de empalme y subestación o cámara de empalme y apoyo transición aéreo-subterráneo	Nº Arquetas sencillas
≤ 250	0
$250 < X \leq 500$	1
$500 < X \leq 750$	2
$750 < X \leq 1000$	3

NOTA:

- 1.-Las arquetas sencillas de telecomunicaciones se instalarán según tabla adjunta.
- 2.-Arqueta de poliéster reforzado con fibra de vidrio (PRFV) con nervaduras exteriores para soportar la presión externa.
- 3.-Empleo de la arqueta como "ENCOFRADO PERDIDO" relleno de sus laterales tanto paredes como solera con hormigón HM/20/P/20 de 20cm de espesor mínimo. La pared de hormigón deberá ser continua desde el suelo de la arqueta hasta recoger el cerco de la tapa.
- 4.-La arqueta dispondrá de tapa de fundición tipo D-400 para calzada o tipo B-125 para acera según caso.

			01	Febrero 2022	IEG	DMM	IEG	MIBG
			Rev.	Fecha	Proyectado	Dibujado	Comprobado	Aprobado

Ingeniera Industrial y del ICAI Dña. M. Inmaculada Blázquez García Colegiada Nº 3694/2924		ESCALA: S/E	SITUACIÓN: PROYECTO DE EJECUCIÓN				
		TAMAÑO: A4	TÍTULO DEL PLANO: ARQUETA SENCILLA DE TELECOMUNICACIONES				
	PROMOTOR: 	TÍTULO DEL PROYECTO: LAT 220 kV SET Corrales - SET Promotores Olite				Nº HOJA 1 de 1	Rev. R1
						NÚMERO DEL PLANO: BIO-006.003.22_0-1016	

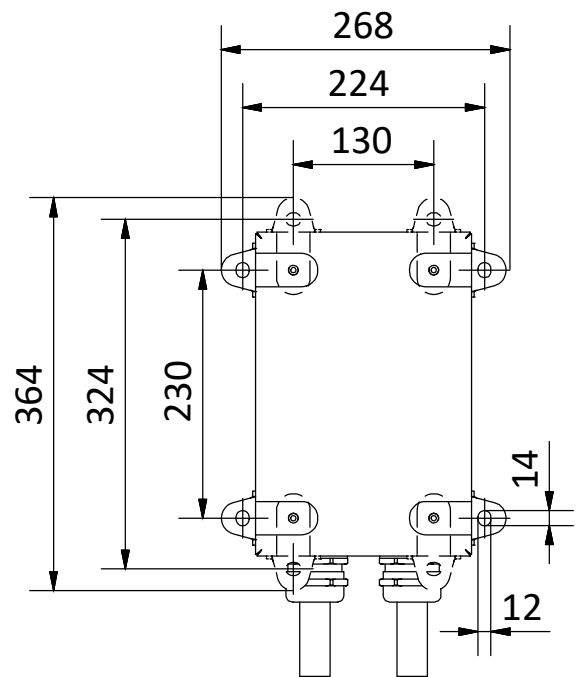
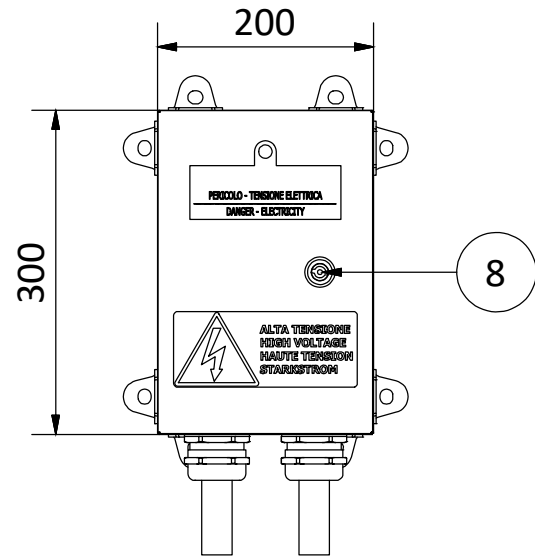
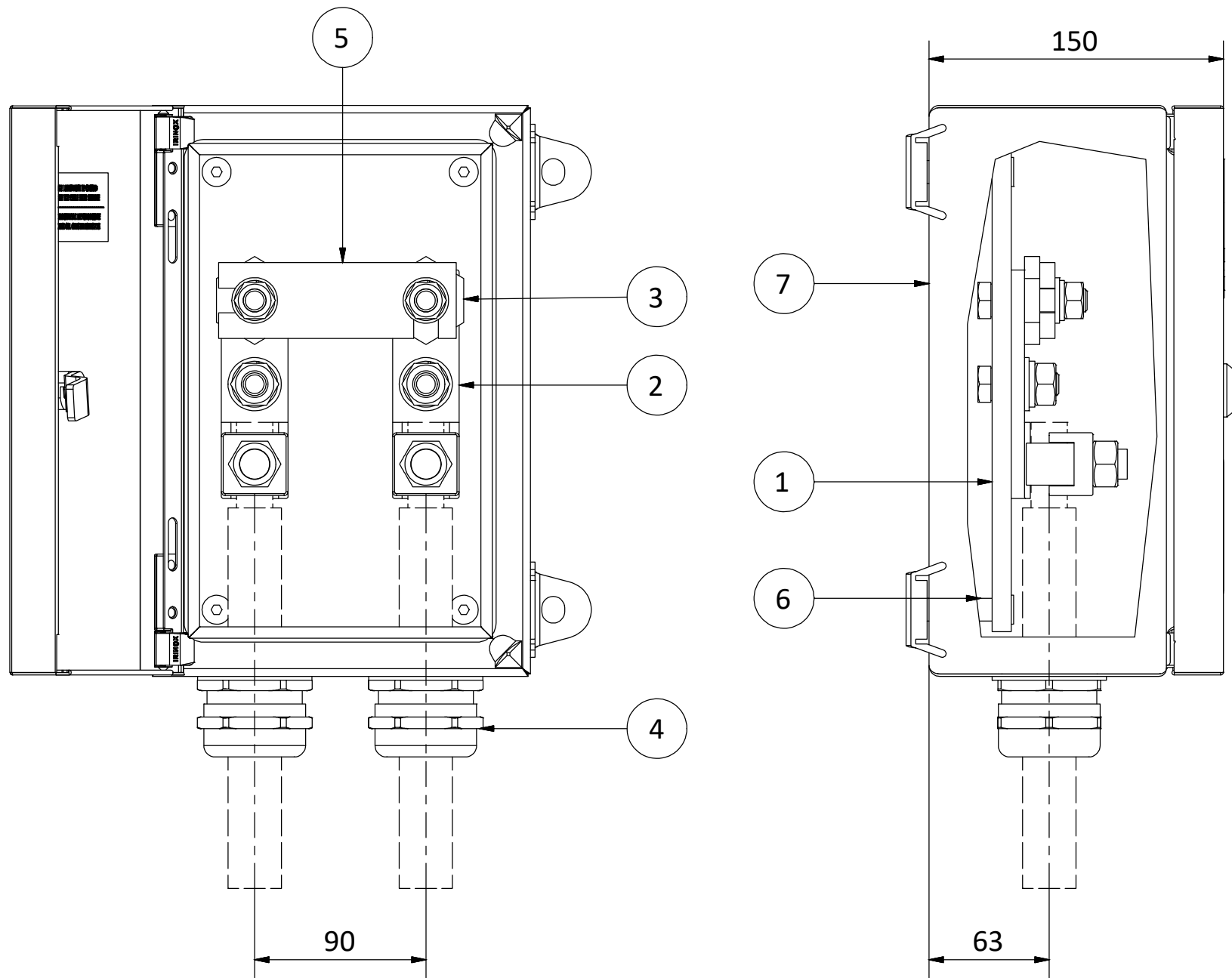


ITEM	QTY	DESCRIPTION	MATERIAL
1	1	Insulating plate	Glass Fiber
2	1	Cable lug	Brass
3	1	SVL link (30x5)	Tinned Copper
4	1	Earthing link (30x5)	Tinned Copper
5	1	Cabinet (1.5 mm)	Stainless Steel (AISI 304)
6	4	Metallic spacer	Brass, Soft Yellow
7	1	Earthing lug	Brass, Soft Yellow
8	1	Cable gland	Nikel-plate Brass
9	1	Surge arrester	ZnO
10	2	Locking system	Stainless Steel (AISI 304)

NOTE

- Dimension in mm
- Cable range: up to 400 sqmm
- Approx weight N/A

Ingeniera Industrial y del ICAI								ESCALA:	S/E	SITUACIÓN: PROYECTO DE EJECUCIÓN			
								TAMAÑO:	A3	TÍTULO DEL PLANO: LBM 3/30 X CABLE SHEATH DISCONNECTING LINK BOX WITH SVL Ur 3 kV (IP66-WALL MOUNTED SINGLE-POINT BONDING)			
								PROMOTOR: 	TÍTULO DEL PROYECTO: LAT 220 kV SET Corrales - SET Promotores Olite			Nº HOJA	Rev.
	01	Febrero 2022	IEG	DMM	IEG	MIBG						1 de 3	R1
	Rev.	Fecha	Proyectado	Dibujado	Comprobado	Aprobado						NÚMERO DEL PLANO: BIO-006.003.22_0-1017	



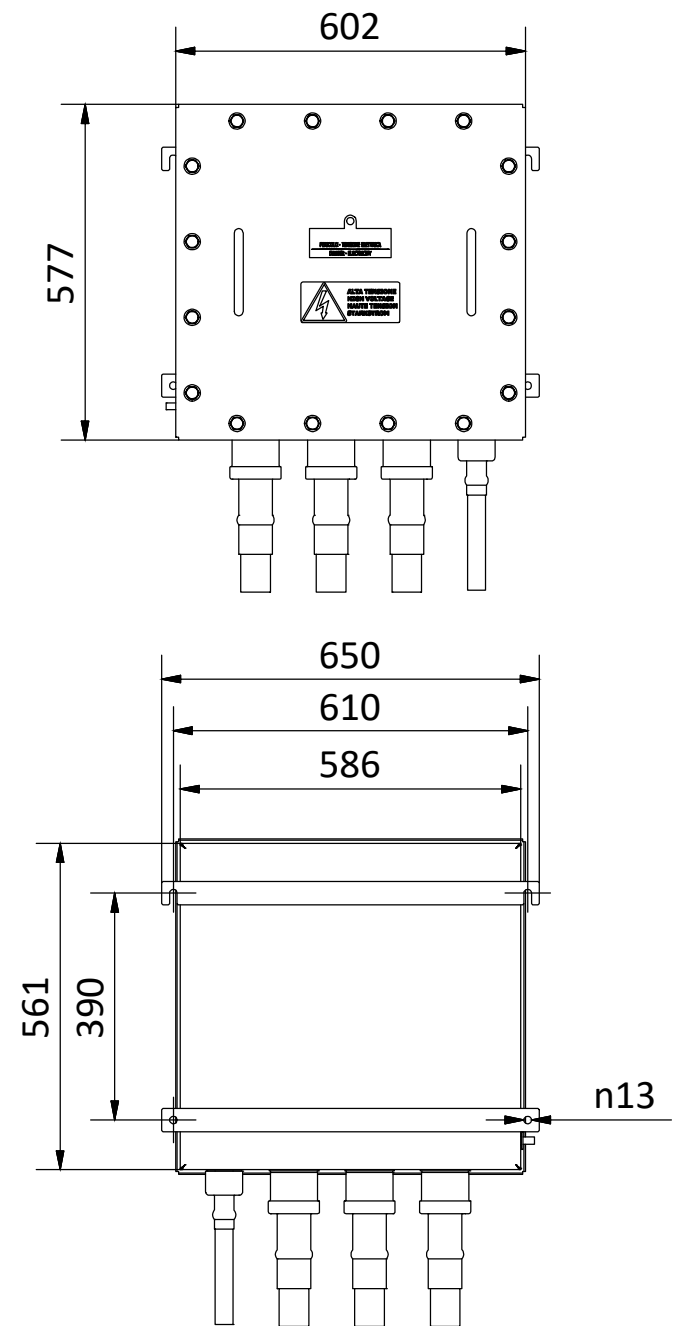
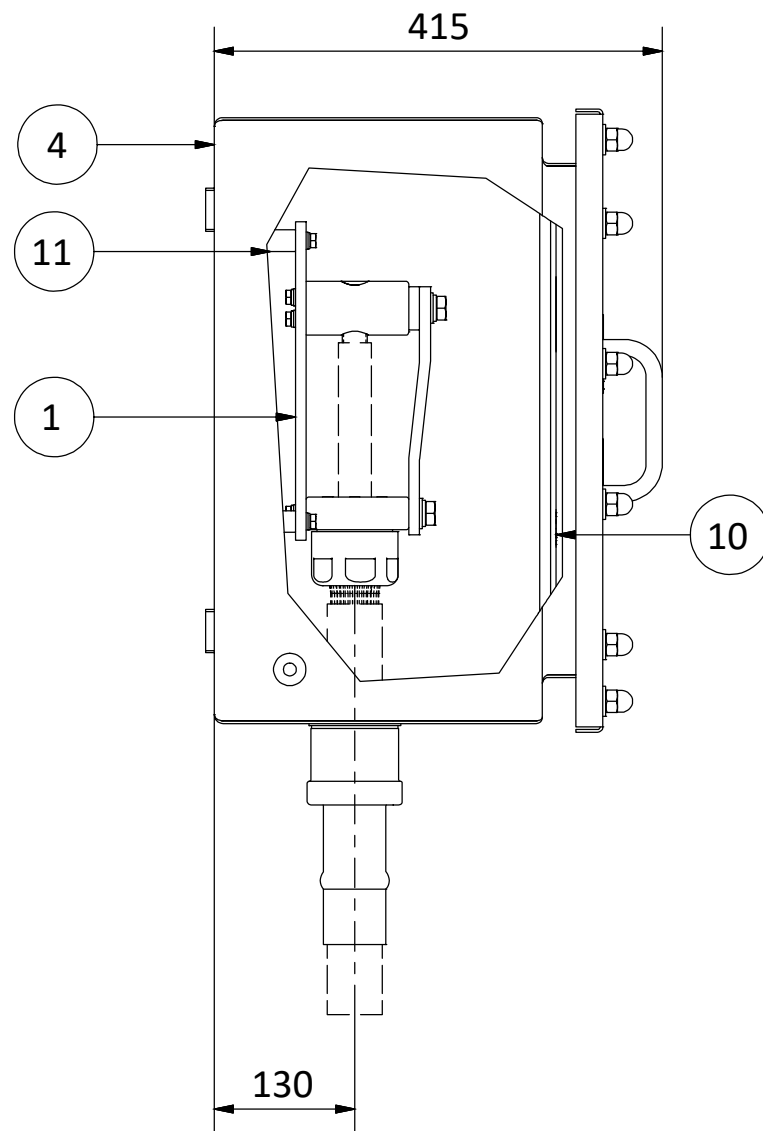
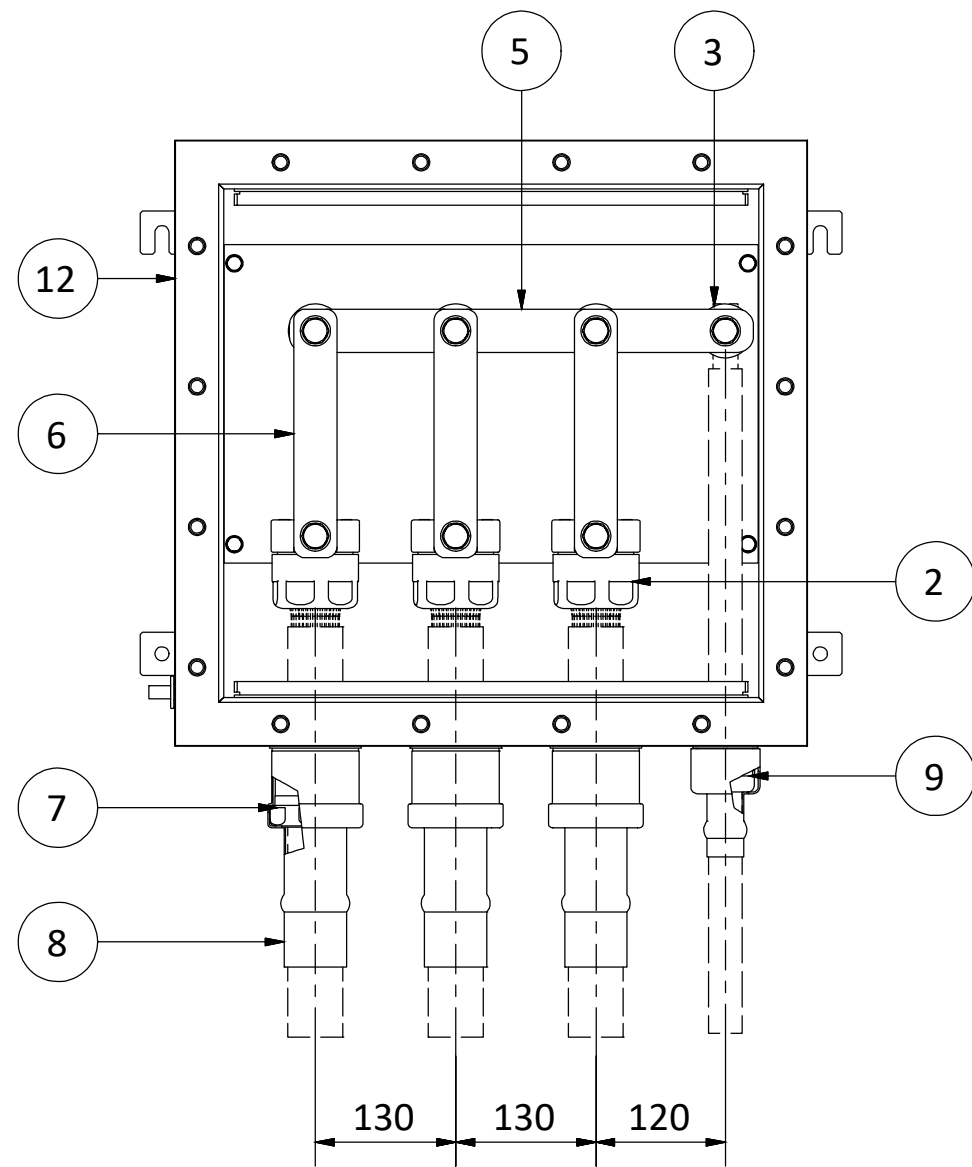
ITEM	QTY	DESCRIPTION	MATERIAL
1	1	Insulating plate	Glass Fiber
2	2	Cable lug	Brass
3	2	Locking nut	Tinned Copper
4	2	Cable gland	Nikel-plate Brass
5	1	Movable connection	Tinned Copper
6	4	Metal spacer	Brass
7	1	Cabinet (1.5 mm)	Stainless Steel (AISI 304)
8	1	Locking system	Stainless Steel (AISI 304)

NOTE

- Dimension in mm
- Cross section: Up to 400 sqmm
- Approx weigth 7 kg

Ingeniera Industrial y del ICAI						
Dña. M. Inmaculada Blázquez García Colegiada N° 3694/2924	01	Febrero 2022	IEG	DMM	IEG	MIBG
	Rev.	Fecha	Proyectado	Dibujado	Comprobado	Aprobado

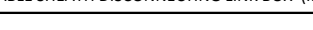
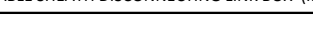
oepräl	ESCALA:	S/E	SITUACIÓN: PROYECTO DE EJECUCIÓN			
	TAMAÑO:	A3	TÍTULO DEL PLANO: LBM 3/X CABLE SHEATH DISCONNECTING LINK BOX (IP66-WALL MOUNTED SINGLE-POINT BONDING)			
PROMOTOR:	capital energy		TÍTULO DEL PROYECTO:			Nº HOJA
			LAT 220 kV SET Corrales - SET Promotores Olite			2 de 3
						Rev. R1
						NÚMERO DEL PLANO: BIO-006.003.22_0-1017

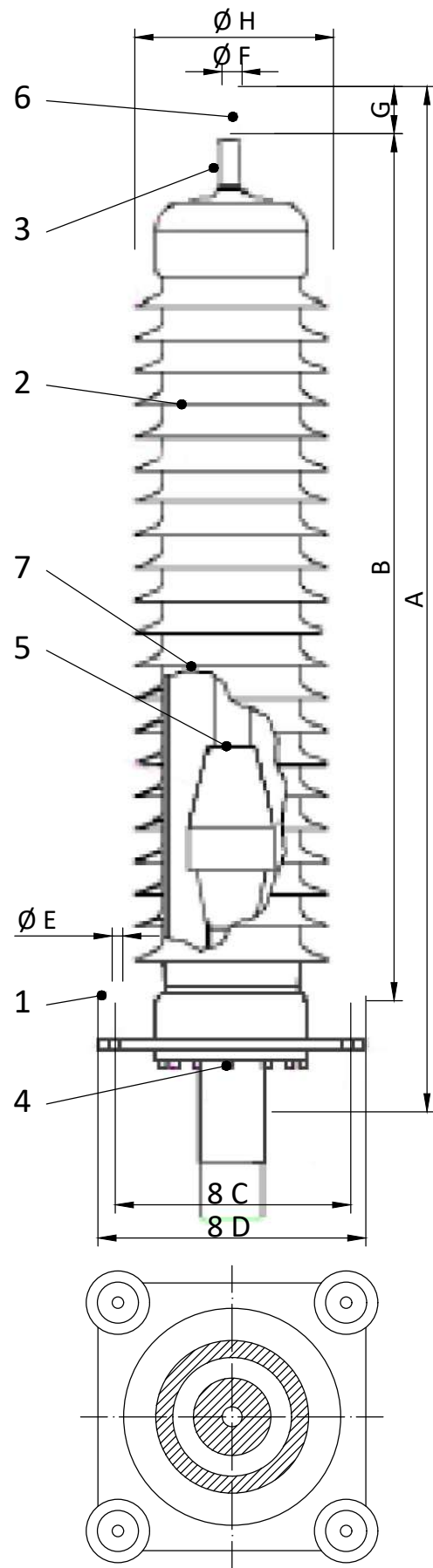


ITEM	QTY	DESCRIPTION	MATERIAL
1	1	Insulating base plate	Glass Fiber
2	3	Coaxial cable fixing clamp	Aluminum alloy
3	4	Cable end fixing clamp	Aluminum alloy
4	1	Cabinet (2.5 mm)	Stainless Steel (AISI 304)
5	1	Earthing bus bar (40x10)	Tinned Copper
6	3	Disconetting link (40x10)	Tinned Copper
7	3	Gland for coaxial cable	Nikel-plate brass
8	4	Heat shrinkable sleeves	Polyolefine
9	1	Gland for earthing cable	Nikel-plate brass
10	1	Protection cover	Plexyglass
11	4	Metallic spacer	Stainless Steel (AISI 304)
12	1	Flat gasket	Rubber

NOTE

- Dimension in mm
- Cross section: Up to 400 sqmm
- Epoxy paint (RAL 9005)
- Approx weight: 63 kg

Ingeniera Industrial y del ICAI								ESCALA:	S/E	SITUACIÓN: PROYECTO DE EJECUCIÓN					
								TAMAÑO:	A3	TÍTULO DEL PLANO: LBM 15/X CABLE SHEATH DISCONNECTING LINK BOX (IP68-BURIED SINGLE-POINT BONDING OR CROSS BONDING)					
								PROMOTOR:				TÍTULO DEL PROYECTO:		Nº HOJA	Rev.
	01	Febrero 2022	IEG	DMM	IEG	MIBG		LAT 220 kV SET Corrales - SET Promotores Olite				3 de 3	R1		
	Rev.	Fecha	Proyectado	Dibujado	Comprobado	Aprobado						NÚMERO DEL PLANO: BIO-006.003.22_0-1017			



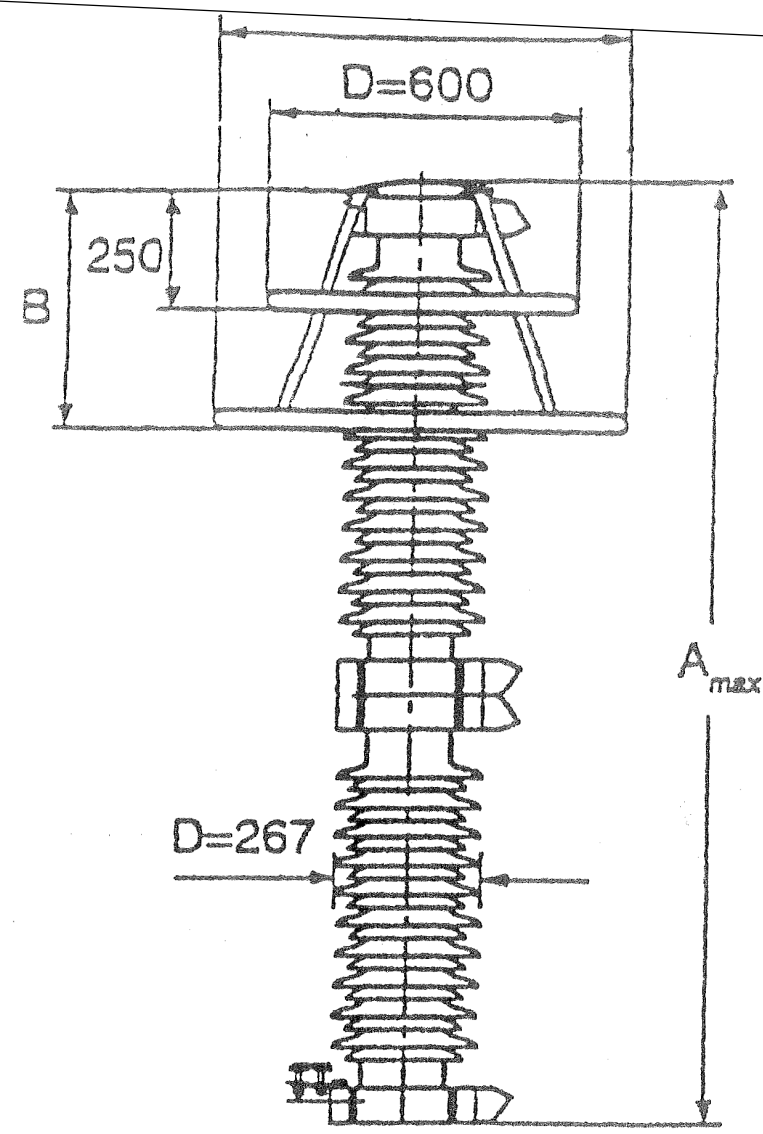
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

MODELO		I	II	III	IV	V
Tensión máxima	kV	245	245	245	245	245
Golpe de tensión 1.2/50 µs	kV	1050	1050	1050	1050	1050
Línea nominal de fuga	mm	5400	6200	7700	9800	12250
Línea de fuga específica	mm /kV	22.0	25.3	31.4	40.0	50.0

Sección máxima	mm²	2500	2500	2500	2500	2500
Ø máx. sobre el aislante	mm	115	115	115	115	115
Peso total apróx.	Kg	480	540	530	670	830

A	mm	2770	3070	2770	3405	4150
B	mm	2460	2760	2460	3095	3840
8 C	mm	560	560	560	560	560
8 D	mm	620	620	620	620	620
Ø E	mm	20	20	20	20	20
Ø F	mm	60	60	60	60	60
G	mm	110	110	110	110	110
Ø H	mm	520	520	520	520	520

PARTES	
1	Placa base
2	Aislador de composite
3	Deflector de campo
4	Boca
5	Cono deflector
6	Bulón de conexión
7	Material de relleno



TENSIÓN ASIGNADA (kV)		TENSIÓN DEL SISTEMA (kV)	A max. (mm)	B (mm)	C (mm)	DIST. DE FUGA (mm)	PESO (Kg)
132-168	AH	170	2035	400	800	5005	135
132-168	AV	170	2155	400	800	5430	145
180-210	AM	245	2035	400	800	5005	150
180-228	AH	245	2565	550	900	6780	170
216-276	AM	300	2565	550	900	6780	175