

## ANEJO 013. LÍNEAS DE EVACUACIÓN

Mario Quiñonez Alonso  
Colegio de Ingenieros de Caminos Canales y Puertos  
Nº Colegiado: 23696

Madrid, 18 de octubre de 2024

El Ingeniero Industrial  
al servicio de la empresa  
Izharia Ingeniería

David Blanco de Miguel  
Colegiado Nº17.831 – COIIM

**ÍNDICE**

<b>1. OBJETO .....</b>	<b>4</b>	<b>4.5.1. CONEXIÓN DE LAS PANTALLAS DE LOS CABLES.....</b>	<b>13</b>
<b>2. NORMATIVA.....</b>	<b>5</b>	<b>4.5.2. DISPOSICIÓN DE LA PUESTA A TIERRA.....</b>	<b>13</b>
<b>3. DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACIÓN.....</b>	<b>9</b>	<b>4.6. CANALIZACIONES .....</b>	<b>16</b>
<b>4. CARACTERÍSTICAS DE LA LÍNEA SUBTERRÁNEA .....</b>	<b>10</b>	<b>4.6.1. CANALIZACIÓN BAJO TUBO HORMIGONADA .....</b>	<b>16</b>
<b>4.1. CARACTERÍSTICAS GENERALES .....</b>	<b>10</b>	<b>4.6.2. CANALIZACIÓN BAJO TUBO DIRECTAMENTE ENTERRADO</b>	<b>17</b>
<b>4.2. CABLE SUBTERRÁNEO .....</b>	<b>10</b>	<b>5. PRESCRIPCIONES ESPECIALES .....</b>	<b>19</b>
<b>4.3. CABLE DE FIBRA ÓPTICA SUBTERRÁNEO .....</b>	<b>11</b>	<b>5.1. RELACIÓN DE CRUZAMIENTOS.....</b>	<b>19</b>
<b>4.4. EMPALMES Y TERMINALES .....</b>	<b>12</b>	<b>5.2. RELACIÓN DE PARALELISMOS .....</b>	<b>20</b>
<b>4.5. PUESTA A TIERRA.....</b>	<b>12</b>	<b>5.2.1. RELACIÓN DE PARALELISMOS SUBTERRÁNEOS.....</b>	<b>20</b>
		<b>6. CONCLUSIÓN .....</b>	<b>21</b>
		<b>MEMORIA DE CÁLCULO DE CABLES.....</b>	<b>22</b>

1. OBJETO

El presente Proyecto tiene por objeto establecer y justificar todos los datos constructivos que presenta la ejecución de la línea “LMT LLANERA”, para la tramitación oficial en cuanto a la Autorización Administrativa Previa y Autorización Administrativa de Construcción. Se trata de una línea eléctrica de 6,3 kV con trazado subterráneo. La línea se divide en cinco tramos:

Tramo 1: Desde CT1 a AR-01 (Arqueta 01), cuenta con una distancia de 349,71 m. Se trata de una canalización de un circuito con dos ternas enterradas bajo tubo. En esta canalización solo se aloja el circuito 1.

Tramo 2: Desde AR-01 (Arqueta 01) a AR-02 (Arqueta 02), cuenta con una distancia de 350,06 m. Se trata de una canalización de un circuito con dos ternas enterradas bajo tubo. En esta canalización solo se aloja el circuito 1.

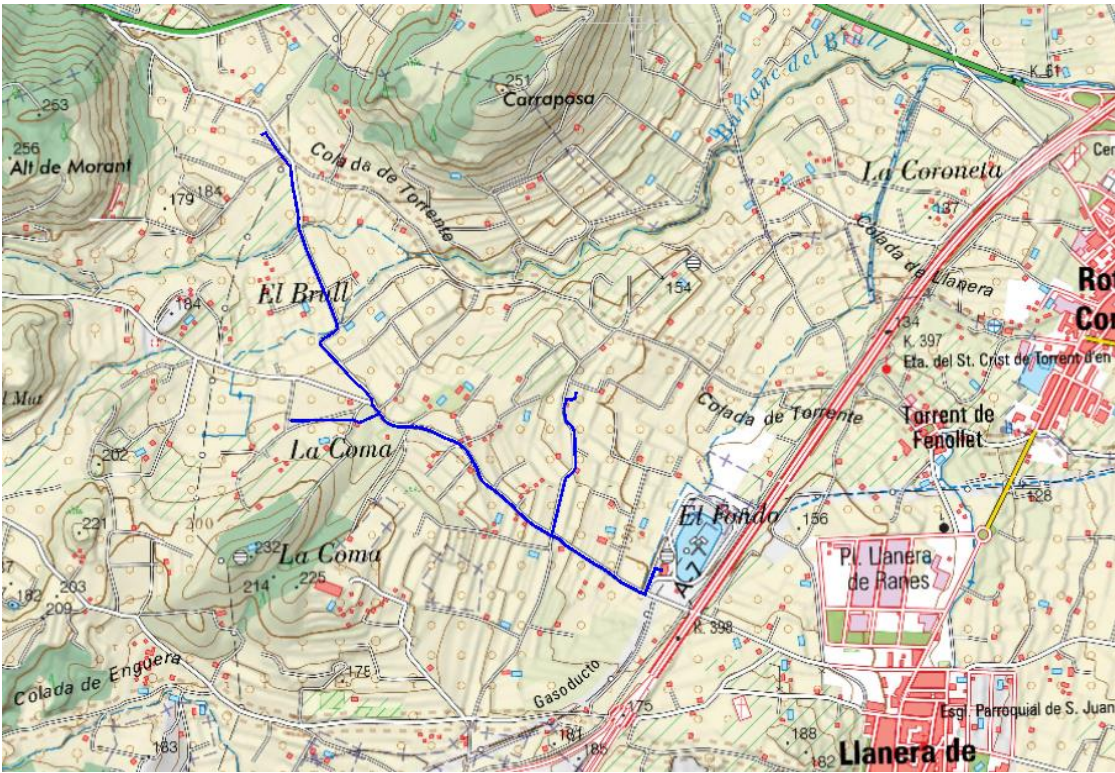
Tramo 3: Desde AR-02 (Arqueta 02) a AR-03 (Arqueta 03), cuenta con una distancia de 190,00 m. Se trata de una canalización de un circuito con dos ternas enterradas bajo tubo. En esta canalización solo se aloja el circuito 1.

Tramo 4: Desde CT2 a AR-03 (Arqueta 03), cuenta con una distancia de 244,79 m. Se trata de una canalización de un circuito con dos ternas enterradas bajo tubo. En esta canalización solo se aloja el circuito 2.

Tramo 5: Desde AR-03 (Arqueta 03) a AR-04 (Arqueta 04), cuenta con una distancia de 587,73 m. Se trata de una canalización con cuatro ternas enterradas bajo tubo. En esta canalización se alojan los circuitos 1 y 2.

Tramo 6: Desde CT3 a AR-04 (Arqueta 04), cuenta con una distancia de 429,92 m. Se trata de una canalización en simple circuito enterradas bajo tubo. En esta canalización se aloja el circuito 3.

Tramo 7: AR-04 (Arqueta 04) a ST Llanera, cuenta con una distancia de 389,22 m. Se trata de una canalización con cinco circuitos ternas enterradas bajo tubo. En esta canalización se alojan los circuitos 1, 2 y 3.



La instalación tendrá lugar en los siguientes términos municipales:

TÉRMINO MUNICIPAL	PROVINCIA
LLANERA DE RANES	VALENCIA

## 2. NORMATIVA

La línea objeto del Proyecto ha sido elaborada conforme a la siguiente normativa:

- Ley 24/2013, de 26 de diciembre, del Sector Eléctrico.
- Real Decreto 1955/2000, de 1 de diciembre, por el que se regulan las actividades de transporte, distribución, comercialización, suministro y procedimientos de autorización de instalaciones de energía eléctrica.
- Real Decreto 337/2014, de 9 de mayo, por el que se aprueba el Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en instalaciones eléctricas de alta tensión, y sus Instrucciones Técnicas Complementarias ITC-RAT-01 a 23.
- Real Decreto 223/2008, de 15 de febrero, por el que se aprueba el Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en líneas eléctricas de alta tensión, y sus Instrucciones Técnicas Complementarias ITC-LAT 01 a 09.
- Todas las instalaciones cumplirán la Normativa Europea EN, la Normativa CENELEC, las Normas UNE y las Recomendaciones de la Comisión Electrotécnica Internacional (CEI).
- Instrucciones técnicas de los fabricantes y suministradores de equipos.
- Reglamento sobre Condiciones Técnicas y Garantías de Seguridad en Centrales eléctricas, Subestaciones y Centros de Transformación.
- Real Decreto 105/2008, de 1 de febrero, por el que se regula la producción y gestión de residuos de construcción y demolición.
- Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales, con las modificaciones de la Ley 54/2003 de 12 de diciembre.
- Ley 54/2003, de 12 de diciembre, de Reforma del Marco Normativo de la Ley de Prevención de Riesgos Laborales. Y todas las modificaciones que lo afectan.
- Real Decreto 614/2001, de 8 de junio, sobre disposiciones mínimas para la protección de la salud y seguridad de los trabajadores frente al riesgo eléctrico.
- Real Decreto 1627/1997, de 24 de octubre, por el que se establecen las disposiciones mínimas en materia de seguridad y salud de las obras de construcción.
- Real Decreto 39/1997, de 17 de enero, por el que se aprueba el Reglamento de los Servicios de Prevención.
- Real Decreto 1432/2008, de 29 de agosto, por el que se establecen las medidas de carácter técnico en líneas eléctricas de alta tensión con objeto de proteger la avifauna.
- Disposiciones municipales que afecten a este tipo de instalaciones.
- Normativa particular de cliente.
- INSTRUCCIÓN 1/2016, de 20 de junio, de la Dirección General de Energía y Minas, sobre autorizaciones en materia de accidentes, modificaciones de líneas eléctricas de alta tensión y licencias urbanísticas de instalaciones eléctricas.
- INSTRUCCIÓN 2/2020, de 26 de agosto de 2020, de la Dirección General de Energía y Minas, sobre la tramitación administrativa de modificaciones de instalaciones eléctricas de alta tensión de transporte, distribución o instalaciones de conexión de generadores.

- Proyectos tipo y especificaciones técnicas aprobadas a empresas de transporte y distribución de energía eléctrica a las que se vaya a conectar la instalación de generación.
- Condiciones impuestas por los Organismos Públicos afectados.
- Ordenanzas municipales del ayuntamiento donde se ejecute la obra.
- Condicionados que puedan ser emitidos por organismos afectados por las instalaciones.
- Cualquier otra normativa y reglamentación de obligado cumplimiento para este tipo de instalaciones.

Por otro lado, a la instalación objeto del proyecto aplican particularmente las siguientes normas UNE:

**GENERALES:**

UNE 20324:1993	Grados de protección proporcionados por las envolventes (Código IP).
UNE 20324/11V1:2000	Grados de protección proporcionados por las envolventes (Código IP).
UNE 20324:2004 ERRATUM	Grados de protección proporcionados por las envolventes (Código IP).
UNE 21308-1:1994	Ensayos en alta tensión. Parte 1: definiciones y prescripciones generales relativas a los ensayos.

UNE-EN  
50102:1996

Grados de protección proporcionados por las envolventes de materiales eléctricos contra los impactos mecánicos externos (código IK).

UNE-EN 50102  
CORR:2002

Grados de protección proporcionados por las envolventes de materiales eléctricos contra los impactos mecánicos externos (código IK).

UNE-EN  
50102/A1:1999

Grados de protección proporcionados por las envolventes de materiales eléctricos contra los impactos mecánicos externos (código IK).

UNE-EN 50102/AI  
CORR:2002

Grados de protección proporcionados por las envolventes de materiales eléctricos contra los impactos mecánicos externos (código IK).

UNE-EN 60060-  
2:1997

Técnicas de ensayo en alta tensión. Parte 2: Sistemas de medida.

UNE-EN 60060-  
2/A11:1999

Técnicas de ensayo en alta tensión. Parte 2: Sistemas de medida.

UNE-EN 60060-  
3:2006

Técnicas de ensayo en alta tensión. Parte 3: Definiciones y requisitos para ensayos in situ.

UNE-EN 60060-3  
CORR.:2007

Técnicas de ensayo en alta tensión. Parte 3: Definiciones y requisitos para ensayos in situ.

UNE-EN  
600711:2006

Coordinación de aislamiento. Parte 1: Definiciones, principios y reglas.

UNE-EN 2:1999	60071-	Coordinación de aislamiento. Parte 2: Guía de aplicación.			
UNE-EN 60270:2002		Técnicas de ensayo en alta tensión. Medidas de las descargas parciales.		UNE 21144-1-3:2003	Cables eléctricos. Cálculo de la intensidad admisible. Parte 1: Ecuaciones de intensidad admisible (factor de carga 100%) y cálculo de pérdidas. Sección 3: Reparto de la intensidad entre cables unipolares dispuestos en paralelo y cálculo de pérdidas por corrientes circulantes.
UNE-EN 1:1997	60865-	Corrientes de cortocircuito. Parte 1: Definiciones y métodos de cálculo.		UNE 21144-2-1:1997	Cables eléctricos. Cálculo de la intensidad admisible. Parte 2: Resistencia térmica. Sección 1: Cálculo de la resistencia térmica.
UNE-EN 0:2002	60909-	Corrientes de cortocircuito en sistemas trifásicos de corriente alterna. Parte 0: Cálculo de corrientes.		UNE 21144-2-1/1M:2002	Cables eléctricos. Cálculo de la intensidad admisible. Parte 2: Resistencia térmica. Sección 1: Cálculo de la resistencia térmica.
UNE-EN 3:2004	60909-	Corrientes de cortocircuito en sistemas trifásicos de corriente alterna. Parte 3: Corrientes durante dos cortocircuitos monofásicos a tierra simultáneos y separados y corrientes parciales de cortocircuito circulando a través de tierra.		UNE 21144-2-1/21V1:2007	Cables eléctricos. Cálculo de la intensidad admisible. Parte 2: Resistencia térmica. Sección 1: Cálculo de la resistencia térmica.
<b>CABLES Y CONDUCTORES:</b>				UNE 21144-2-2:1997	Cables eléctricos. Cálculo de la intensidad admisible. Parte 2: Resistencia térmica. Sección 2: Método de cálculo de los coeficientes de reducción de la intensidad admisible para grupos de cables al aire y protegidos de la radiación solar.
UNE 21144-1-1:2012		Cables eléctricos. Cálculo de la intensidad admisible. Parte 1: Ecuaciones de intensidad admisible (factor de carga 100%) y cálculo de pérdidas. Sección 1: Generalidades.		UNE 21144-3-1:2018	Cables eléctricos. Cálculo de la intensidad admisible. Parte 3: Secciones sobre condiciones de funcionamiento. Sección 1: Condiciones de funcionamiento de referencia y selección del tipo de cable.
UNE 21144-1-2:1997		Cables eléctricos. Cálculo de la intensidad admisible. Parte 1: Ecuaciones de intensidad admisible (factor de carga 100%) y cálculo de pérdidas. Sección 2: Factores de pérdidas por corrientes de Foucault en las cubiertas en el caso de dos circuitos en capas.		UNE 21144-3-2:2000	Cables eléctricos. Cálculo de la intensidad admisible. Parte 3: Secciones sobre condiciones de funcionamiento. Sección 2: Optimización económica de las secciones de los cables eléctricos de potencia.

---

UNE 21144-3-3:2007	Cables eléctricos. Cálculo de la intensidad admisible. Parte3: Secciones sobre condiciones de funcionamiento. Sección 3: Cables que cruzan fuentes de calor externas.
UNE 21192:1992/1M:2009	Cálculo de las intensidades de cortocircuito térmicamente admisibles, teniendo en cuenta los efectos del calentamiento no adiabático.
UNE-HD 620	Cables de distribución eléctrica con aislamiento extruido, diseñados para tensiones nominales desde 3,6/6 kV hasta 20,8/ 36 kV.
IEC 60502-2	Cables de potencia con aislamiento extruido y sus accesorios para tensiones nominales desde 1 kV (Um = 1,2 kV) hasta 30 kV (Um = 36 kV) - Parte 2: Cables para tensiones nominales desde 6 kV (Um = 7,2 kV) hasta 30 kV (Um = 36 kV).

**ACCESORIOS PARA CABLES**

UNE 21021:1983	Piezas de conexión para líneas eléctricas hasta 72,5 kV.
----------------	--



### 3. DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACIÓN

La línea denominada LMT LLANERA se proyecta como una línea subterránea, con tres circuitos.

En el tramo subterráneo se instalará un cable tipo RHZ1-OL 6/10 kV 1x630AL + H16 en canalización bajo tubo hormigonada. La puesta a tierra de las pantallas se realiza en configuración Single-Point.

La entrada a la subestación ST Llanera se realiza en subterráneo.

4. CARACTERÍSTICAS DE LA LÍNEA SUBTERRÁNEA

4.1. CARACTERÍSTICAS GENERALES

SISTEMA	CORRIENTE ALTERNA TRIFÁSICA
TENSIÓN NOMINAL (kV)	6,3
TENSIÓN MÁS ELEVADA (kV)	7,2
FRECUENCIA (Hz)	50
POTENCIA MÁXIMA DE TRANSPORTE (MVA)	6,6 (Circuito 1, simple circuito dúplex)* 6,6 (Circuito 2, Simple circuito dúplex)* 4,9 (Circuito 3, Simple circuito)*
CABLE	RHZ1-OL 6/10 kV 1x630 K Al + H16
TIPO DE CANALIZACIÓN	HORMIGONADA BAJO TUBO
Nº CIRCUITOS	3
Nº TRAMOS	7
ORIGEN – FINAL TRAMO	Circuito 1: CT1 – ST Llanera Circuito 2: CT2 – ST Llanera

	Circuito 3: CT3 – ST Llanera
LONGITUD (m) **	Circuito 1: 1.842,45 m Circuito 2: 1.197,47 m Circuito 3: 819,14 m
CONEXIÓN DE LAS PANTALLAS	SINGLE POINT BONDING

(\*) Potencia de los transformadores de las plantas fotovoltaicas.

(\*\*) Estas medidas son aproximadas, deberán ser revisadas previamente a su construcción. Existen tramos de canalización compartidos por 2 y 3 circuitos.

4.2. CABLE SUBTERRÁNEO

Los cables a emplear serán unipolares, de campo radial, y quedarán perfectamente definidos por las distintas especificaciones de materiales. Sus principales características constructivas son las siguientes:

- Conductor circular de cuerda redonda compacta, de cobre o aluminio. Para secciones superiores a 1000 mm2 y cuando una determinada línea requiera un aumento en su capacidad de transporte, se podrá emplear cuerda segmentada (Milliken). El conductor estará obturado longitudinalmente mediante hilos o cinta semiconductor hinchable.
- Aislamiento fabricado por triple extrusión simultánea mediante cabezal triple y reticulación en seco.
- Pantalla sobre el conductor extruida de compuesto semiconductor.

- Aislamiento a base de polietileno reticulado (XLPE) extruido.
- Pantalla sobre el aislamiento extruida de compuesto semiconductor.
- Pantalla metálica constituida por corona de tubo de cobre.

Las características del cable subterráneo son las siguientes:

TIPO	RHZ1-OL 6/10 kV 1x630 K Al + H16
Material de conductor	Aluminio
Material de la pantalla	Cobre
Material del aislamiento	Polietileno reticulado XLPE
Sección del conductor (mm²)	630
Sección de la pantalla (mm²)	16
Diámetro exterior del cable (mm)	49,3
Peso aproximado (kg/m)	2,897

Las principales características eléctricas de los cables son las que se indican en la siguiente tabla:

Tensión asignada U <sub>0</sub> /U (kV)	6/10
Tensión más elevada de la red (U <sub>s</sub> )	7,2
Frecuencia (Hz)	50
Temperatura máxima del conductor en régimen permanente (°C)	90
Temperatura máxima del conductor en cortocircuito (°C)	250
Temperatura máxima de la pantalla en régimen permanente (°C)	85
Temperatura máxima pantalla en cortocircuito (°C)	250

4.3. CABLE DE FIBRA ÓPTICA SUBTERRÁNEO

Las características del cable subterráneo de fibra óptica, se utilizará el mismo en los tres proyectos, son las siguientes:

TIPO	FO 24x10 TENAX (DP)
Nº de fibras ópticas	24
Diámetro aproximado (mm)	8,8
Peso aproximado (kg/m)	0,077
Tracción máxima aplicable (kg)	300

TIPO	FO 24x10 TENAX (DP)
Resistencia a la compresión (kg/cm)	250
Composición del núcleo óptico	G652
Cubierta	Polietileno negro

4.4. EMPALMES Y TERMINALES

Los empalmes y terminales de los conductores subterráneos se efectuarán siguiendo métodos que garanticen una perfecta continuidad del conductor y de su aislamiento, utilizando los materiales adecuados y conforme a las instrucciones del fabricante.

Las líneas se tenderán en tramos de la mayor longitud posible, de tal forma que el número de empalmes necesario sea el mínimo.

En los puntos de unión de los distintos tramos de tendido se utilizarán empalmes adecuados a las características de los conductores a unir.

Los empalmes y terminales no deberán disminuir en ningún caso las características eléctricas y mecánicas del cable, debiendo cumplir las siguientes condiciones básicas:

- La conductividad del empalme o terminal deberá ser igual o superior a la de un solo conductor de la misma longitud.
- El aislamiento ha de ser tan efectivo como el aislamiento propio del cable.
- El empalme o terminal debe estar protegido para evitar el deterioro mecánico y la entrada de humedad.

- El empalme o terminal debe resistir los esfuerzos electrodinámicos en caso de cortocircuito, así como el efecto térmico de la corriente, tanto en régimen normal como en caso de sobrecargas y cortocircuitos.
- Los empalmes y terminales serán premoldeados o preformados y ensayados en fábrica según especificaciones.

4.5. PUESTA A TIERRA

En las redes subterráneas de alta tensión se conectarán a tierra los siguientes elementos:

- Bastidores de los elementos de protección.
- Pantallas metálicas de los cables, empalmes y terminales, según el sistema de conexión elegido para cada caso, tal y como se indica en el apartado siguiente.

. Se dimensionará para la máxima corriente de defecto (defecto fase-tierra) que se prevea poder evacuar. El valor de la resistencia global de puesta a tierra de la galería debe ser tal que, durante la evacuación de un defecto, no se supere un cierto valor de tensión de defecto establecido por el proyectista. Además, las tensiones de contacto que puedan aparecer tanto en el interior de la galería como en el exterior (si hay transferencia de potencial debido a tubos u otros elementos metálicos que salgan al exterior) no deben superar un valor de tensión de contacto aplicada de 50 V.

Los accesorios necesarios para conectar a tierra las pantallas de los cables (cajas de puesta a tierra, cables, descargadores de tensiones, etc) se ajustarán a lo indicado en las especificaciones de materiales.

Todos los elementos metálicos para sujeción de los cables (bandejas, soportes, bridas, etc.) u otros elementos metálicos accesibles al personal que circula por las galerías (pavimentos, barandillas, estructuras o tuberías metálicas, etc) se conectarán eléctricamente a la red de tierra de la galería. Dispondrán de un punto de puesta a

tierra accesible que conecte con el electrodo enterrado de puesta a tierra.

Se debe calcular el valor máximo de la tensión a la que puede quedar sometida la pantalla y la armadura de un cable dentro de la galería respecto a su red de tierras en las condiciones más desfavorables previsibles. Se dimensionará el aislamiento entre la pantalla y la armadura del cable respecto al elemento metálico de soporte para evitar una perforación que establezca un camino conductor, ya que esto podría dar origen a un defecto local en el cable.

En el caso que aparezca un defecto iniciado en un cable dentro de la galería, si el proyectista no prevé medidas especiales, considerará que las tierras de la galería deben poder evacuar las corrientes de defecto de dicho cable (defecto fase-tierra). Por consiguiente, dichas corrientes no deberán superar la máxima corriente de defecto para la cual ha sido dimensionado la red de tierras de la galería.

#### 4.5.1. CONEXIÓN DE LAS PANTALLAS DE LOS CABLES

Los cables disponen de una pantalla de hilos de cobre sobre la que se inducen tensiones.

Dependiendo del tipo de conexión a tierra de las pantallas a tierra pueden aparecer corrientes inducidas que disminuyen la intensidad máxima admisible en el cable, o bien aparecen tensiones inducidas que pueden alcanzar valores peligrosos.

El tipo de conexión de las pantallas de los cables a realizar será tipo SINGLE-POINT

#### CONEXIÓN EN SINGLE-POINT

Para garantizar la máxima capacidad de transporte y no superar las tensiones inducidas en las pantallas.

Este conexionado se caracteriza por conectar ambos extremos de las pantallas mediante un cable equipotencial. La puesta a tierra de la pantalla será directa en el extremo próximo a la posible entrada de sobretensiones de tipo impulso maniobra o tipo rayo. Si uno de los extremos es un entronque aéreo/subterráneo, este extremo se empleará para la puesta a tierra directa de las pantallas. En toda la longitud del circuito se deberá instalar un conductor equipotencial, llamado también de acompañamiento, de 0,6/1kV, de cobre de sección 240///300 mm<sup>2</sup>, según la norma UNE 21123-4.



En el diseño de este sistema de puesta a tierra se deberá estudiar el desequilibrio entre las longitudes de cada uno de los tres tramos que componen cada sección independiente, siendo admisibles desequilibrios de aproximadamente el 5%, por lo que si este desequilibrio fuera ostensiblemente mayor se realizará un estudio de sobretensiones en función de los diferentes cortocircuitos.

#### 4.5.2. DISPOSICIÓN DE LA PUESTA A TIERRA

Los elementos que constituyen la puesta a tierra son:

- Elementos de conexión a tierra de las pantallas
- Línea de tierra

- Electrodo de puesta a tierra

- a) Elementos de conexión a tierra de las pantallas

Conexión rígida

La conexión directa de las pantallas a tierra se realiza mediante un puente desmontable, instalado en el interior de una caja metálica estanca pintada interior y exteriormente con resina de poliéster, apta para instalación a la intemperie.

La conexión se hará mediante cable unipolar con conductor de cobre y aislamiento 0,6/1 kV. La sección del cable será calculada para permitir la conducción de corriente total de falta especificada para la pantalla en cada nivel de tensión. La sección será de 50 mm<sup>2</sup>.

Punto abierto en conexión de pantallas a tierra en un solo extremo (Single Point)

En este caso, se emplean cajas de puesta a tierra unipolares o tripolares para la conexión a tierra de las pantallas a través de descargadores de tensiones.

Estas cajas serán metálicas y dispondrán de los orificios necesarios para el paso de los cables de las pantallas y el cable de tierra. En su interior se dispondrán las piezas de conexión para recibir los cables de conexión de pantallas y las barras de contacto.

Los descargadores de tensiones serán de óxido de zinc (ZnO).

El cable de conexión pantallas-descargadores de tensiones será concéntrico con aislamiento 0,6/1 kV, y con una sección de cobre de 50 mm<sup>2</sup>.

El conductor exterior estará directamente puesto a tierra en ambos extremos.

El interior será el que conecte la pantalla del cable con el descargador de tensiones.

La longitud máxima de esta conexión, a fin de garantizar la eficaz protección del cable, no será superior a 10 metros.

- b) Línea de tierra

Es el conductor que une el electrodo de puesta a tierra con el punto de la instalación que ha de conectarse a tierra. Es decir, las cajas de puesta a tierra de empalmes y terminales.

En una instalación puede haber dos tipos de puesta a tierra:

- La puesta a tierra de servicio conectará a tierra los extremos de los descargadores de tensiones.
- La puesta a tierra de protección conectará a tierra los elementos metálicos de la instalación por criterios de seguridad.

### Dimensionamiento de la puesta a tierra de servicio

El conductor de las líneas de tierra de puesta a tierra de servicio será siempre de cobre unipolar con aislamiento 0,6/1 kV y se dimensionará de acuerdo con los criterios de cálculo descritos en la norma UNE 21192. Si el tiempo de cortocircuito es inferior a 5 segundos, se puede utilizar esta simplificación para determinar la sección mínima:

El conductor de las líneas de tierra de puesta a tierra de servicio será siempre de cobre unipolar con aislamiento 0,6/1 kV y se dimensionará de acuerdo con los criterios de cálculo descritos en la norma UNE 21192. Si el tiempo de cortocircuito es inferior a 5 segundos, se puede utilizar esta simplificación para determinar la sección mínima:

$$S = \frac{I_{cc}}{K} \cdot \sqrt{t_{cc}} \quad (mm^2)$$

Donde:

S: Sección (mm<sup>2</sup>)

K: Constante que depende del material (A·s<sup>1/2</sup>/mm<sup>2</sup>)

t<sub>cc</sub>: Duración del cortocircuito (s)

I<sub>cc</sub>: Intensidad de cortocircuito (A)

Por criterios de diseño del propietario de la subestación a la que conectamos, se considera para una tensión de 6,3 kV una intensidad máxima admisible de 40 kA y una duración del cortocircuito de 1 s.

El valor de la constante que depende del material, K a considerar será de 226 A·s<sup>1/2</sup>/mm<sup>2</sup>.

La sección elegida es de 50 mm<sup>2</sup>.

#### Dimensionamiento de la puesta a tierra de protección

La puesta a tierra de protección conectará a tierra los elementos metálicos de la instalación por criterios de seguridad.

El conductor de las líneas de tierra de protección normalizado será de cobre desnudo de 50 mm<sup>2</sup> de sección.

La línea de tierra de protección será siempre de cobre desnudo y se dimensionará térmicamente para soportar la intensidad de cortocircuito admisible para el nivel de tensión considerado.

Según la norma EN 50341-1, la sección mínima del conductor de puesta a tierra o electrodo de tierra se determina según la expresión siguiente:

$$I_c = S_c \cdot \frac{K_c}{\sqrt{L_n \cdot \left( \frac{T_{cf} + \beta_c}{T_{ci} + \beta_c} \right) t}}$$

Donde:

K<sub>c</sub>: Constante del conductor que depende del material

S<sub>c</sub>: Sección del conductor

t: Tiempo de duración del cortocircuito

T<sub>cf</sub>: Temperatura final del conductor

T<sub>ci</sub>: Temperatura inicial del conductor

β<sub>c</sub>: Inversa del coeficiente de variación de la resistencia del conductor

Los valores de K<sub>c</sub> y β<sub>c</sub> son constantes que dependen del material, y se tomarán como referencia K=226 A·s<sup>1/2</sup>/mm<sup>2</sup> y β=234,5°C.

Sobre la temperatura final en régimen de cortocircuito, la tabla 6 de la norma EN 60865-1 recomienda una temperatura máxima ante un cortocircuito para conductores desnudos, macizos o de hilos trenzados de cobre, aluminio o aleación de aluminio de 200°C

Por criterios de diseño de red, se considera para una tensión de 6,3 kV una intensidad máxima admisible de 40 kA y una duración del cortocircuito de 1 s.

c) Electrodo de puesta a tierra (picas de acero cobrizado)

Los electrodos de puesta a tierra estarán constituidos, por picas de acero-cobre, por conductores de cobre desnudo enterrados horizontalmente o bien por combinación de ambos.

4.6. CANALIZACIONES

4.6.1. CANALIZACIÓN BAJO TUBO HORMIGONADA

Los cables se instalarán en canalización bajo tubo hormigonado cuando el trazado no se encuentre en las parcelas delimitadas por el vallado. En este tipo de canalización se instalará una terna por tubo. Se instalarán todos los tubos a una distancia superior a 0,6 m de la cota de terreno según ITC-LAT06. Los tubos serán independientes entre sí, siendo sus principales características:

- Tubo de plástico de doble pared, lisa la interna y corrugada la externa.
- Diámetro exterior de 250 mm.
- Tramos de 6 metros de longitud, con uniones entre tubos mediante manguitos con junta de estanqueidad.

Las dimensiones de la zanja vienen condicionadas por el número de ternas a tender y el diámetro de tubo empleado, según se indica en la tabla siguiente:

Tipo de canalización	Tensión (kV)	Número de ternas	Diámetro tubo (mm)	Profundidad (mm)	Anchura (mm)
ENTERRADA BAJO TUBO. HORMIGONADO	6,3	1	250	940	400

Tipo de canalización	Tensión (kV)	Número de ternas	Diámetro tubo (mm)	Profundidad (mm)	Anchura (mm)
SIMPLE CIRCUITO					
ENTERRADA BAJO TUBO. HORMIGONADO DOBLE CIRCUITO	6,3	2	250	1435	400
ENTERRADA BAJO TUBO. HORMIGONADO CUATRO CIRCUITOS	6,3	4	250	1435	800
ENTERRADA BAJO TUBO HORMIGONADO CINCO CIRCUITOS	6,3	5	250	1845	800

\* Nota: Los circuitos 1 y 2 tienen 2 ternas por fase (usando las canalizaciones de doble y cinco circuitos) y el circuito 3 una terna por fase (usando las de simple circuito y cinco circuitos).

Las mencionadas profundidades y anchuras se modificarán, en caso necesario cuando se encuentren otros servicios en el trazado, a fin de mantener las distancias mínimas en cruzamientos y paralelismos.



Sus principales características son las siguientes:

- Los tubos irán hormigonados o enterrados en arena en todo el recorrido.
- Cuando se prevea que la temperatura ambiente descienda por debajo de los 0°C en las 48 horas posteriores al hormigonado, se admitirá el uso de los aditivos necesarios previa consulta y aprobación por parte del promotor.
- Una vez formado el encofrado, se rellenará toda la zanja con tierra procedente de la misma excavación si esta reúne las condiciones exigidas por las normas, reglamentos y ordenanzas municipales correspondientes. En caso contrario, se utilizará tierra de aportación. Se compactará esta tierra en tongadas de 30 cm hasta lograr una compactación, como mínimo, al 95% del Proctor Modificado (P.M).
- No será necesario colocar placas de protección, pero sí efectuar una señalización de los cables enterrados, colocando una cinta señalizadora. Se colocará una cinta por terna, a una profundidad aproximada de 150 mm bajo el pavimento o terreno de reposición.

En la siguiente tabla se recogen los datos dimensionales para la sección proyectada:

Tensión (kV)	Material y sección (mm²)	Diámetro tubo (mm)	Dimensión zanja (mm)
6,3	630 Al	250	940x400
6,3	630 Al	250	1435x400
6,3	630 Al	250	1435x800

Tensión (kV)	Material y sección (mm²)	Diámetro tubo (mm)	Dimensión zanja (mm)
6,3	630 Al	250	1845x800

4.6.2. CANALIZACIÓN BAJO TUBO DIRECTAMENTE ENTERRADO

Los cables se instalarán en canalización bajo tubo directamente enterrado en aquellos tramos que se encuentren bajo el límite vallado que delimita la instalación fotovoltaica. En este tipo de canalización en 6,3 kV se instalarán los tres cables en un tubo. Las características principales de los tubos son:

- Tubo de plástico de doble pared, lisa la interna y corrugada la externa.
- Diámetro exterior de 250 mm.
- Tramos de 6 metros de longitud, con uniones entre tubos mediante manguitos con junta de estanqueidad.

La disposición de los tubos será la reflejada en el plano de CANALIZACIONES.

Las dimensiones de la zanja se indican en la tabla siguiente:

Tipo de canalización	Tensión (kV)	Número de ternas	Diámetro tubo (mm)	Profundidad (mm)	Anchura (mm)
BAJO TUBO DIRECTAMENTE	20	1	250	940	400

Tipo de canalización	Tensión (kV)	Número de ternas	Diámetro tubo (mm)	Profundidad (mm)	Anchura (mm)
ENTERRADO SIMPLE CIRCUITO					
BAJO TUBO DIRECTAMENTE ENTERRADO DOBLE CIRCUITO	20	2	250	1435	400

\*En el tipo de canalización de doble circuito se instalará un circuito con dos ternas (circuitos 1 y 2).

Las mencionadas profundidades y anchuras se modificarán, en caso necesario cuando se encuentren otros servicios en el trazado, a fin de mantener las distancias mínimas en cruzamientos y paralelismos.

Sus principales características son las siguientes:

- Los tubos irán hormigonados o enterrados bajo tubo en todo el recorrido.
- Cuando se prevea que la temperatura ambiente descienda por debajo de los 0°C en las 48 horas posteriores al hormigonado, se admitirá el uso de los aditivos necesarios previa consulta y aprobación por parte del promotor.
- Una vez formado el encofrado, se rellenará toda la zanja con tierra procedente de la misma excavación si esta reúne las condiciones exigidas por las normas, reglamentos y ordenanzas municipales correspondientes. En caso contrario, se utilizará tierra de aportación. Se compactará esta tierra en tongadas de 30 cm hasta lograr una compactación, como mínimo, al 95% del Proctor

Modificado (P.M).

- Será necesario colocar placas de protección y efectuar una señalización de los cables enterrados, colocando una cinta señalizadora. Se colocará una cinta por terna, a una profundidad aproximada de 150 mm bajo el pavimento o terreno de reposición.

En la siguiente tabla se recogen los datos dimensionales para la sección proyectada:

Tensión (kV)	Material y sección (mm²)	Diámetro tubo (mm)	Dimensión zanja (mm)
6,3	630 Al	250	940x400
6,3	630 Al	250	1435x400

## 5. PRESCRIPCIONES ESPECIALES

### 5.1. RELACIÓN DE CRUZAMIENTOS

Provincia: Valencia

Término municipal: Llanera de Ranes

Nº cruz.	Nº tramo	Inicio	Final	Distancia al origen del tramo (m)	Profundidad cables (m)	Afección	Organismo propietario
1	1	CT1	AR01	102.86	>2	Gasoducto	Enagás
2	1	CT1	AR01	119.58	>1,5	Red de Fibra Óptica	Lyntia Networks
3	1	CT1	AR01	271.41	>2	Tubería de Regadío	Sociedad de regantes de Llanera de Ranes
4	1	CT1	AR01	291.35	>2	Barranc de la Serrata de Parra	Confederación hidrográfica del Júcar
5	2	AR01	AR02	182.63	>2	Barranc de Brull	Confederación hidrográfica del Júcar

Nº cruz.	Nº tramo	Inicio	Final	Distancia al origen del tramo (m)	Profundidad cables (m)	Afección	Organismo propietario
6	4	CT2	AR03	182.67	>1,5	Red BT	I-DE Redes Eléctricas Inteligentes
7	4	CT2	AR03	236.18	>1,5	Red BT	I-DE Redes Eléctricas Inteligentes
8	5	AR03	AR04	51.46	>1,5	Red BT	I-DE Redes Eléctricas Inteligentes
9	5	AR03	AR04	117.60	>1,5	Red BT	I-DE Redes Eléctricas Inteligentes
10	5	AR03	AR04	225.65	>1,5	Red BT	I-DE Redes Eléctricas Inteligentes
11	5	AR03	AR04	308.05	>1,5	Red BT	I-DE Redes Eléctricas Inteligentes
12	5	AR03	AR04	372.83	>1,5	Red BT	I-DE Redes Eléctricas

Nº cruz.	Nº tramo	Inicio	Final	Distancia al origen del tramo (m)	Profundidad cables (m)	Afección	Organismo propietario
							Inteligentes
13	5	AR03	AR04	429.95	>1,5	Red BT	I-DE Redes Eléctricas Inteligentes
14	5	AR03	AR04	484.15	>1,5	Red BT	I-DE Redes Eléctricas Inteligentes
15	6	CT3	AR04	129.80	>2	Tubería de Regadío	Sociedad de regantes de LLanera de Ranes
16	6	CT3	AR04	423.44	1,5	Camino catastrado	Ayuntamiento Llanera de Ranes
17	6	CT3	AR04	426.06	>2	Tubería de Regadío	Sociedad de regantes de LLanera de Ranes
18	7	AR04	EB-	295.15	>1,5	Barranc de la	Confederación hidrográfica

Nº cruz.	Nº tramo	Inicio	Final	Distancia al origen del tramo (m)	Profundidad cables (m)	Afección	Organismo propietario
			Llanera			Serrata de Parra	del Júcar
19	7	AR04	EB-Llanera	298.90	1,5	Camino catastrado	Ayuntamiento Llanera de Ranes

5.2. RELACIÓN DE PARALELISMOS

5.2.1. RELACIÓN DE PARALELISMOS SUBTERRÁNEOS

Provincia: Valencia

Término municipal: Llanera de Ranes

Nº paral.	Nº tramo subterráneo	Inicio o tramo	Final tramo	Longitud paralelismo (m)	Afección	Organismo propietario
1	1	CT1	AR01	12,73	115,77	Colada de Torrent
2	Varios	CT1	AR03	283,75	573,9	Ayuntamiento Llanera de Ranes
3	Varios	CT1	EB	283,75	1487,49	Tubería de

Nº paral.	Nº tramo subterráneo	Inicio o tramo	Final tramo	Longitud paralelismo (m)	Afección	Organismo propietario
			LLANERA			regadío
4	3 y 5	AR02	AR04	157,19	285,04	Ayuntamiento Llanera de Ranes
5	5 y 7	AR03	EB LLANERA	252,45	634,06	Ayuntamiento Llanera de Ranes
6	6	CT3	AR04	40,91	380,54	Ayuntamiento Llanera de Ranes
7	6	CT3	AR04	40,91	380,54	Tubería de regadío

## 6. CONCLUSIÓN

Considerando expuestas en esta memoria del Proyecto Administrativo Constructivo de la línea subterránea “LMT Llanera” todas las razones que justifican su construcción, se espera sea concedida la Autorización Administrativa Previa, la Autorización Administrativa de Construcción, así como la Declaración de Utilidad Pública a efecto de imposición de servidumbres para el paso de la línea a través de los terrenos afectados por las obras de acuerdo con la ley 24/2013, de 26 de diciembre del Sector Eléctrico.

## **ANEJO 013. LÍNEA DE EVACUACIÓN**

## **APÉNDICE 001.- MEMORIA DE CÁLCULOS ELÉCTRICOS**

Madrid, 30 de octubre de 2024

El Ingeniero Industrial  
al servicio de la empresa  
Izharia Ingeniería

David Blanco de Miguel  
Colegiado Nº17.831 – COIIM

INDICE

1. CALCULOS ELÉCTRICOS DEL TRAMO SUBTERRÁNEO DE ALTA TENSIÓN.....	4	1.1.6. REACTANCIA .....	13
1.1. CALCULOS ELÉCTRICOS EN RÉGIMEN DE FUNCIONAMIENTO NORMAL.....	4	1.1.7. CAPACIDAD CONDUCTORES-PANTALLAS .....	14
1.1.1. DATOS DE LA INSTALACIÓN.....	5	1.1.8. PÉRDIDAS DE POTENCIA TOTALES.....	15
1.1.2. DATOS DE LOS CABLES.....	9	1.1.9. CAÍDA DE TENSIÓN MEDIA EN LOS CONDUCTORES.....	21
1.1.3. DATOS DEL TUBO .....	10	1.1.10. MÁXIMA TENSIÓN PANTALLA-TIERRA .....	22
1.1.4. RESISTENCIA DE LOS CONDUCTORES .....	10	1.1.11. INTENSIDAD MÁXIMA ADMISIBLE EN EL CABLE Y PANTALLA .....	23
1.1.5. RESISTENCIA DE LAS PANTALLAS.....	11	1.1.12. POTENCIA MÁXIMA POR LÍNEA.....	24
		1.1.13. INTENSIDAD DE CORTOCIRCUITO ADMISIBLE EN EL CABLE	24
		1.1.14. IMPEDANCIAS SECUENCIALES DE LA LÍNEA .....	25



# 1. CALCULOS ELÉCTRICOS DEL TRAMO SUBTERRÁNEO DE ALTA TENSIÓN

A continuación, se muestran los cálculos eléctricos del tramo subterráneo de la línea.

## 1.1. CALCULOS ELÉCTRICOS EN RÉGIMEN DE FUNCIONAMIENTO NORMAL

El cálculo eléctrico se realizará a partir de las características del cable a instalar, del tipo de instalación a realizar y de las condiciones en que se lleve a cabo dicha instalación, obteniéndose los parámetros eléctricos que definen la línea (intensidad máxima admisible, intensidad de cortocircuito, caída de tensión, etc).

Para la evaluación de la capacidad de transporte, se evalúa el valor de la intensidad máxima admisible que puede conducir el cable. Se calculará siguiendo el guion marcado en la Norma UNE 21144:199, equivalente a la Norma CEI-287.

Los cálculos de la intensidad de cortocircuito se calcularán siguiendo el guion marcado en la Norma UNE 21192:1992, equivalente a CEI-949, considerando hipótesis adiabática para el conductor y no adiabática para la pantalla.

El límite que marca la capacidad de transporte de un cable aislado es la temperatura límite que puede alcanzar en cada caso el conductor de cada fase de cada línea. Esta temperatura será función no sólo de las pérdidas de la propia fase, sino también de las pérdidas de las otras fases y de las otras líneas con las que se comparte canalización.

La metodología empleada habitualmente en el cálculo de capacidad de transporte de líneas subterráneas se encuentra recogida en las normas UNE 21144. Este conjunto de normas UNE se encuentra, a su vez, basado en las normas internacionales IEC 60287.

Dicha metodología se basa fundamentalmente en un modelo discreto de la instalación, basado en la analogía eléctrica de las ecuaciones de Fourier. La analogía consiste en considerar cada una de las diferentes capas que separan el conductor del exterior de la instalación como una resistencia térmica. Este tren de resistencias en serie es

atravesado por el flujo de calor asociado a la evacuación de las pérdidas de potencia activa del conductor. Al atravesar dicho flujo de calor las diferentes resistencias térmicas que va encontrando a su paso, va provocando gradientes de temperatura. La suma de todos los gradientes de temperatura determina la diferencia total de temperatura existente entre el conductor y la temperatura ambiente. Sin embargo, el empleo de resistencias térmicas implica una serie de simplificaciones, tales como considerar isotermas y sin generación interna de calor las diferentes capas entre las que se modelan las resistencias. Por otro lado, el empleo de resistencias térmicas dificulta el modelado de la influencia que tienen las pérdidas de una determinada fase en la temperatura de las otras fases y de las otras líneas. El empleo del modelo de conducción basado en resistencias térmicas implica, por tanto, pérdida de precisión en los resultados, lo cual se puede traducir en un cálculo inexacto de la capacidad de transporte de las instalaciones, que resulta mayor cuanto mayor es el número de líneas que comparten canalización.

Los cálculos de capacidad de transporte realizados en el presente proyecto se realizan aplicando una metodología para el cálculo de la capacidad de transporte de instalaciones subterráneas basada en modelos continuos de conducción.

El modelo se basa en considerar la distribución real de temperaturas en toda la instalación. La distribución total se obtiene como superposición de las distribuciones parciales debidas a cada una de las fases de cada una de las líneas del soterramiento. Por otra parte, los modelos de no-conducción se abordan siguiendo la norma que corresponda, obteniendo una determinada conductividad térmica equivalente a partir de la resistencia térmica especificada por la norma, y aplicando posteriormente modelos de conducción equivalentes.

Esta metodología cuenta con determinadas ventajas con respecto de la metodología recogida en las normas IEC y UNE. Entre estas ventajas, destaca el disponer de un modelo más preciso de interacción térmica entre las diferentes fases de las diferentes líneas de la instalación, el poder localizar los puntos calientes de la instalación, o el considerar las pérdidas de cada capa como elementos con generación interna de calor.

Si bien las pérdidas producidas en los conductores son una fuente fundamental de calor a considerar a la hora de evaluar la temperatura de funcionamiento de la

instalación, resultan también relevantes las pérdidas de potencia que aparecen en las pantallas de los cables. Estas pérdidas son debidas a las corrientes que se inducen en las pantallas, resultado del acoplamiento electromagnético existente entre conductores y pantallas. Con el objeto de obtener mayor precisión en el cálculo de corrientes por pantallas, se utilizan modelos eléctricos reales para evaluar la relación existente entre las corrientes de los diferentes conductores y las que se inducen en las diferentes pantallas por acoplamiento electromagnético, en función de los diferentes tipos de puesta a tierra que pueden emplearse en instalaciones subterráneas.

Asimismo, las conclusiones derivadas del desarrollo de la metodología aplicada han derivado en la aceptación por parte de CIGRE (Comité Internacional de Grandes Redes Eléctricas) de la publicación de un artículo expuesto en Plenaria de 2008 celebrado en París.

1.1.1. DATOS DE LA INSTALACIÓN

Datos de la instalación	
Origen tramo 1	CT1
Final tramo 1	AR-01
Longitud tramo 1 (m)	349,71 m
Descripción tramo 1	Se trata de un tramo en simple circuito dúplex (Circuito 1) desde el CT1 hasta la AR-01, los conductores cuentan con una distancia total de 349,71 m (donde 142,74 m son enterrados bajo tubo hormigonado, 206,97 m son bajo tubo directamente enterrados)
Origen tramo 2	AR-01
Final tramo 2	AR-02

Longitud tramo 2 (m)	350,06 m
Descripción tramo 2	Se trata de un tramo desde AR-01 hasta AR-02, cuenta con una distancia de 350,06 m. Cuenta con una canalización en doble circuito enterrada bajo tubo hormigonado. En esta canalización solo se aloja el circuito 1.
Origen tramo 3	AR-02
Final tramo 3	AR-03
Longitud tramo 3 (m)	190,00 m
Descripción tramo 3	Se trata de un tramo desde AR-02 hasta AR-03, cuenta con una distancia de 190,00 m. Cuenta con una canalización en doble circuito (donde se instalará el circuito 2, siendo este un circuito con dos ternas) enterrada bajo tubo hormigonado. En esta canalización solo se aloja el circuito 1.
Origen tramo 4	CT2
Final tramo 4	AR-03
Longitud tramo 4 (m)	244,75 m
Descripción tramo 4	Se trata de un tramo desde CT2 hasta AR-03, cuenta con una distancia de 244,75 m. Cuenta con una canalización en doble circuito (donde se instalará un circuito con dos ternas) enterrada bajo tubo. En esta

	canalización solo se aloja el circuito 2 (donde 7,75 m son enterrados bajo tubo hormigonado, 237m son bajo tubo directamente enterrado)
Origen tramo 5	AR-03
Final tramo 5	AR-04
Longitud tramo 5 (m)	587,73 m
Descripción tramo 5	Se trata de un tramo desde AR-03 hasta AR-04 cuenta con una distancia de 587,73 m Cuenta con una canalización con cuatro circuitos enterrada (donde se instalarán dos circuitos con dos ternas cada uno) bajo tubo hormigonado. En esta canalización se alojan los circuitos 1 y 2.
Origen tramo 6	CT3
Final tramo 6	AR-04
Longitud tramo 6 (m)	429,92 m
Descripción tramo 6	Se trata de un tramo desde CT3 a AR-04, cuenta con una distancia de 429,92 m (donde 394,44 m son enterrados bajo tubo hormigonado, 35,48 m son bajo tubo directamente enterrado). En esta canalización se aloja el circuito 3.
Origen tramo 7	AR-04

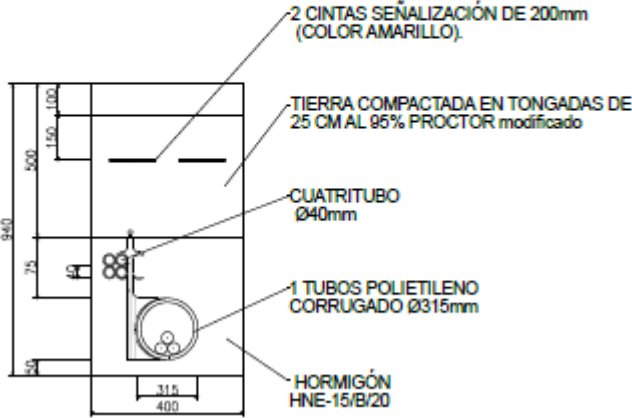
Final tramo 7	ST Llanera
Longitud tramo 7 (m)	389,22 m
Descripción tramo 7	Se trata de un tramo desde AR-04 (Arqueta 04) a ST Llanera, cuenta con una distancia de 389,22 m. Se trata de una canalización con cinco circuitos enterrados bajo tubo. En esta canalización se alojan los circuitos 1, 2 y 3, con un total de cinco ternas.
Tipo de canalización	<p>TIPO 1: Simple circuito bajo tubo hormigonada</p> <p>TIPO 2: Doble circuito bajo tubo hormigonada</p> <p>TIPO 1': Simple circuito directamente enterrado</p> <p>TIPO 2': Doble circuito directamente enterrado</p> <p>TIPO 3: Cuatro circuitos bajo tubo hormigonada</p> <p>TIPO 4: Cinco circuitos bajo tubo hormigonado</p>
Diámetro exterior tubo (mm)	250
Diámetro interior tubo (mm)	212
Temperatura del aire ambiente (°C)	25

Altura del encofrado de hormigón (mm)	450, 875 y 1285
Anchura del encofrado de hormigón (mm)	400 y 800

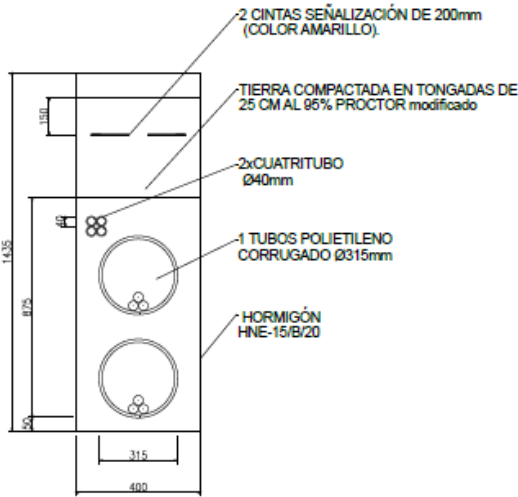
Nota: En las canalizaciones de doble circuito se instalará un circuito con dos ternas, en el de cuatro circuitos se instalarán dos circuitos con dos ternas cada uno y en el de cinco circuitos se instalarán tres circuitos.

Detalles de las zanjas:

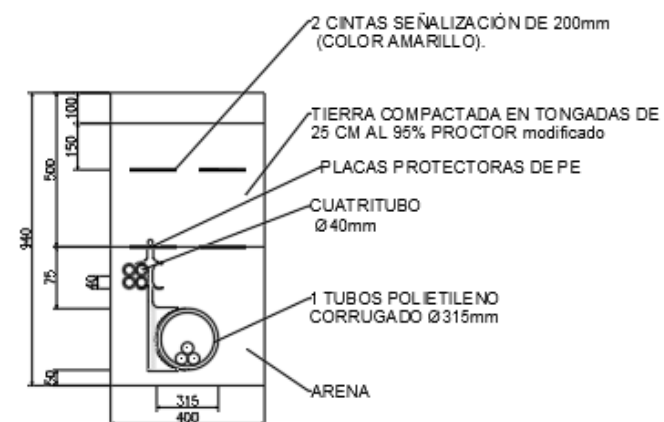
CANALIZACIÓN TIPO 1:  
SIMPLE CIRCUITO



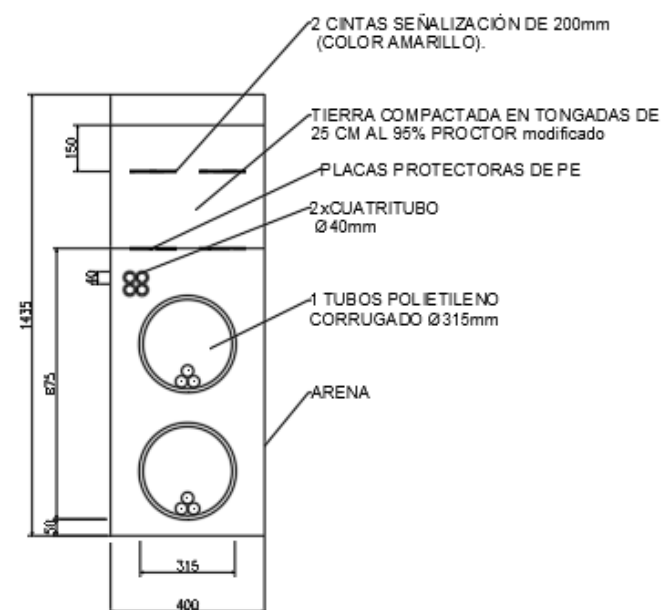
CANALIZACIÓN TIPO 2:  
DOBLE CIRCUITO



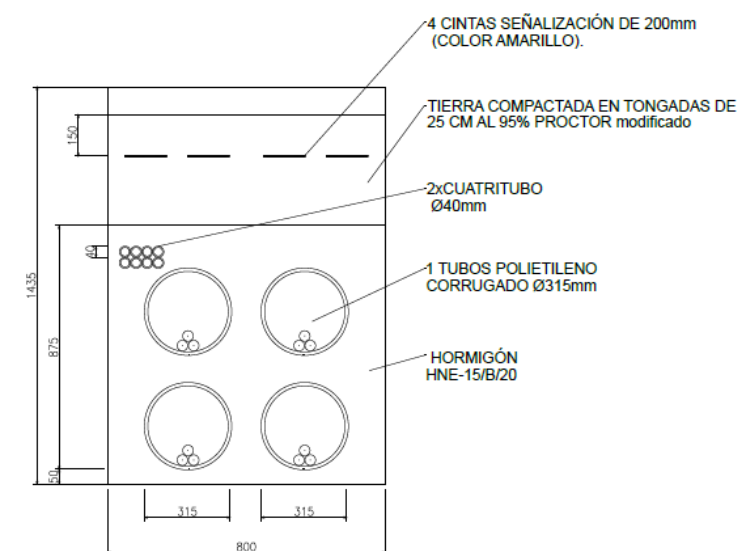
CANALIZACIÓN TIPO 1':  
SIMPLE CIRCUITO



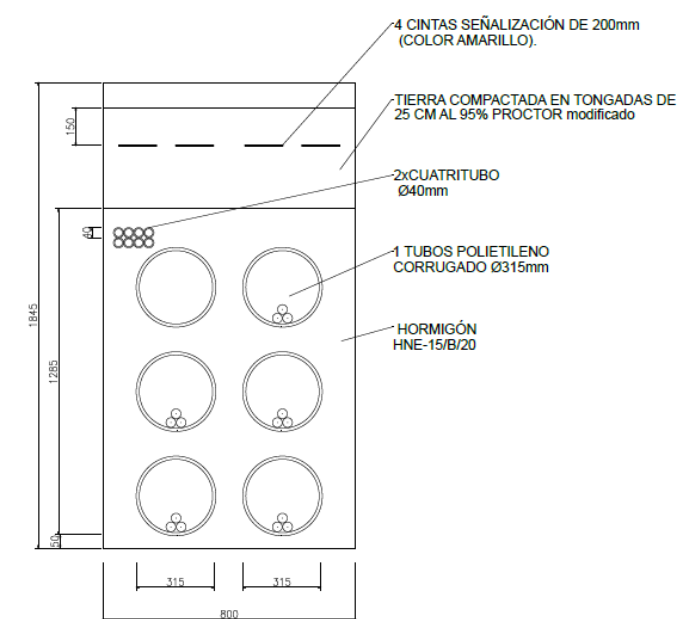
CANALIZACIÓN TIPO 2':  
DOBLE CIRCUITO



CANALIZACIÓN TIPO 3:  
CUATRO CIRCUITOS



CANALIZACIÓN TIPO 4:  
CINCO CIRCUITOS



1.1.2. DATOS DE LOS CABLES

Los cálculos se pueden realizar en base a la limitación impuesta por la temperatura máxima en los conductores, la temperatura máxima en las pantallas o especificando la corriente que va a circular por cada una de las fases. Por ello, será necesario introducir como datos:

- Modo de cálculo
- Corriente que circula por cada fase (en caso de especificar el modo de corrientes)

Los cálculos realizados para la instalación de este proyecto se han realizado limitando la temperatura máxima de los conductores.

El comportamiento del cable y, por consiguiente, de la instalación, vendrá condicionado por las características constructivas del mismo.

Los cables presentan, en general, una estructura de sección circular, formada por diversas capas de materiales. Los materiales y dimensiones que componen estas capas deben definirse atendiendo a criterios térmicos, eléctricos y mecánicos.

En la siguiente tabla se detallan los parámetros según catálogo de fabricante que se deben definir:

Datos del conductor	
Denominación	RHZ1-OL 6/10 kV 1x630AL+ H16
Material	Aluminio
Resistividad térmica (W/K m)	205
Diámetro (mm)	30,5
Área (mm²)	630

Temperatura límite (°C)	90
Resistividad eléctrica DC, 20°C (Ω·m)	0,0284**
Ks	1
Kp	1
Datos del aislamiento	
Material	POLIETILENO RETICULADO XLPE
Resistividad térmica (K·m/W)	3,5
Diámetro sobre aislamiento(mm)	42,5
Permitividad dieléctrica relativa (ε)	2,5
Datos de la pantalla	
Material	Cobre
Tipo	Hilos de cobre
Resistividad térmica (W/K m)	385
Diámetro sobre la pantalla (mm)	45,1
Área (mm²)	16
Temperatura límite (°C)	80
Datos de la cubierta	
Material	Poliolefina tipo DMZ1.

Resistividad térmica (K·m/W)	3,5
Diámetro (mm)	55,0

1.1.3. DATOS DEL TUBO

La instalación se realizará en tresbolillo, hormigonada y bajo tubo. Las características del tubo a emplear son:

Datos del tubo	
Material del tubo	Polietileno
Diámetro interior (mm)	222
Diámetro exterior (mm)	250
Resistividad térmica (Km/W)	3,5*

(\*) UNE 21144

En la canalización registrable del interior de la subestación, no se utilizan tubos para el tendido de los cables de potencia.

1.1.4. RESISTENCIA DE LOS CONDUCTORES

La resistencia del conductor por unidad de longitud se calcula, de acuerdo con la Norma UNE 21144, con la siguiente expresión:

$$R_c = \frac{\rho_c}{A_c} \cdot (1 + y_c + y_s) \cdot [1 + \alpha \cdot (T_c^{lim} - 20)] \quad (\Omega)$$

Esta resistencia es obtenida a partir de la resistividad eléctrica del conductor a 20°C y en corriente continua (ρ\_C), y aplicando sobre la misma las siguientes correcciones:

- Corrección térmica (α)
- Efecto pelicular (ys)
- Efecto de proximidad (yp)

Los parámetros Ac, α y la temperatura límite del conductor Tclim son parámetros de entrada. Los coeficientes ys e yp son obtenidos a partir de los parámetros de entrada ks y kp mediante las fórmulas recogidas en la en la norma UNE 21144-1-1 (sección 2.1.2, página 15 y sección 2.1.4.1, página 16, respectivamente).

En las siguientes tablas se detallan los resultados obtenidos para la línea del proyecto:

TIPO DE CANALIZACIÓN 1

Tensión (kV)	Material y sección (mm²)	Longitud (km)	R <sub>c.c.</sub> 20 °C (Ω/km)	ys	yp	R <sub>c.a.</sub> 90 °C (Ω/km)
6,3	630 Al	0,394	0,0469	0,02321	0,01948	0,0626

TIPO DE CANALIZACIÓN 2

Tensión (kV)	Material y sección (mm²)	Longitud (km)	R <sub>c.c.</sub> 20 °C (Ω/km)	y <sub>s</sub>	y <sub>p</sub>	R <sub>c.a.</sub> 90 °C (Ω/km)
6,3	630 Al	0,690	0,0469	0,02321	0,01949	0,0626

TIPO DE CANALIZACIÓN 1'

Tensión (kV)	Material y sección (mm²)	Longitud (km)	R <sub>c.c.</sub> 20 °C (Ω/km)	y <sub>s</sub>	y <sub>p</sub>	R <sub>c.a.</sub> 90 °C (Ω/km)
6,3	630 Al	0,035	0,0469	0,02234	0,01879	0,0626

TIPO DE CANALIZACIÓN 2'

Tensión (kV)	Material y sección (mm²)	Longitud (km)	R <sub>c.c.</sub> 20 °C (Ω/km)	y <sub>s</sub>	y <sub>p</sub>	R <sub>c.a.</sub> 90 °C (Ω/km)
6,3	630 Al	0,443	0,0469	0,02234	0,01879	0,0626

TIPO DE CANALIZACIÓN 3

Tensión (kV)	Material y sección (mm²)	Longitud (km)	R <sub>c.c.</sub> 20 °C (Ω/km)	y <sub>s</sub>	y <sub>p</sub>	R <sub>c.a.</sub> 90 °C (Ω/km)
6,3	630 Al	0,590	0,0469	0,02325	0,01952	0,0626

TIPO DE CANALIZACIÓN 4

Tensión (kV)	Material y sección (mm²)	Longitud (km)	R <sub>c.c.</sub> 20 °C (Ω/km)	y <sub>s</sub>	y <sub>p</sub>	R <sub>c.a.</sub> 90 °C (Ω/km)
6,3	630 Al	0,389	0,0469	0,0361	0,04266	0,0626

1.1.5. RESISTENCIA DE LAS PANTALLAS

La resistencia de las pantallas se calcula de forma análoga a la de los conductores, según la siguiente fórmula:

$$R_p = \frac{\rho_p}{A_p} \cdot [1 + \alpha \cdot (T_p^{lim} - 20)] \quad (\Omega)$$

Los efectos pelicular y de proximidad no son aplicables, debiéndose considerar únicamente el efecto de corrección de la resistencia por temperatura, calculada para la temperatura de límite especificada.

R<sub>p</sub> es la resistencia de la pantalla por unidad de longitud. Dicha resistencia es obtenida a partir de la resistividad de la pantalla a 20°C y en corriente continua (ρ<sub>p</sub>), aplicando sobre la misma las siguientes correcciones:

- Corrección térmica (α)



- Los parámetros  $A_p$ ,  $\alpha$  y la temperatura límite de la pantalla  $T_p^{lim}$  son parámetros de entrada.

En las siguientes tablas se recogen los resultados para la línea del proyecto:

TIPO DE CANALIZACIÓN 1

Tensión (kV)	Material y sección conductor (mm²)	Material y sección pantalla (mm²)	Longitud (km)	R <sub>c.c.</sub> 20 °C (Ω/km)	T <sup>a</sup> pantall a c.a. (°C)	R <sub>c.a</sub> (T <sup>a</sup> pantalla c.a.) (Ω/km)	R <sub>c.a</sub> (T <sup>a</sup> pantalla c.a.) (Ω)
6,3	630 Al	16 Cu	0,394	1,12468	80	1,4128	0,5566

TIPO DE CANALIZACIÓN 2

Tensión (kV)	Material y sección conductor (mm²)	Material y sección pantalla (mm²)	Longitud (km)	R <sub>c.c.</sub> 20 °C (Ω/km)	T <sup>a</sup> pantall a c.a. (°C)	R <sub>c.a</sub> (T <sup>a</sup> pantalla c.a.) (Ω/km)	R <sub>c.a</sub> (T <sup>a</sup> pantalla c.a.) (Ω)
6,3	630 Al	16 Cu	0,690	1,12468	80	1,41962	0,9795

TIPO DE CANALIZACIÓN 1'

Tensión (kV)	Material y sección conductor (mm²)	Material y sección pantalla (mm²)	Longitud (km)	R <sub>c.c.</sub> 20 °C (Ω/km)	T <sup>a</sup> pantall a c.a. (°C)	R <sub>c.a</sub> (T <sup>a</sup> pantalla c.a.) (Ω/km)	R <sub>c.a</sub> (T <sup>a</sup> pantalla c.a.) (Ω)
6,3	630 Al	16 Cu	0,035	1,12468	80	1,41458	0,0495

TIPO DE CANALIZACIÓN 2'

Tensión (kV)	Material y sección conductor (mm²)	Material y sección pantalla (mm²)	Longitud (km)	R <sub>c.c.</sub> 20 °C (Ω/km)	T <sup>a</sup> pantall a c.a. (°C)	R <sub>c.a</sub> (T <sup>a</sup> pantalla c.a.) (Ω/km)	R <sub>c.a</sub> (T <sup>a</sup> pantalla c.a.) (Ω)
6,3	630 Al	16 Cu	0,443	1,12468	80	1,42323	0,6305

TIPO DE CANALIZACIÓN 3

Tensión (kV)	Material y sección conductor (mm²)	Material y sección pantalla (mm²)	Longitud (km)	R <sub>c.c.</sub> 20 °C (Ω/km)	T <sup>a</sup> pantall a c.a. (°C)	R <sub>c.a</sub> (T <sup>a</sup> pantalla c.a.) (Ω/km)	R <sub>c.a</sub> (T <sup>a</sup> pantalla c.a.) (Ω)
6,3	630 Al	16 Cu	0,590	1,12468	80	1,42417	0,8403

TIPO DE CANALIZACIÓN 4

Tensión (kV)	Material y sección conductor (mm²)	Material y sección pantalla (mm²)	Longitud (km)	R <sub>c.c.</sub> 20 °C (Ω/km)	Tª pantall a c.a. (°C)	R <sub>c.a</sub> (Tª pantalla c.a.) (Ω/km)	R <sub>c.a</sub> (Tª pantalla c.a.) (Ω)
6,3	630 Al	16 Cu	0,389	1,1398	80	1,42916	0,5559

### 1.1.6. REACTANCIA

La reactancia por km de línea viene dada por la fórmula:

$$X_L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L \quad (\Omega/km)$$

Siendo:

*f*: Frecuencia de la red

*L*: Coeficiente de autoinducción entre fases, cuyo valor es:

$$L = \left[ \left( 0,5 + 2 \cdot \ln \left( \frac{2 \cdot D_m}{d} \right) \right) \cdot 10^{-4} \right] \quad (H/km)$$

Siendo:

*D<sub>m</sub>*: Separación media geométrica entre fases (mm)

*d*: Diámetro del conductor (mm)

Por lo tanto, la reactancia kilométrica es:

#### TIPO DE CANALIZACIÓN 1

Material y sección del conductor (mm²)	Longitud (km)	X <sub>L</sub>	
		(Ω/km)	(Ω)
630 Al	0,394	0,09631	0,0379

#### TIPO DE CANALIZACIÓN 2

Material y sección del conductor (mm²)	Longitud (km)	X <sub>L</sub>	
		(Ω/km)	(Ω)
630 Al	0,690	0,09631	0,0665

#### TIPO DE CANALIZACIÓN 1'

Material y sección del conductor (mm²)	Longitud (km)	X <sub>L</sub>	
		(Ω/km)	(Ω)
630 Al	0,035	0,09631	0,0034

TIPO DE CANALIZACIÓN 2'

Material y sección del conductor (mm²)	Longitud (km)	X <sub>L</sub>	
		(Ω/km)	(Ω)
630 Al	0,443	0,09631	0,04266

TIPO DE CANALIZACIÓN 3

Material y sección del conductor (mm²)	Longitud (km)	X <sub>L</sub>	
		(Ω/km)	(Ω)
630 Al	0,590	0,09631	0,0568

TIPO DE CANALIZACIÓN 4

Material y sección del conductor (mm²)	Longitud (km)	X <sub>L</sub>	
		(Ω/km)	(Ω)
630 Al	0,389	0,09631	0,0375

1.1.7. CAPACIDAD CONDUCTORES-PANTALLAS

La capacidad por unidad de longitud entre un conductor y su pantalla se calcula por la siguiente expresión:

$$C = \frac{\epsilon_r \cdot \epsilon_0}{\ln\left(\frac{r_e}{r_i}\right)} \quad (F/km)$$

Donde:

$\epsilon_r$ : Permitividad relativa del aislante

$\epsilon_o$ : Permitividad relativa del vacío (8,85·10<sup>-12</sup> F/m)

$r_e$ : Radio exterior del aislamiento

$r_i$ : Radio interior del aislamiento

Las tablas siguientes muestran los valores de capacidad conductor-pantallas para cable a instalar en la línea en función del tipo de zanja:

TIPO DE CANALIZACIÓN 1

Material y sección del conductor (mm²)	Longitud (km)	Capacidad (µF/km)	
		(µF/km)	(µF)
630 Al	0,394	0,464	0,183

TIPO DE CANALIZACIÓN 2

Material y sección del conductor (mm²)	Longitud (km)	Capacidad (µF/km	
		(µF/km)	(µF)
630 Al	0,690	0,464	0,320

TIPO DE CANALIZACIÓN 1'

Material y sección del conductor (mm²)	Longitud (km)	Capacidad (µF/km	
		(µF/km)	(µF)
630 Al	0,035	0,464	0,341

TIPO DE CANALIZACIÓN 2'

Material y sección del conductor (mm²)	Longitud (km)	Capacidad (µF/km	
		(µF/km)	(µF)
630 Al	0,443	0,464	0,206

TIPO DE CANALIZACIÓN 3

Material y sección del conductor (mm²)	Longitud (km)	Capacidad (µF/km	
		(µF/km)	(µF)
630 Al	0,590	0,464	0,274

TIPO DE CANALIZACIÓN 4

Material y sección del conductor (mm²)	Longitud (km)	Capacidad (µF/km	
		(µF/km)	(µF)
630 Al	0,389	0,464	0,181

1.1.8. PÉRDIDAS DE POTENCIA TOTALES

Los resultados obtenidos relativos a las diferentes pérdidas de potencia que se producen en cada línea a consecuencia de la carga que transportan son:

- Pérdidas de potencia activa en el conductor (W/m)
- Pérdidas de potencia activa en la pantalla en cada tramo (W/m)
- Pérdidas de potencia activa en el aislamiento (W/m)

Al paso de una determinada corriente *I*<sub>c</sub> a través de un conductor, se generan unas determinadas Al paso de una determinada corriente *I*<sub>c</sub> a través de un conductor, se generan unas determinadas pérdidas de potencia activa por efecto Joule. Dichas pérdidas por unidad de longitud serán:

$$W_c = I_c^2 \cdot R_c$$

Donde Rc es la resistencia del conductor por unidad de longitud. Dicha resistencia se obtiene a partir de la resistividad eléctrica del conductor a 20°C y en corriente continua (pc), y aplicando sobre la misma las siguientes correcciones:

- Corrección térmica (α)
- Efecto pelicular (ys)
- Efecto de proximidad (yp)

Por lo tanto, la resistencia del conductor por unidad de longitud será:

$$R_c = \frac{\rho_c}{A_c} \cdot (1 + y_c + y_s) \cdot [1 + \alpha \cdot (T_p^{lim} - 20)]$$

Los parámetros Ac, α y la temperatura límite del conductor T<sub>c</sub><sup>lim</sup> son parámetros de entrada. Los coeficientes ys e yp son obtenidos a partir de los parámetros de entrada ks y kp mediante las fórmulas recogidas en la en la norma UNE 21144-1-1 (sección 2.1.2, página 15 y sección 2.1.4.1, página 16, respectivamente).

1.1.8.1. Pérdidas de potencia en las pantallas

Las pantallas de los cables subterráneos suponen también una fuente de calor a tener en cuenta a la hora de calcular las temperaturas de las líneas y establecer cuál es la capacidad de transporte de la instalación. Las pérdidas de potencia en las pantallas son debidas por un lado a las pérdidas óhmicas debidas al paso de corrientes inducidas por las pantallas, y por el otro lado a la existencia de corrientes de Foucault.

a)Pérdidas por corrientes inducidas

Al paso de una determinada corriente Ip a través del conductor de una pantalla, se generan unas pérdidas de potencia activa por efecto Joule. Estas pérdidas por unidad de longitud son:

$$W_p = I_p^2 \cdot R_p$$

b)Pérdidas por corrientes de Foucault

La evaluación de estas pérdidas de potencia en las pantallas debidas a corrientes de Foucault se realiza atendiendo a las directrices de las normas UNE e CEI. En la norma UNE 21144-1-1 (sección 2.3.6, página 23). Se define un parámetro de escala λ<sub>1</sub>”, el cual relaciona las pérdidas en las pantallas con las pérdidas de los conductores. Así, las pérdidas de potencia en la pantalla de un determinado cable Wp se obtendrán de la siguiente forma:

$$W_p = \lambda_1'' \cdot W_c$$

Donde Wp representa las pérdidas de potencia del conductor relativo al mismo cable de la pantalla.

1.1.8.2. Pérdidas de potencia en el aislamiento

El material aislante existente entre los conductores y las pantallas de los cables tiene un efecto capacitivo que conlleva la aparición de pérdidas dieléctricas. Estas pérdidas dependen de la tensión, por lo que a ciertos niveles deben ser consideradas. El valor de estas pérdidas dieléctricas se obtiene a partir de la siguiente expresión:

$$W_d = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot C \cdot U_0^2 \cdot tg\delta$$

Donde:

- f: Frecuencia de la red
- C: Capacidad por unidad de longitud
- Uo: Tensión respecto a tierra

$tg \delta$ : Factor de pérdidas del aislamiento

La capacidad por unidad de longitud para los conductores de sección circular viene dada por:

$$C = \frac{\epsilon_r \cdot \epsilon_0}{\ln\left(\frac{r_e}{r_i}\right)} \quad (F/km)$$

Donde:

$\epsilon_r$ : Permitividad relativa del aislante

$\epsilon_0$ : Permitividad relativa del vacío (8,85·10<sup>-12</sup> F/m)

$r_e$ : Radio exterior del aislamiento

$r_i$ : Radio interior del aislamiento

Los valores de la permitividad dieléctrica relativa y factor de pérdidas de aislamientos a base de polietileno reticulado se pueden aproximar según norma a los valores de referencia:

$\epsilon = 2,5$

1.1.8.3. Pérdidas de potencia totales

En la siguiente tabla, se resumen los valores de pérdidas de potencia obtenidos para el cable y disposición de la línea del proyecto:

TIPO DE CANALIZACIÓN 1

Longitud (km)	Material y sección	W <sub>conductor</sub>	W <sub>aislamiento</sub>	W <sub>pantalla</sub>	W <sub>totales</sub>			
		(W/km)	(W/km)	(W/km)	(W/km)	(W)	MW	(%)
0,394	630 Al	24.883,87	7,71	0,0000	24.890,57	9.806,88	0,0098	0,055

TIPO DE CANALIZACIÓN 2

Longitud (km)	Material y sección	W <sub>conductor</sub>	W <sub>aislamiento</sub>	W <sub>pantalla</sub>	W <sub>totales</sub>			
		(W/km)	(W/km)	(W/km)	(W/km)	(W)	MW	(%)
0,690	630 Al	16.517,56	7,71	0,0000	16.525,27	11.402,44	0,011	0,062

TIPO DE CANALIZACIÓN 1'

Longitud (km)	Material y sección	W <sub>conductor</sub>	W <sub>aislamiento</sub>	W <sub>pantalla</sub>	W <sub>totales</sub>			
		(W/km)	(W/km)	(W/km)	(W/km)	(W)	MW	(%)
0,035	630 Al	22.219,28	7,71	0,0000	22.226,99	777,95	0,00078	0,004

TIPO DE CANALIZACIÓN 2'

Longitud (km)	Material y sección	W <sub>conductor</sub>	W <sub>aislamiento</sub>	W <sub>pantalla</sub>	W <sub>totales</sub>			
		(W/km)	(W/km)	(W/km)	(W/km)	(W)	MW	(%)
0,443	630 Al	17.666,59	7,71	0,0000	17.674,30	7.829,71	0,0078	0,044

TIPO DE CANALIZACIÓN 3

Longitud (km)	Material y sección	W <sub>conductor</sub>	W <sub>aislamiento</sub>	W <sub>pantalla</sub>	W <sub>totales</sub>			
		(W/km)	(W/km)	(W/km)	(W/km)	(W)	MW	(%)
0,590	630 Al	10.845,28	7,71	0,0000	10.852,99	6.403,26	0,0064	0,0361

TIPO DE CANALIZACIÓN 4

Longitud (km)	Material y sección	W <sub>conductor</sub>	W <sub>aislamiento</sub>	W <sub>pantalla</sub>	W <sub>totales</sub>			
		(W/km)	(W/km)	(W/km)	(W/km)	(W)	MW	(%)
0,389	630 Al	15.294,89	7,71	0,0000	15.302,60	5.952,71	0,00595	0,033

Las pérdidas de potencia han sido calculadas con respecto a la potencia máxima prevista de la instalación generadora (17,7 MVA) considerando un factor de potencia de 0,90. Las pérdidas totales alcanzarán 0,234 %, en el caso de que los cables llegarán a evacuar al total de capacidad.

Circuito 1	Longitud (km) Canalización 2	Longitud (km) Canalización 2'	Longitud (km) Canalización 3	Longitud (km) Canalización 4		
	0,682	0,207	0,59	0,389		
	Perdidas de potencia(W)	Perdidas de potencia(W)	Perdidas de potencia(W)	Perdidas de potencia(W)	Total (W)	%
	7.776,46	3.658,58	6.403,26	5952,71	23.790,91	0,134%

Longitud (km) Canalización 2	Longitud (km) Canalización 2'	Longitud (km) Canalización 3	Longitud (km) Canalización 4
---------------------------------------	--	---------------------------------------	---------------------------------------

Circuito 2	0,007	0,237	0,59	0,389		
	Perdidas de potencia(W)	Perdidas de potencia(W)	Perdidas de potencia(W)	Perdidas de potencia(W)	Total (W)	%
	115,677	4.188,80	6.403,264	5.952,71	16.660,45	0,094%

Circuito 3	Longitud (km) Canalización 1	Longitud (km) Canalización 1'	Longitud (km) Canalización 4			
	0,394	0,035	0,389			
	Perdidas de potencia(W)	Perdidas de potencia(W)	Perdidas de potencia(W)	Total (W)	%	
	9.806,88	777,94	5952,71	16.537,53	0,093%	

1.1.8.4. Factores de acoplamiento cables – pantallas

Los factores de acoplamiento cables-pantallas indican la relación entre pérdidas en las pantallas de los cables y las pérdidas en su conductor correspondiente.

Por cada línea y cada fase, los resultados que se muestran son:

- Factor de acoplamiento medio de la instalación
- Factor de acoplamiento debido a corrientes de Foucault
- Factor de acoplamiento debido a corrientes inducidas por acoplamiento electromagnético en cada uno de los tramos.

El factor de acoplamiento total es calculado como la relación entre las pérdidas en la pantalla y las pérdidas en el conductor (Wp/Wc). Por otra parte, el último de los factores de acoplamiento es un valor orientativo respecto al denominado en las normas UNE y CEI como λ1'. Esto es, la norma UNE 21144-2-1 define en la sección 2.1, página 17, el factor de pérdidas λ1' como la relación entre las pérdidas que se producen en una pantalla y las que se producen en su conductor correspondiente, debidas únicamente a corrientes inducidas.

Puesto que en la aplicación la relación entre corrientes inducidas en las pantallas y las corrientes por los conductores se ha ampliado a un nivel matricial, el factor de pérdidas λ1' no se considera como tal. Por este motivo, se incluye en los resultados un factor de pérdidas λ1' orientativo, calculado como residuo de la relación entre las pérdidas que se producen en una pantalla y las que se producen en su conductor correspondiente, al restarle el factor de acoplamiento debido a corrientes parásitas de Foucault.

Esto es:

$$\lambda' = \frac{W_p}{W_c} - \lambda''$$

En las siguientes tablas se recogen los valores de los factores de acoplamiento cables-pantallas, para la línea

TIPO DE CANALIZACIÓN 1

Longitud (km)	Material y sección (mm²)	Fase	λ' (Circulaci ón)	λ'' (Foucault)	λ1' Total
0,394	630 Al	R	0,00	0,00	0,00
		S	0,00	0,00	0,00
		T	0,00	0,00	0,00

TIPO DE CANALIZACIÓN 2

Longitud (km)	Material y sección (mm²)	Fase	λ' (Circulaci ón)	λ'' (Foucault)	λ1' Total
0,690	630 Al	R	0,00	0,00	0,00
		S	0,00	0,00	0,00
		T	0,00	0,00	0,00

TIPO DE CANALIZACIÓN 1'

Longitud (km)	Material y sección (mm²)	Fase	λ' (Circulaci ón)	λ'' (Foucault)	λ1' Total
0,035	630 Al	R	0,00	0,00	0,00
		S	0,00	0,00	0,00
		T	0,00	0,00	0,00



TIPO DE CANALIZACIÓN 2'

Longitud (km)	Material y sección (mm²)	Fase	$\lambda'$ (Circulaci ón)	$\lambda''$ (Foucault)	$\lambda_1'$ Total
0,443	630 Al	R	0,00	0,00	0,00
		S	0,00	0,00	0,00
		T	0,00	0,00	0,00

TIPO DE CANALIZACIÓN 4

Longitud (km)	Material y sección (mm²)	Fase	$\lambda'$ (Circulaci ón)	$\lambda''$ (Foucault)	$\lambda_1'$ Total
0,389	630 Al	R	0,00	0,00	0,00
		S	0,00	0,00	0,00
		T	0,00	0,00	0,00

TIPO DE CANALIZACIÓN 3

Longitud (km)	Material y sección (mm²)	Fase	$\lambda'$ (Circulaci ón)	$\lambda''$ (Foucault)	$\lambda_1'$ Total
0,590	630 Al	R	0,00	0,00	0,00
		S	0,00	0,00	0,00
		T	0,00	0,00	0,00

1.1.9. CAÍDA DE TENSIÓN MEDIA EN LOS CONDUCTORES

Expresa la caída de tensión que se produce en los conductores de las líneas en el punto de funcionamiento crítico, medida en V/km. Se obtiene a partir de las ecuaciones descritas del modelo eléctrico, empleando como entrada de corrientes de conductores la obtenida como solución del algoritmo de cálculo de capacidad.

En las siguientes tablas se recogen los valores de caída de tensión de la línea:

TIPO DE CANALIZACIÓN 1

Material y sección	Longitud (km)	Conexión de puesta a tierra de la pantalla	Caída de tensión		
			(V/km)	(V)	(%)
630 Al	0,394	SINGLE POINT	48,69	19,18	0,30

TIPO DE CANALIZACIÓN 2

Material y sección	Longitud (km)	Conexión de puesta a tierra de la pantalla	Caída de tensión		
			(V/km)	(V)	(%)
630 Al	0,690	SINGLE POINT	32,79	22,63	0,36

TIPO DE CANALIZACIÓN 1'

Material y sección	Longitud (km)	Conexión de puesta a tierra de la pantalla	Caída de tensión		
			(V/km)	(V)	(%)
630 Al	0,035	SINGLE POINT	48,69	1,704	0,027

TIPO DE CANALIZACIÓN 2'

Material y sección	Longitud (km)	Conexión de puesta a tierra de la pantalla	Caída de tensión		
			(V/km)	(V)	(%)
630 Al	0,443	SINGLE POINT	43,21	19,14	0,30

TIPO DE CANALIZACIÓN 3

Material y sección	Longitud (km)	Conexión de puesta a tierra de la pantalla	Caída de tensión		
			(V/km)	(V)	(%)
630 Al	0,590	SINGLE POINT	32,79	19,35	0,31

TIPO DE CANALIZACIÓN 4

Material y sección	Longitud (km)	Conexión de puesta a tierra de la pantalla	Caída de tensión		
			(V/km)	(V)	(%)
630 Al	0,389	SINGLE POINT	39,47	15,35	0,20

Circuito 1	Longitud (km)	Longitud (km)	Longitud (km)	Longitud (km)		
	Canalización 2	Canalización 2'	Canalización 3	Canalización 4		
	0,682	0,207	0,59	0,389		
	Caída de tensión (V)	Caída de tensión (V)	Caída de tensión (V)	Caída de tensión (V)	Total	%
	22,36	8,944	19,34	15,35	65,99	1,05%

Circuito 2	Longitud (km) Canalización 2	Longitud (km) Canalización 2'	Longitud (km) Canalización 3	Longitud (km) Canalización 4		
	0,007	0,237	0,59	0,389	Total	%
Caida de tension (V)		Caida de tension (V)	Caida de tension (V)	Caida de tension (V)		
0,229		10,240	19,346	15,35	45,1687	0,72%

Circuito 3	Longitud (km) Canalización 1	Longitud (km) Canalización 1'	Longitud (km) Canalización 4		
	0,394	0,035	0,389	Total	%
Caida de tension (V)		Caida de tension (V)	Caida de tension (V)		
19,184		1,147	15,36	35,685	0,56%

1.1.10. MÁXIMA TENSIÓN PANTALLA-TIERRA

El máximo valor de tensión pantalla-tierra para cada tramo de línea es:

TIPO DE CANALIZACIÓN 1

Material y sección	Longitud (km)	Conexión de puesta a tierra de la pantalla	Posición (m)	Máxima tensión pantalla-tierra (V)
630 AI	0,394	SINGLE POINT	-	14,19

TIPO DE CANALIZACIÓN 2

Material y sección	Longitud (km)	Conexión de puesta a tierra de la pantalla	Posición (m)	Máxima tensión pantalla-tierra (V)
630 AI	0,690	SINGLE POINT	-	22,71

TIPO DE CANALIZACIÓN 1'

Material y sección	Longitud (km)	Conexión de puesta a tierra de la pantalla	Posición (m)	Máxima tensión pantalla-tierra (V)
630 AI	0,035	SINGLE POINT	-	1,19

TIPO DE CANALIZACIÓN 2'

Material y sección	Longitud (km)	Conexión de puesta a tierra de la pantalla	Posición (m)	Máxima tensión pantalla-tierra (V)
630 AI	0,443	SINGLE POINT	-	15,38

TIPO DE CANALIZACIÓN 3

Material y sección	Longitud (km)	Conexión de puesta a tierra de la pantalla	Posición (m)	Máxima tensión pantalla-tierra (V)
630 Al	0,590	SINGLE POINT	-	18,20

TIPO DE CANALIZACIÓN 4

Material y sección	Longitud (km)	Conexión de puesta a tierra de la pantalla	Posición (m)	Máxima tensión pantalla-tierra (V)
630 Al	0,389	SINGLE POINT	-	10,63

**1.1.11. INTENSIDAD MÁXIMA ADMISIBLE EN EL CABLE Y PANTALLA**

Los resultados calculados hacen referencia a las corrientes máximas admisibles en la instalación en conductores y pantallas, calculadas para las distintas configuraciones tipo.

Por cada fase de cada línea, los resultados calculados son:

- Corriente máxima admisible a través del conductor (A)
- Corriente máxima admisible a través de la pantalla en cada uno de los tramos (A). Es conveniente indicar que la corriente mostrada en este campo es la corriente equivalente resultante de la combinación, por un lado, de la corriente amperimétrica que circula por la pantalla a causa de los acoplamientos

electromagnéticos con el resto de los elementos de la instalación, y por otro lado la corriente de circulación por efecto Foucault.

Las condiciones normales de instalación se han tomado de la Norma UNE 21144-3-1 y del estudio geotécnico realizado, siendo éstas las siguientes:

Temperatura del suelo (°C)	Resistividad térmica del suelo (K·m/W)	Temperatura del aire ambiente (°C)
25	1,5	25

Además de estas condiciones de instalación, se ha considerado una resistividad térmica del hormigón de 1,0 Km/W.

Los resultados de intensidad admisible más limitante para una terna de cable de cada circuito en función del tipo de instalación, del tipo de conexión de la pantalla y para el tipo de cable, son los siguientes:

CIRCUITO 1

Material y sección	Longitud circuito (km)	Canalización	I <sub>máx</sub> (A)
630 Al	1,88	4	353

CIRCUITO 2

Material y sección	Longitud circuito (km)	Canalización	I <sub>máx</sub> (A)
630 Al	1,24	4	361

CIRCUITO 3

Material y sección	Longitud (km)	Canalización	I <sub>máx</sub> (A)
630 Al	0,819	4	549

Las intensidades máximas admisibles corresponden a las de una terna.

La capacidad de transporte necesaria de los circuitos línea es de:

- Circuito 1: 6,6 MVA; 604,84 A ( 302,42 A por terna)
- Circuito 2: 6,6 MVA; 604,84 A ( 302,42 A por terna)
- Circuito 3: 4,9 MVA; 449,05

Siendo las capacidades de evacuación de cada circuito en el caso más desfavorable:

- Circuito 1: 353 A por terna, 706 A totales.
- Circuito 2: 361 A por terna, 706 A totales.
- Circuito 3: 549 A por terna, 549 A totales.

Se comprueba el cumplimiento conforme a la I<sub>máx</sub> admisible del cable.

1.1.12. POTENCIA MÁXIMA POR LÍNEA

Los resultados obtenidos para la potencia que puede transportar la línea que conforma la instalación, según la disposición indicada es la siguiente:

CIRCUITO 1

Material y sección	Longitud (km)	Tipo de conexión de las pantallas	S <sub>máx</sub> (MVA)
630 Al	1,88	SINGLE POINT	7,7

CIRCUITO 2

Material y sección	Longitud (km)	Tipo de conexión de las pantallas	S <sub>máx</sub> (MVA)
630 Al	1,24	SINGLE POINT	7,7

CIRCUITO 3

Material y sección	Longitud (km)	Tipo de conexión de las pantallas	S <sub>máx</sub> (MVA)
630 Al	0,819	SINGLE POINT	5,99

La potencia máxima de transporte confirma la capacidad de la línea para transportar la potencia requerida que se precisa evacuar.

1.1.13. INTENSIDAD DE CORTOCIRCUITO ADMISIBLE EN EL CABLE

La intensidad de cortocircuito máxima permitida por el cable se calculará mediante la IEC 61443. Se ha calculado la intensidad máxima permitida adiabática, es decir, partiendo del supuesto conservativo de que el calor provocado por el cortocircuito no

se disipa a través del aislamiento resultando en una mayor elevación de temperatura en el conductor. La intensidad máxima de cortocircuito para la sección escogida resulta:

$$I_{AD}^2 \cdot t = K^2 \cdot S^2 \cdot \ln \left( \frac{\theta_f + \beta}{\theta_i + \beta} \right) \quad (A)$$

Donde:

$I_{AD}$ : Intensidad de cortocircuito adiabática (A).

$t$ : Duración del cortocircuito (s).

$S$ : Sección de conductor (mm<sup>2</sup>).

$\theta_f$ : Temperatura final del conductor (°C).

$\theta_i$ : Temperatura inicial del conductor (°C).

$\beta$ : Inversa del coeficiente de variación térmica de la resistencia del conductor.

$K$ : Constante que responde a la siguiente ecuación:

$$K = \sqrt{\frac{\sigma_c \cdot (\beta + 20) \cdot 10^{-12}}{\rho_{20}}}$$

Donde:

$\sigma_c$ : Calor específico volumétrico a 20°C (J/Km<sup>3</sup>) según IEC 60949.

$\rho_{20}$ : Resistividad eléctrica a 20°C (Ωm) según IEC 60949.

Para el caso del conductor:

$t$	0,5 s
$S$	630 mm <sup>2</sup>
$\theta_f$	250°C (IEC 61443)
$\theta_i$	90°C
$\beta$	228°C (IEC 60949)
$K$	148,11
$\sigma_c$	2,5·106 J/Km3
$\rho_{20}$	2,8264·10-8 Ωm

La intensidad máxima permitida por el cable es de  **$I_{AD}=84 \text{ kA}$**

Para el caso de la pantalla:

$t$	0,5 s
$S$	16 mm <sup>2</sup>
$\theta_f$	250°C (IEC
$\theta_i$	80°C
$\beta$	228°C (IEC
$K$	148,11
$\sigma_c$	2,5·106 J/Km3
$\rho_{20}$	2,8264·10-8 Ωm

La intensidad máxima permitida por la pantalla es de  **$I_{AD} = 2,11 \text{ kA}$**

#### 1.1.14. IMPEDANCIAS SECUENCIALES DE LA LÍNEA

El cálculo de todos los parámetros de los esquemas secuenciales, así como de los factores de desequilibrio, son obtenidos a partir de las matrices de impedancias de conductores y pantallas ZCC y su transformación a componentes simétricas mediante la matriz de paso A [11]. Esto es:

$$\bar{\bar{Z}}_{cc,012} = A^{-1} \cdot \bar{\bar{Z}}_{cc} \cdot A$$

A partir de la matriz  $Z_{CC,012}$  se obtienen:

- Resistencia y reactancia equivalentes de las líneas en secuencia directa

( $R_1$  y  $X_1$ ) e inversa ( $R_2$  y  $X_2$ ), como las partes real e imaginaria de los elementos diagonales de las submatrices correspondientes directa e inversa de la matriz (los valores obtenidos en secuencia directa coinciden siempre con los obtenidos en secuencia inversa), multiplicadas por la longitud de la línea.

- Resistencia y reactancia equivalentes de las líneas en secuencia homopolar ( $R_0$  y  $X_0$ ), como las partes real e imaginaria de los elementos diagonales de la submatriz correspondiente homopolar de la matriz, multiplicadas por la longitud de la línea.

Por otro lado, también se calculan los factores de desequilibrio inverso y homopolar. Dichos factores de desequilibrio se definen como el cociente de las tensiones inversa y homopolar, respectivamente, con la tensión directa, cuando por los conductores circula un sistema equilibrado de corrientes en secuencia directa. Para calcular estos factores, se obtienen  $V_0$ ,  $V_1$  y  $V_2$  de la siguiente manera:

$$\begin{bmatrix} V_0 \\ V_1 \\ V_2 \end{bmatrix} = \bar{Z}_{cc,012} \cdot \begin{bmatrix} \cdot \\ 1 \\ \cdot \end{bmatrix}$$

Es decir, inyectando un sistema de corrientes nulas en secuencia homopolar e inversa, y unitarias en la secuencia directa. A partir de dicho cálculo, se obtienen  $V_2/V_1$  y  $V_0/V_1$ .

Además, se han calculado los valores de susceptancia de secuencia directa, inversa y homopolar, los cuales serán iguales al tratarse de cables subterráneos ( $B_1=B_2=B_0$ ).

En la siguiente tabla se resumen los resultados obtenidos de resistencias, reactancias y susceptancias equivalentes de secuencias directa (iguales a las de secuencia inversa) y homopolar, así como las tensiones de secuencia.

TIPO DE CANALIZACIÓN 1

Material y sección	Longitud (km)	$R_1=R_2$ ( $\Omega$ /km)	$X_1=X_2$ ( $\Omega$ /km)	$R_0$ ( $\Omega$ /km)	$X_0$ ( $\Omega$ /km)	$V_0/V_1$ (%)	$V_2/V_1$ (%)
630 Al	0,394	0,062599	0,096306	1,172628	0,057145	0	0

TIPO DE CANALIZACIÓN 2

Material y sección	Longitud (km)	$R_1=R_2$ ( $\Omega$ /km)	$X_1=X_2$ ( $\Omega$ /km)	$R_0$ ( $\Omega$ /km)	$X_0$ ( $\Omega$ /km)	$V_0/V_1$ (%)	$V_2/V_1$ (%)
630 Al	0,690	0,062603	0,096306	1,172628	0,057145	0	0

TIPO DE CANALIZACIÓN 1'

Material y sección	Longitud (km)	$R_1=R_2$ ( $\Omega$ /km)	$X_1=X_2$ ( $\Omega$ /km)	$R_0$ ( $\Omega$ /km)	$X_0$ ( $\Omega$ /km)	$V_0/V_1$ (%)	$V_2/V_1$ (%)
630 Al	0,035	0,062602	0,096306	1,172628	0,057145	0	0

TIPO DE CANALIZACIÓN 2'

Material y sección	Longitud (km)	$R_1=R_2$ ( $\Omega$ /km)	$X_1=X_2$ ( $\Omega$ /km)	$R_0$ ( $\Omega$ /km)	$X_0$ ( $\Omega$ /km)	$V_0/V_1$ (%)	$V_2/V_1$ (%)
630 Al	0,443	0,062604	0,096306	1,172628	0,057145	0	0

TIPO DE CANALIZACIÓN 3

Material y sección	Longitud (km)	R <sub>1</sub> =R <sub>2</sub> (Ω/km)	X <sub>1</sub> =X <sub>2</sub> (Ω/km)	R <sub>0</sub> (Ω/km)	X <sub>0</sub> (Ω/km)	V <sub>0</sub> /V <sub>1</sub> (%)	V <sub>2</sub> /V <sub>1</sub> (%)
630 Al	0,590	0,062586	0,096306	1,17267	0,057145	0	0

TIPO DE CANALIZACIÓN 4

Material y sección	Longitud (km)	R <sub>1</sub> =R <sub>2</sub> (Ω/km)	X <sub>1</sub> =X <sub>2</sub> (Ω/km)	R <sub>0</sub> (Ω/km)	X <sub>0</sub> (Ω/km)	V <sub>0</sub> /V <sub>1</sub> (%)	V <sub>2</sub> /V <sub>1</sub> (%)
630 Al	0,389	0,050757	0,085104	1,16208	0,053196	0	0