

ANEXO II A PROYECTO v2
INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA
CON CONEXIÓN A RED

**INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA
TOROS DE GUISANDO II**
SAN MARTÍN DE VALDEIGLESIAS
(COMUNIDAD DE MADRID)



ÍNDICE GENERAL

I – MEMORIA

II – ANEXO I: CÁLCULOS

III – PRESUPUESTO

IV – PLANOS

MEMORIA

ÍNDICE MEMORIA

1. OBJETO	1
2. AUTOR DEL ENCARGO	1
3. AUTOR	1
4. PUNTOS A SUSTITUIR	1
“8.11.1 TRAZADO DE LA LÍNEA.....	2

1. OBJETO

Con fecha **10/12/2024** se firma el proyecto ejecutivo modificado “**INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA CON CONEXIÓN A RED “TOROS DE GUISANDO II” v2**”, relativo a la instalación de la planta solar fotovoltaica denominada “Toros de Guisando II”. Posteriormente, con fecha **06/02/2025** se firma el **Anexo I al proyecto ejecutivo modificado “INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA CON CONEXIÓN A RED “TOROS DE GUISANDO II” v2**”, debido a un ligero cambio en la línea de evacuación consiste en la modificación del último tramo del trazado de la línea y el desplazamiento del centro de seccionamiento dentro de la misma parcela contemplada inicialmente, lo que conlleva un ligero desplazamiento de una zona de las estructuras, tal y como quedaron reflejadas en dicho anexo I.

Se redacta el presente documento para actualizar los datos correspondientes a la línea interna entre el CT y el CS motivados por el cambio incluido en el anexo I.

2. AUTOR DEL ENCARGO

El encargo del presente documento ha sido realizado por la sociedad mercantil START RIGHT NOW S.L. con:

- C.I.F.: B-87904934
- Domicilio social:
C/ Carreteral del Mediodía nº 8
28055 Madrid (Madrid)
- Domicilio para notificaciones:
Calle del Polígono Industrial Berroa nº4, planta 3 oficina 311
Tajonar 31192 (Navarra)
- Notificaciones:
Susana Lizarraga (email: slizarraga@lizheringenieria.com)

3. AUTOR

El presente documento ha sido realizado por el Ingeniero Industrial Susana Lizarraga Zúñiga colegiado nº 442, por el Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Navarra.

4. PUNTOS A SUSTITUIR

Los siguientes puntos de la memoria del proyecto de generación v2 firmado con fecha **10/12/2024** quedan sustituidos por los textos redactados a continuación:

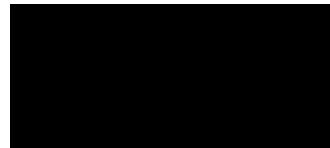
“8.11.1 TRAZADO DE LA LÍNEA

La línea interconectará el centro de transformación con el centro de seccionamiento y medida, ambos ubicados en la misma parcela.

La longitud de la línea es de 227,00 m y tiene un nivel de tensión de 15 kV. Su recorrido afecta sólo a la parcela donde se emplazará la instalación fotovoltaica.

”

Pamplona, septiembre de 2025



Susana Lizarraga Zúñiga

Ingeniero Industrial

ANEXO I:
CÁLCULOS

INDICE CÁLCULOS

1. CÁLCULOS INSTALACIÓN DE BAJA TENSIÓN	1
1.1 OBJETO	1
1.2 NÚMERO MÁXIMO DE MÓDULOS POR STRING	1
1.3 CIRCUITOS DE STRINGS.....	1
1.4 CIRCUITOS DE INVERSORES	1
1.5 MÉTODO DE CÁLCULO.....	2
1.5.1. CÁLCULO POR INTENSIDAD MÁXIMA ADMISIBLE	2
1.5.2. CÁLCULO POR CAÍDA DE TENSIÓN	3
1.6 RESULTADOS DEL CÁLCULO DE CABLEADO DE BAJA TENSIÓN	4
1.7 PROTECCIONES BT	4
1.7.1. CIRCUITOS DE STRINGS	4
1.7.2. CIRCUITOS DE LÍNEA INDIVIDUAL DEL GENERADOR	5
1.8 CÁLCULO DE PUESTA A TIERRA DE LA INSTALACIÓN DE BAJA TENSIÓN	5
1.8.1. RED DE PUESTA A TIERRA DEL PARQUE	5
1.8.2. CÁLCULO DE LA RESISTENCIA DE TOMA DE TIERRA.....	5
2. CÁLCULOS ELÉCTRICOS DE LA LÍNEA SUBTERRÁNEA INTERNA 15 KV	9
2.1 CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES	9
2.2 RESISTENCIA DEL CONDUCTOR	9
2.3 REACTANCIA DEL CABLE	10
2.4 INTENSIDAD MÁXIMA ADMISIBLE PARA EN SERVICIO PERMANENTE	11
2.4.1. INTENSIDAD MÁXIMA ADMISIBLE DEL CONDUCTOR.....	12
2.4.2. FACTOR DE CORRECCIÓN DEBIDO A LA TEMPERATURA DEL TERRENO.....	12
2.4.3. FACTOR DE CORRECCIÓN DEBIDO A LA RESISTIVIDAD DEL TERRENO	13
2.4.4. FACTOR DE CORRECCIÓN DEBIDO A LA AGRUPACIÓN DE CIRCUITOS	14
2.4.5. FACTOR DE CORRECCIÓN DEBIDO A LA PROFUNDIDAD DE INSTALACIÓN	14
2.4.6. RESULTADO DE LA INTENSIDAD MÁXIMA ADMISIBLE EN SERVICIO PERMANENTE	15
2.5 INTENSIDAD MÁXIMA ADMISIBLE PARA EL CABLE EN CORTOCIRCUITO	15
2.6 INTENSIDADES DE CORTOCIRCUITO ADMISIBLES EN LAS PANTALLAS	16
2.7 PÉRDIDA DE POTENCIA.....	17
2.8 CAÍDA DE TENSIÓN	18
2.9 PROTECCIONES	18
2.9.1. PROTECCIONES CONTRA SOBREINTENSIDADES.....	18
2.9.2. PROTECCIÓN CONTRA SOBRETENSIONES	19
3. CÁLCULOS ELÉCTRICOS DEL CENTRO DE TRANSFORMACIÓN.....	19
3.1 PUENTES DE MEDIA TENSIÓN	19
3.2 PUENTES DE BAJA TENSIÓN.....	19
3.3 INTENSIDAD DE CORTOCIRCUITO	20
4. CÁLCULO DE LAS INSTALACIONES DE PUESTA A TIERRA DEL CT Y LA LÍNEA INTERNA	21
4.1 INTRODUCCIÓN	21
4.2 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA INSTALACIÓN	21
4.2.1. PUESTA A TIERRA DE PROTECCIÓN	21
4.2.2. PUESTA A TIERRA DE SERVICIO	21
4.2.3. SISTEMA ÚNICO PARA LAS PUESTAS A TIERRA DE PROTECCIÓN Y SERVICIO	21
4.3 DATOS INICIALES	21
4.4 RESISTIVIDAD DEL TERRENO.....	22
4.5 CÁLCULO DE LA PUESTA A TIERRA DE PROTECCIÓN	24
4.5.1. DETERMINACIÓN DE LA INTENSIDAD DE DEFECTO A TIERRA	24
4.5.2. NEUTRO AISLADO.....	24

4.5.3.	NEUTRO A TIERRA	25
4.5.4.	RESISTENCIA MÁXIMA DE LA PUESTA A TIERRA DE MASAS DEL CT.....	25
4.5.5.	SELECCIÓN DEL ELECTRODO	25
4.5.6.	CÁLCULO DE LA RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA, INTENSIDAD DE DEFECTO Y TENSIONES DE PASO PARA EL ELECTRODO SELECCIONADO	27
4.5.7.	TIEMPO DE ELIMINACIÓN DEL DEFECTO.....	29
4.5.8.	VALORES MÁXIMOS DE TENSIÓN ADMISIBLES	30
4.5.9.	COMPROBACIÓN DE QUE CON EL ELECTRODO SELECCIONADO SE SATISFACEN LAS CONDICIONES EXIGIDAS	32
4.5.10.	CÁLCULO DE LA PUESTA A TIERRA DE SERVICIO	32
4.5.11.	SEPARACIÓN ENTRE LOS SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA DE PROTECCIÓN Y SERVICIO ..	33
4.5.12.	HOJAS DE CÁLCULO DE LA INSTALACIÓN DE PUESTA A TIERRA.....	33
5.	TABLAS DE CÁLCULO	43

1. CÁLCULOS INSTALACIÓN DE BAJA TENSIÓN

1.1 OBJETO

El objeto del presente apartado es el de definir las condiciones y criterios para el cálculo del cableado de baja tensión requeridos para el presente proyecto. Se dimensionará el cableado para bien de cumplir con las normativas vigentes. Además, se definirán las protecciones necesarias.

1.2 NÚMERO MÁXIMO DE MÓDULOS POR STRING

El número máximo de módulos conectados en serie viene limitado por la tensión máxima en circuito abierto de entrada al inversor.

$$N = \frac{V_{max,inv}}{V_{oc}}$$

Donde $V_{oc,max}$ se calcula como la tensión de la celda para la temperatura mínima de diseño (-10 °C). Por lo tanto, aplicando la siguiente fórmula obtenemos una tensión máxima en circuito abierto de:

$$V_{oc,max} = V_{oc} \cdot \left(1 + \left(\frac{CoefV_{oc}}{100} \right) \cdot (T_{cel} - 25) \right) = 49,46 \cdot \left(1 + \left(-\frac{0,29}{100} \right) \cdot (-10 - 25) \right) = 54,48 V$$

Una vez conocido este valor ya somos capaces de determinar el máximo número de módulos por string:

$$N = \frac{V_{max,inv}}{V_{oc,max}} = \frac{1500 [V]}{54,48 [V/ud]} = 27,53 \rightarrow 27 \text{ módulos}$$

1.3 CIRCUITOS DE STRINGS

Los circuitos de strings son los encargados de la formación de las series de módulos hasta la acometida al inversor. Cada uno de los strings estará compuesto por un total de 27 módulos fotovoltaicos conectados en serie. Los módulos fotovoltaicos por instalar serán el modelo TRUNSUN TSHM540-144HV de 540 Wp, o similar.

Las características eléctricas de los strings en condiciones estándar de medida (STC) son:

- | | |
|--------------------------------------|------------|
| • Número de módulos por string: | 27 uds. |
| • Potencia pico del string, Pp: | 14.580 Wp |
| • Intensidad a máxima potencia, Imp: | 12,98 A |
| • Intensidad de cortocircuito, Isc: | 13,86 A |
| • Tensión a máxima potencia, Vmp: | 1.123,47 V |
| • Tensión a circuito abierto, Voc: | 1.335,42 V |

1.4 CIRCUITOS DE INVERSORES

Los circuitos de strings entran en los inversores, los cuales transforman la energía a corriente alterna y de estos partirá un circuito hacia el cuadro de protección BT, e irá directamente enterrado. Las características eléctricas de dichos circuitos son las que se muestran a continuación:

- | | |
|----------------------------------|-------------|
| • Potencia máxima del inversor: | 250 kVA |
| • Voltaje nominal CA: | 800 V |
| • Rango voltaje CA: | 680 – 880 V |
| • Frecuencia nominal: | 50 Hz |
| • Conexión de fases: | 3 |
| • Máxima corriente de salida CA: | 180,5 A |

1.5 MÉTODO DE CÁLCULO

El cálculo de las secciones y tipo de conductores se realizará mediante la aplicación de dos criterios diferentes:

- Intensidad admisible.
- Máxima caída de tensión.

Para la comprobación por cada uno de estos criterios será necesario establecer previamente en cada línea:

- Intensidad nominal para la que debe ser diseñada.
- Longitud de la línea.
- Caída de tensión máxima admisible.
- Intensidad máxima admisible para cada conductor.
- Nivel de aislamiento requerido al conductor.

1.5.1. CÁLCULO POR INTENSIDAD MÁXIMA ADMISIBLE

La intensidad para la que será calculada cada uno de los circuitos se establecerá a partir de la potencia que deba transportar cada una de ellas, la tensión nominal y el factor de potencia, por aplicación de las siguientes expresiones, en función del tipo de corriente del circuito:

- Corriente continua:

$$I = \frac{P}{V}$$

Siendo:

V = Tensión (V)

P = Potencia (W)

I = Intensidad de corriente (A)

- Corriente alterna monofásica:

$$I = \frac{P}{V \cdot \cos \varphi}$$

Siendo:

V = Tensión (V)

P = Potencia (W)

I = Intensidad de corriente (A)

$\cos \varphi$ = Factor de potencia

- Corriente alterna trifásica:

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot V \cdot \cos \varphi}$$

Siendo:

V = Tensión de línea (V)

P = Potencia (W)

I = Intensidad de corriente (A)

$\cos \varphi$ = Factor de potencia

Se aplica para el cálculo por calentamiento lo expuesto en la norma **UNE 20460-5-523:2004**, equivalente a IEC-60364. La intensidad máxima que debe circular por un cable para que éste no se deteriore viene marcada por las tablas **52-C1 a 52-C12**. En función del método de instalación adoptado de la tabla **52-B2**, determinaremos el método de referencia según **52-B1**, que en función del tipo de cable nos indicará la tabla de intensidades máximas que hemos de utilizar.

La intensidad máxima admisible del cable se ve afectada por una serie de factores, como son la temperatura ambiente, la agrupación de varios cables, la exposición al sol, etc. que generalmente reducen su valor. Hallaremos el factor por temperatura ambiente a partir de las tablas **52-D1 y 52-D2**. El factor por agrupamiento, de las tablas **52-E1, 52-E2, 52-E3 A y 52-E3 B**. Si el cable está expuesto al Sol, o bien, se trata de un cable con aislamiento mineral, desnudo y accesible, aplicaremos directamente un **0,9**.

Para el cálculo de la sección, dividiremos la intensidad de cálculo por el producto de todos los factores correctores, y buscaremos en la tabla la sección correspondiente para el valor resultante. Para determinar la intensidad máxima admisible del cable, buscaremos en la misma tabla la intensidad para la sección adoptada, y la multiplicaremos por el producto de los factores correctores.

1.5.2. CÁLCULO POR CAÍDA DE TENSIÓN

Para el cálculo de la caída de tensión en los circuitos del parque fotovoltaico se emplearán las siguientes expresiones, en función del tipo de corriente:

- Corriente continua:

$$e = \frac{2 \cdot P \cdot L}{K \cdot S \cdot V}$$

Siendo:

e = Caída de tensión (V)

V = Tensión (V)

S = Sección del cable (mm^2)

L = Longitud del tramo (m)

P = Potencia (W)

K = Conductividad (S/m)

- Corriente alterna monofásica:

$$e = \frac{2 \cdot P \cdot L}{K \cdot S \cdot V}$$

Siendo:

e = Caída de tensión (V)

V = Tensión (V)

S = Sección del cable (mm^2)

L = Longitud del tramo (m)

P = Potencia (W)

K = Conductividad (S/m)

- Corriente alterna trifásica:

$$e = \frac{P \cdot L}{K \cdot S \cdot V}$$

Siendo:

- e = Caída de tensión (V)
- V = Tensión de línea (V)
- S = Sección del cable (mm^2)
- L = Longitud del tramo (m)
- P = Potencia (W)
- K = Conductividad (S/m)

Se diseñarán los conductores para que la caída de tensión sea menor del 1,5%. Además, todos los cables utilizados en la instalación de baja tensión tendrán un nivel de aislamiento de 0,6/1 kVac – 1,5/1,5 kVcc.

1.6 RESULTADOS DEL CÁLCULO DE CABLEADO DE BAJA TENSIÓN

En el apartado X, se incluyen las tablas donde se muestra el cálculo de los cables de Baja Tensión.

El conductor empleado en los circuitos de strings será el siguiente:

- | | |
|--|-------------------------|
| • Sección: | 6 mm^2 |
| • Tipo de cable: | H1Z2Z2-K |
| • Material conductor: | Cobre estañado |
| • Aislamiento: | Goma libre de halógenos |
| • Nivel de tensión: | 1,5 kVcc |
| • Intensidad máxima (Aéreo/Enterrado): | 63 A / 58 A |

Los conductores empleados desde la salida de los inversores hasta el cuadro general de baja tensión serán:

- | | |
|--|-------------------------------|
| • Sección: | 240 / 300 mm^2 |
| • Tipo de cable: | XZ1 (S) AL |
| • Material conductor: | Aluminio |
| • Aislamiento: | Polietileno reticulado (XLPE) |
| • Nivel de tensión: | 0,6 / 1 kV |
| • Intensidad máxima (Aéreo/Enterrado): | |
| • 240 mm^2 : | 409 A / 290 A |
| • 300 mm^2 : | 471 A / 326 A |

1.7 PROTECCIONES BT

1.7.1. CIRCUITOS DE STRINGS

En el caso que se asocien más de dos strings, se deberán proteger estos circuitos, la protección se realizará mediante fusible cilíndrico tipo gPV de intensidad nominal 20 A.

Según aplicación de la ITC-BT-22 del reglamento electrotécnico de baja tensión, para intensidades nominales entre 4 A y 16 A, la intensidad de actuación del fusible debe ser:

$$I_b \leq I_n \leq I_z$$

$$I_F = 1,90 \cdot I_n$$

$$I_F \leq 1,45 \cdot I_z$$

El cable por instalar es del tipo H1Z2Z2-K de 6mm² de sección, con una intensidad máxima admisible de 63 A, por lo que se cumple:

$$I_b \leq I_n \leq I_z \quad 1,25 \cdot 13,86 = 17,33 \leq 20 A \leq 63 A$$

$$I_F = 1,90 \cdot I_n \quad I_F = 1,90 \cdot 20 = 38 A$$

$$I_F \leq 1,45 \cdot I_z \quad 38 A \leq 1,45 \cdot 63 A \quad 38 A \leq 91,35 A$$

Con lo cual, los circuitos de strings quedan protegidos.

1.7.2. CIRCUITOS DE LÍNEA INDIVIDUAL DEL GENERADOR

Los circuitos de los inversores estarán protegidos mediante un interruptor magnetotérmico de caja moldeada de 3 polos y corriente nominal 250 A.

Según aplicación de la ITC-BT-22 del reglamento electrotécnico de baja tensión, las características del dispositivo de protección contra sobrecargas deben satisfacer las dos condiciones siguientes:

$$I_b \leq I_n \leq I_z$$

$$I_2 \leq 1,45 \cdot I_z$$

El cable por instalar es del tipo XZ1 (S) AL de 240 mm² de sección, con una intensidad máxima admisible de 290 A, por lo que se cumple:

$$I_b \leq I_n \leq I_z \quad 1,25 \cdot 180,5 = 225,63 \leq 250 A \leq 290 A$$

$$I_2 \leq 1,45 \cdot I_z \quad 1,30 \cdot I_n \leq 1,45 \cdot 290 A \quad 325 A \leq 420,5 A$$

El cable por instalar es del tipo XZ1 (S) AL de 300 mm² de sección, con una intensidad máxima admisible de 326 A, por lo que se cumple:

$$I_b \leq I_n \leq I_z \quad 1,25 \cdot 180,5 = 225,63 \leq 250 A \leq 326 A$$

$$I_2 \leq 1,45 \cdot I_z \quad 1,30 \cdot I_n \leq 1,45 \cdot 326 A \quad 325 A \leq 472,7 A$$

Con lo cual, los circuitos de inversores al cuadro de protección BT quedan protegidos.

1.8 CÁLCULO DE PUESTA A TIERRA DE LA INSTALACIÓN DE BAJA TENSIÓN

1.8.1. RED DE PUESTA A TIERRA DEL PARQUE

La instalación de la puesta a tierra del parque fotovoltaico está formada por una red equipotencial que abarca toda la planta a la cual se conectan todas las estructuras eléctricas con un conductor de tierra (hilo de cobre desnudo de 35mm²) enterrado bajo zanja aprovechando las zanjas de BT a ejecutar, así como todas las estructuras metálicas y el anillo de tierras del centro de transformación.

A continuación, se realizará el cálculo de la red de tierras teórico. Sin embargo, una vez ejecutada la obra, siempre se realizan las pruebas correspondientes para medir la resistencia real final in situ y comprobar su cumplimiento.

1.8.2. CÁLCULO DE LA RESISTENCIA DE TOMA DE TIERRA

Los electrodos de la toma de tierra pueden ser barras, conductores desnudos, placas, mallas o anillos, armaduras de hormigón, u otras estructuras enterradas.

La profundidad de las tomas de tierra ha de ser mínimo 0,50 metros y además debe ser tal que las condiciones de humedad y temperatura del suelo no aumenten la resistencia por encima del valor previsto. El valor de la resistencia de las tomas de tierra debe diseñarse de forma que las masas no puedan dar lugar a tensiones de contacto superiores a 24 V, dado que es el máximo admisible en este caso según el REBT.

En función del electrodo, la resistencia de toma a tierra se puede calcular en base a las siguientes fórmulas:

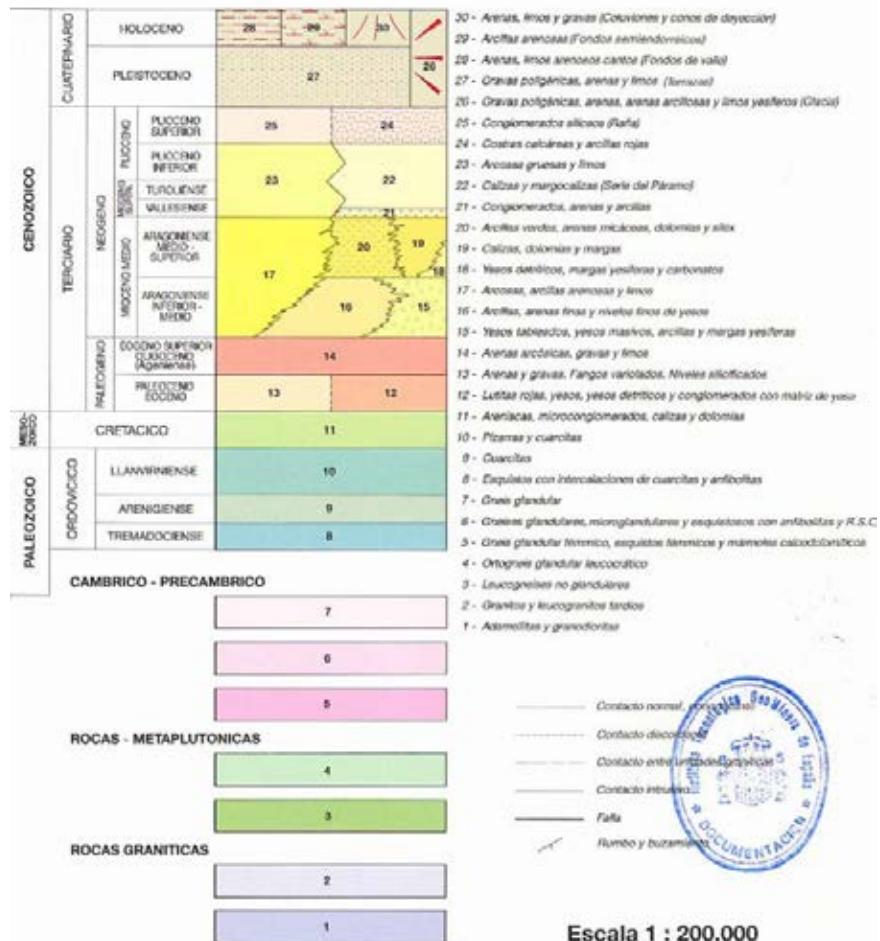
ELECTRODO	RESISTENCIA DE TIERRA (Ω)
Pica vertical	$R_{pica} = \frac{\rho}{L}$
Conductor enterrado horizontalmente	$R_c = \frac{2 \cdot \rho}{L}$
Malla de tierra	$R_{malla} = \frac{\rho}{4\sqrt{\frac{S}{\pi}}} + \frac{\rho}{L}$

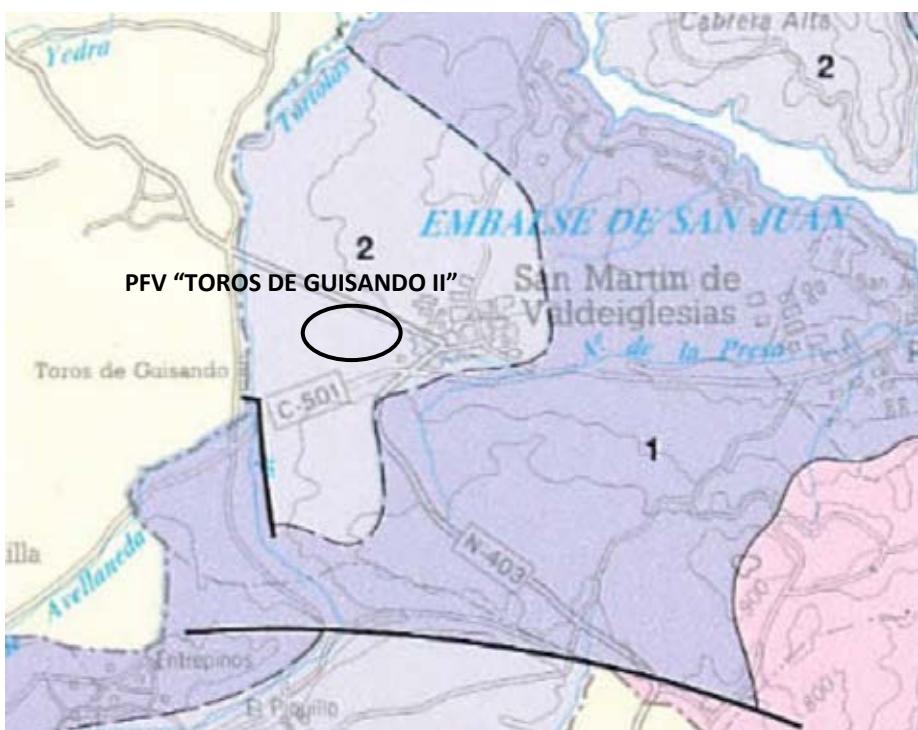
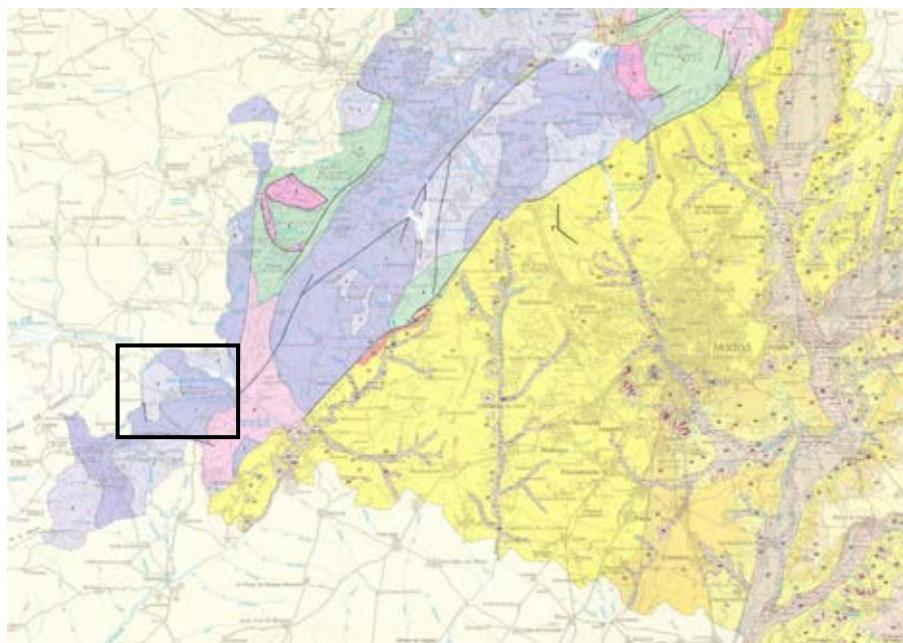
Donde:

- ρ = Resistividad del terreno ($\Omega \cdot \text{m}$)
- L = Longitud de la pica o conductor, y en la malla la longitud total de los conductores enterrados (m)
- S = Superficie cubierta por la malla (m^2)

La resistividad del terreno es un dato que se determinará en detalle a partir del estudio geotécnico que se realizará más adelante. Mientras tanto, se ha consultado en la cartografía del IGME (Instituto Geológico y Minero de España) el tipo de terreno donde se ubicará la planta fotovoltaica:

GEOLOGIA

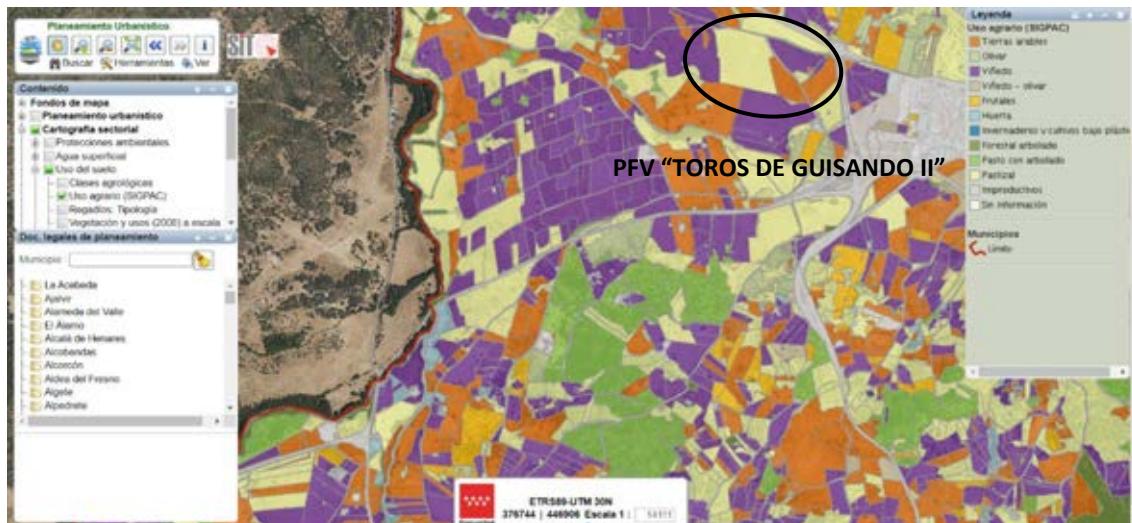




Mapa de la geología de la Comunidad de Madrid (IGME)

Como se puede observar, según el mapa, la zona de implantación de la instalación solar está formada por rocas graníticas.

Sin embargo, esta geología se entiende a profundidades relativamente altas, ya que tras consultar el visor del planeamiento urbanístico de la Comunidad de Madrid, se observa que estos terrenos también tienen la clasificación de Pastizales y tierras arables.



Según la siguiente tabla entonces se puede estimar la resistividad del terreno:

Naturaleza del terreno	Resistividad en ohmios.m.
Terrenos pantanosos.	de algunas unidades a 30
Limo.	20 a 100
Humus.	10 a 150
Turba húmeda.	5 a 100
Arcilla plástica.	50
Margas y arcillas compactas.	100 a 200
Margas del jurásico.	30 a 40
Arena arcillosa.	50 a 500
Arena sílica.	200 a 3000
Suelo pedregoso cubierto de césped.	300 a 500
Suelo pedregoso desnudo.	1500 a 3000
Calizas blandas.	100 a 300
Calizas compactas.	1000 a 5000
Calizas agrietadas.	500 a 1000
Pizarras.	50 a 300
Rocas de mica y cuarzo.	800
Granitos y gres procedentes de alteración.	1500 a 10000
Granitos y gres muy alterados.	100 a 600
Hormigón.	2000 a 3000
Basalto o grava.	3000 a 5000

Teniendo en cuenta lo expuesto anteriormente, como caso extremo más desfavorable se tienen los granitos y gres procedentes de alteración, cuya resistividad oscila entre 1.500 y 10.000 $\Omega \cdot \text{m}$.

Con ambos datos, y teniendo en cuenta que, como ya se ha mencionado, la red de tierras conforma una malla equipotencial abarcando toda la superficie de la instalación, los valores en este caso son:

- $\rho = 1.500 - 10.000 \Omega \cdot \text{m}$
- $L = 1.325,42 \text{ m}$
- $S = 73.396,98 \text{ m}^2$

Con ello se tiene un valor de resistencia de puesta a tierra de:

$$R_{malla\ 1} = \frac{\rho}{4 \cdot \sqrt{\frac{S}{\pi}}} + \frac{\rho}{L} = \frac{1.500}{4 \cdot \sqrt{\frac{73.396,98}{\pi}}} + \frac{1.500}{1.325,42} = 3,58 \Omega.$$

$$R_{malla\ 2} = \frac{\rho}{4 \cdot \sqrt{\frac{S}{\pi}}} + \frac{\rho}{L} = \frac{10.000}{4 \cdot \sqrt{\frac{73.396,98}{\pi}}} + \frac{10.000}{1.325,42} = 23,90 \Omega.$$

A partir de este valor se puede calcular la tensión de contacto, que como se ha mencionado anteriormente, deberá ser inferior a 24V:

$$V_D [V] = I_D \cdot R_T \leq 24V.$$

Donde:

- V_D = Tensión de defecto (V)
- I_D = Corriente de defecto a tierra (A)
- R_T = Resistencia de tierra (Ω)

La corriente de defecto a tierra viene determinada por el interruptor diferencial de la parte de baja tensión. En este caso, el inversor está equipado con protección GFDI de 300 mA, según la norma IEC 62109-2.

Por tanto, en cualquier caso, se cumple:

$$V_{D\ 1} [V] = I_D \cdot R_{T\ 1} = 0,300 \cdot 3,58 = 1,07 V \leq 24V$$

$$V_{D\ 2} [V] = I_D \cdot R_{T\ 2} = 0,300 \cdot 23,90 = 7,17 V \leq 24V$$

En cualquier caso, tal y como se ha mencionado anteriormente, una vez se disponga del ensayo geotécnico se actualizarán estos cálculos, además de, una vez finalizada su instalación, comprobar in situ los valores obtenidos para las tensiones de defecto para garantizar su cumplimiento con la normativa vigente.

2. CÁLCULOS ELÉCTRICOS DE LA LÍNEA SUBTERRÁNEA INTERNA 15 KV

Para la realización de los cálculos justificativos se tendrán en cuenta las características del conductor que se detallan en la norma de referencia informativa **MT 2.31.01**.

2.1 CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES

- Clase de corriente: Alterna trifásica
- Frecuencia: 50 Hz
- Tensión nominal: 15 kV
- Tensión más elevada de la red (Us): 17,5 kV
- Categoría de la red (según Norma UNE 211435): Categoría A

2.2 RESISTENCIA DEL CONDUCTOR

La resistencia del conductor varía con la temperatura de funcionamiento de la línea. Se adopta como temperatura máxima del conductor en régimen permanente 90 °C. El incremento de resistencia en función de la temperatura viene determinado por la expresión:

$$R = R_{20\ ^\circ C} \cdot (1 + \alpha \cdot (\theta - 20\ ^\circ C))$$

Siendo:

α : Coeficiente de temperatura del aluminio (0,00403 °C⁻¹)

θ : Temperatura máxima del conductor (105 °C)

$R_{20\text{ °C}}$: Resistencia del conductor a 20 °C

1x SECCIÓN CONDUCTOR (Al) / SECCIÓN PANTALLA (Cu) (mm ²)	RESISTENCIA DEL CONDUCTOR A T 20 °C (Ω/km)
12/20 kV y 18/30 kV	
1 x 50 (2)	0,641
1 x 95	0,320
1 x 150 (1)	0,206
1 x 240 (1)	0,125
1 x 400 (1)	0,008
1 x 630 (1)	0,047

En el caso particular que nos ocupa se ha escogido el cableado tipo RH5Z1-OL AL 12/20 kV 1x150 mm², por lo tanto, el valor de la resistencia para la temperatura máxima del conductor (90 °C) será:

$$R = R_{20\text{ °C}} \cdot (1 + \alpha \cdot (\theta - 20\text{ °C})) = 0,206 \cdot (1 + 0,00403 \cdot (90 - 20))$$

$$R = 0,264 \Omega/km$$

2.3 REACTANCIA DEL CABLE

La reactancia depende de la geometría y diseño del conductor. Las reactancias de los cables especificados para disposición de un conductor por tubo responderán a las siguientes fórmulas:

$$X_L = w \cdot L [\Omega/km]$$

Siendo:

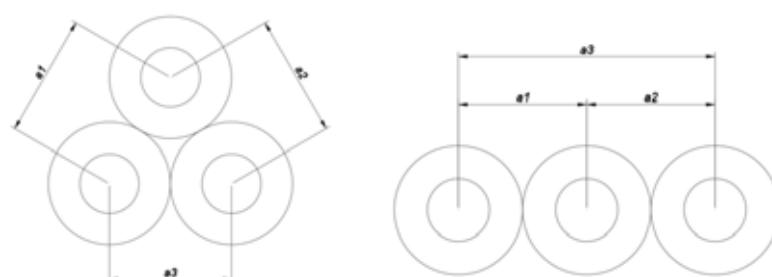
$$w = 2 \cdot \pi \cdot f = 2 \cdot \pi \cdot 50 = 100 \cdot \pi$$

$$L = \left(0,05 + 0,2 \cdot \ln \left(\frac{2 \cdot DMG}{\phi_c} \right) \right) \cdot 10^{-3} [H/km]$$

Donde:

DMG: distancia media geométrica entre conductores [mm]

$$DMG = \sqrt[3]{a_1 \cdot a_2 \cdot a_3}$$



ϕ_c : diámetro del conductor = 13,82 mm

1x SECCIÓN CONDUCTOR (A1) / SECCIÓN PANTALLA (Cu) (mm ²)	Ø NOMINAL AISLAMIENTO* (mm)	ESPESOR MEDIO AISLAMIENTO (mm)	Ø NOMINAL EXTERIOR* (mm)
12/20 kV			
1x 50/16 (1)	18,0	4,5	26,3
1x 95/16	20,8	4,3	29,1
1x 150/16 (1)	23,5	4,3	32,1
1x 240/16 (1)	27,6	4,3	36,1
1x 400/16 (1)	32,7	4,4	41,5
1x 630/16	41,0	4,5	49,6

El cableado se tenderá en tresbolillo, por lo que sabiendo que el diámetro exterior del cable es 36,1 mm tenemos:

$$a_1 = 32,1 \text{ mm}$$

$$a_2 = 32,1 \text{ mm}$$

$$a_3 = 32,1 \text{ mm}$$

$$DMG = \sqrt[3]{a_1 \cdot a_2 \cdot a_3} = \sqrt[3]{32,1 \cdot 32,1 \cdot 32,1} = 32,1 \text{ mm}$$

$$L = \left(0,05 + 0,2 \cdot \ln \left(\frac{2 \cdot DMG}{\varnothing_c} \right) \right) \cdot 10^{-3} = \left(0,05 + 0,2 \cdot \ln \left(\frac{2 \cdot 32,1}{13,82} \right) \right) \cdot 10^{-3} = 0,0003557 \text{ H/km}$$

$$X_L = w \cdot L = 100 \cdot \pi \cdot 0,0003557$$

$$X_L = 0,112 \Omega/\text{km}$$

2.4 INTENSIDAD MÁXIMA ADMISIBLE PARA EN SERVICIO PERMANENTE

Para cada instalación, dependiendo de sus características, configuración, condiciones de funcionamiento, tipo de aislamiento, etc., se justificará y calculará la intensidad máxima permanente del conductor, con el fin de no superar la temperatura máxima asignada del mismo.

Según se establece en la ITC-LAT-06, el aumento de temperatura provocado por la circulación de la intensidad calculada no debe dar lugar a una temperatura en el conductor superior a la prescrita en la tabla 5.

Tabla 5. Cables aislados con aislamiento seco
Temperatura máxima, en °C, asignada al conductor

Tipo de aislamiento seco	Condiciones	
	Servicio Permanente Øs	Cortocircuito Øcc (t ≤ 5 s)
Policloruro de vinilo (PVC)* S ≤ 300 mm ²	70	160
S > 300 mm ²	70	140
Polietileno reticulado(XLPE)	90	250
Etileno – Propileno (EPR)	90	250
Etileno - Propileno de alto módulo (HEPR)	105 para Uo/U ≤ 18/30 kV 90 para Uo/U > 18/30 kV	250

* Solo para instalaciones de tensión asignada hasta 6 kV.

Los valores de intensidad máxima admisibles según la ITC-LAT-06 para las condiciones estándar que se describen a continuación son los indicados en la tabla 4:

- Temperatura máxima del conductor: 105 °C.
- Profundidad de instalación: 1m.
- LSMT en servicio permanente con conductores directamente enterrados.
- Resistividad térmica del terreno: 1,5 K·m/W.
- Temperatura ambiente del terreno a la profundidad indicada: 25 °C.
- Temperatura del aire ambiente: 40 °C.

**Tabla 6. Intensidades máximas admisibles (A) en servicio permanente y con corriente alterna.
 Cables unipolares aislados de hasta 18/30 kV directamente enterrados**

Sección (mm ²)	EPR		XLPE		HEPR	
	Cu	Al	Cu	Al	Cu	Al
25	125	96	130	100	135	105
35	145	115	155	120	160	125
50	175	135	180	140	190	145
70	215	165	225	170	235	180
95	255	200	265	205	280	215
120	290	225	300	235	320	245
150	325	255	340	260	360	275
185	370	285	380	295	405	315
240	425	335	440	345	470	365
300	480	375	490	390	530	410
400	540	430	560	445	600	470

El cálculo de la intensidad admisible responde a la fórmula indicada a continuación:

$$I_{adm} = I \cdot F_{ct} \cdot F_{crt} \cdot F_{ca} \cdot F_{cp}$$

Siendo:

I_{adm} : intensidad máxima admisible en servicio permanente [A].

I : intensidad máxima admisible del conductor sin coeficientes de corrección [A].

F_{ct} : factor de corrección debido a la temperatura del terreno.

F_{crt} : factor de corrección debido a la resistividad del terreno.

F_{ca} : factor de corrección debido a la agrupación de circuitos.

F_{cp} : factor de corrección debido a la profundidad de instalación.

2.4.1. INTENSIDAD MÁXIMA ADMISIBLE DEL CONDUCTOR

El conductor por instalar es de tipo RH5Z1-OL AL 12/20 kV 1x150 mm², el cual tiene un aislamiento de polietileno reticulado (XLPE). Por lo cual, atendiendo a la tabla 6 de la ITC-LAT-06 la intensidad máxima admisible del conductor son **260 A**.

2.4.2. FACTOR DE CORRECCIÓN DEBIDO A LA TEMPERATURA DEL TERRENO

En la tabla 7 de la ITC-LAT-06 se indican los factores de corrección de la intensidad admisible para temperaturas del terreno distintas de 25 °C, en función de la temperatura máxima asignada al conductor.

Tabla 7. Factor de corrección, F_{ct} para temperatura del terreno distinta de 25 °C

Temperatura °C Servicio Permanente θ_s	Temperatura del terreno, θ_t , en °C								
	10	15	20	25	30	35	40	45	50
105	1,09	1,06	1,03	1,00	0,97	0,94	0,90	0,87	0,83
90	1,11	1,07	1,04	1,00	0,96	0,92	0,88	0,83	0,78
70	1,15	1,11	1,05	1,00	0,94	0,88	0,82	0,75	0,67
65	1,17	1,12	1,06	1,00	0,94	0,87	0,79	0,71	0,61

Sabiendo que la temperatura máxima de nuestro conductor son 105 °C y la temperatura del terreno considerada son 25 °C tenemos un factor de corrección debido a la temperatura del terreno:

$$F_{ct} = 1,00$$

2.4.3. FACTOR DE CORRECCIÓN DEBIDO A LA RESISTIVIDAD DEL TERRENO

En la tabla 8 de la ITC-LAT-06 se indican los factores de corrección para distintas resistividades térmicas del terreno.

Tabla 8. Factor de corrección para resistividad térmica del terreno distinta de 1,5 K.m/W

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	1,21	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
	400	1,30	1,24	1,19	1,00	0,88	0,79	0,73

La resistividad térmica del terreno depende del tipo de terreno y de su humedad, aumentando cuando el terreno está más seco. La tabla 9 de la ITC-LAT-06 muestra valores de resistividades térmicas del terreno en función de su naturaleza y grado de humedad.

Tabla 9. Resistividad térmica del terreno en función de su naturaleza y humedad

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

Considerando una resistividad del terreno de 1,5 K·m/W tenemos un factor de corrección debido a la resistividad del terreno:

$$F_{crt} = 1,00$$

2.4.4. FACTOR DE CORRECCIÓN DEBIDO A LA AGRUPACIÓN DE CIRCUITOS

En la tabla 10 de la ITC-LAT-06 se indican los factores de corrección que se deben aplicar, según el número de cables tripolares o ternos de cables unipolares y la distancia entre ternos o cables unipolares.

Tabla 10. Factor de corrección por distancia entre ternos o cables tripolares

Tipo de instalación	Separación de los ternos	Factor de corrección								
		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	-	-	-	-

Nuestra línea subterránea de alta tensión irá tendida en solitario por la zanja, por lo que tenemos un factor de corrección debido a la agrupación de circuitos:

$$F_{ca} = 1,00$$

2.4.5. FACTOR DE CORRECCIÓN DEBIDO A LA PROFUNDIDAD DE INSTALACIÓN

En la tabla 11 de la ITC-LAT-06 se indican los factores de corrección que deben aplicarse para profundidades de instalación distintas de 1 metro.

Tabla 11. Factores de corrección para profundidades de la instalación distintas de 1m

Profundidad (m)	Cables enterrados de sección		Cables bajo tubo de sección	
	$\leq 185 \text{ mm}^2$	$> 185 \text{ mm}^2$	$\leq 185 \text{ mm}^2$	$> 185 \text{ mm}^2$
0,50	1,06	1,09	1,06	1,08
0,60	1,04	1,07	1,04	1,06
0,80	1,02	1,03	1,02	1,03
1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
1,25	0,98	0,98	0,98	0,98
1,50	0,97	0,96	0,97	0,96
1,75	0,96	0,94	0,96	0,95
2,00	0,95	0,93	0,95	0,94
2,50	0,93	0,91	0,93	0,92
3,00	0,92	0,89	0,92	0,91

Sabiendo que el conductor se instalará a una profundidad de 1 metro tenemos un factor de corrección debido a la profundidad de instalación:

$$F_{cp} = 1,00$$

2.4.6. RESULTADO DE LA INTENSIDAD MÁXIMA ADMISIBLE EN SERVICIO PERMANENTE

Una vez conocida la intensidad máxima admisible del conductor y todos los factores de corrección debido a la temperatura del terreno, a la resistividad de este, a la agrupación de circuitos y a la profundidad de instalación tenemos que:

$$I_{adm} = I \cdot F_{ct} \cdot F_{crt} \cdot F_{ca} \cdot F_{cp} = 260 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1$$

$$I_{adm} = 260,00 \text{ A}$$

La máxima corriente que circulará por la línea la obtenemos tras la aplicación de la siguiente fórmula:

$$I = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U}$$

Siendo:

I: máxima corriente que circulará por la línea

S: potencia máxima de la línea

U: tensión de la línea

$$I_{max} = \frac{4.750 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 15.000}$$

$$I_{max} = 203,14 \text{ A}$$

La corriente máxima que circulará por la línea es menor que la máxima corriente admisible por el conductor, por lo que el conductor seleccionado es válido para el cálculo de corrientes máximas admisibles:

$$I_{adm} > I_{max}$$

$$260,00 \text{ A} > 203,14 \text{ A}$$

2.5 INTENSIDAD MÁXIMA ADMISIBLE PARA EL CABLE EN CORTOCIRCUITO

La temperatura que puede alcanzar el conductor del cable, como consecuencia de un cortocircuito o sobreintensidad de corta duración, no debe sobrepasar la temperatura máxima admisible de corta duración (para menos de un tiempo t) asignada a los materiales utilizados para el aislamiento del cable.

A estos efectos, se considera el proceso adiabático, es decir que el calor desprendido durante el proceso es absorbido por los conductores.

Se tiene que cumplir que el valor de la integral de Joule durante el cortocircuito tiene que ser menor el valor máximo de la integral de Joule admisible en el conductor.

$$I_{cc3}^2 \cdot t_{cc} \leq I_{cc3Adm}^2 \cdot t_{cc} = (K \cdot S)^2$$

Con esta fórmula se calcula la intensidad de cortocircuito trifásico admisible del conductor.

$$I_{cc3Adm} = K \cdot \frac{S}{\sqrt{t_{cc}}}$$

Donde:

$I_{cc3\text{Adm}}$: intensidad de cortocircuito trifásico calculada con hipótesis adiabática en el conductor

S: sección del conductor [mm²]

K: coeficiente que depende de la naturaleza del conductor y del tipo de aislamiento. Representa la densidad de corriente admisible para un cortocircuito de 1 segundo y para el caso del conductor de Al con aislamiento XLPE. K = 94 A/mm², suponiendo una temperatura inicial antes del cortocircuito de 105 °C y máxima durante el cortocircuito de 250 °C.

t_{cc} : duración del cortocircuito en segundos (1s)

Tabla 26. Densidad máxima admisible de corriente de cortocircuito, en A/mm², para conductores de aluminio

Tipo de aislamiento	$\Delta\theta^*$ (K)	Duración del cortocircuito, t_{cc} , en segundos									
		0,1	0,2	0,3	0,5	0,6	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
PVC:											
sección ≤ 300 mm ²	90	240	170	138	107	98	76	62	53	48	43
sección > 300 mm ²	70	215	152	124	96	87	68	55	48	43	39
XLPE, EPR y HEPR	160	298	211	172	133	122	94	77	66	59	54
HEPR U _o /U _≤ 18/30 kV	145	281	199	162	126	115	89	73	63	56	51

* $\Delta\theta$ es la diferencia entre la temperatura de servicio permanente y la temperatura de cortocircuito.

A continuación, se indica la intensidad máxima admisible de cortocircuito para el conductor empleado:

$$I_{cc3\text{Adm}} = 94 \cdot \frac{150}{\sqrt{1}}$$

$$I_{cc3\text{Adm}} = 14.100 \text{ A}$$

Según los datos proporcionados por la compañía distribuidora, la máxima corriente de cortocircuito en el punto de conexión es:

$$I_{cc3,\text{máx}} = 12.500 \text{ A (1 s)}$$

Como este valor es menor que la intensidad máxima admisible de cortocircuito para el conductor empleado, podemos afirmar que el conductor propuesto cumple con las condiciones de cortocircuito:

$$I_{cc3\text{Adm}} > I_{cc3,\text{máx}}$$

$$14.100 \text{ A (1 s)} > 12.500 \text{ A (1 s)}$$

2.6 INTENSIDADES DE CORTOCIRCUITO ADMISIBLES EN LAS PANTALLAS

La intensidad de cortocircuito admisible en la pantalla de aluminio se ha calculado siguiendo la guía de la norma UNE 211003 y el método descrito en la norma UNE 21192.

Se tiene en cuenta que la pantalla es de hilos de cobre se sección total 16 mm², con una temperatura inicial de 85 °C y una temperatura final de la pantalla de 180 °C.

Se comprobará, de acuerdo con la instalación proyectada, que las intensidades de cortocircuito por la pantalla calculadas en el punto de cortocircuito (cortocircuito monofásico) quedan por debajo de los valores de intensidad de cortocircuito máxima admisibles definidos en la siguiente tabla:

Tabla 23
Intensidades de cortocircuito admisible en la pantalla de cobre, en kA

Aislamiento	Sección mm ²	Duración en segundos								
		0,1	0,2	0,3	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
HEPR	16	6,08	4,38	3,58	2,87	2,12	1,72	1,59	1,41	1,32
	25	8,46	6,85	4,85	4,49	3,32	2,77	2,49	2,12	2,01
XLPE	16	6,08	4,38	3,58	2,87	2,12	1,72	1,59	1,41	1,32
	25	8,46	6,85	4,85	4,49	3,32	2,77	2,49	2,12	2,01

Para el conductor empleado la intensidad de cortocircuito admisible en la pantalla para una duración del cortocircuito de 1 segundo es de **2,12 kA**.

Según el catálogo técnico del cableado empleado, la intensidad máxima de cortocircuito en la pantalla para una duración del cortocircuito de 1 segundo es de **2,88 kA**.

1x SECCIÓN CONDUCTOR (A) / SECCIÓN PANTALLA (Cu) (mm ²)	INTENSIDAD MÁXIMA DE CORTOCIRCUITO EN LA PANTALLA DURANTE 1s*** (A)	
	12/20 kV (pant, 16 mm ²)	18/30 kV (pant, 25 mm ²)
1x 50 (2)	2880	
1x 95	2880	4250
1x 150 (1)	2880	4250
1x 240 (1)	2880	4250
1x 400 (1)	2880	4250
1x 630 (1)	2880	4250

Según los datos proporcionados por la compañía distribuidora, la corriente de cortocircuito monofásico de diseño en el punto de conexión es:

$$I_{cc2} = 1.000 \text{ A}$$

Como este valor es menor que la intensidad máxima admisible de cortocircuito en la pantalla para el conductor empleado, podemos afirmar que el conductor propuesto cumple con las condiciones de cortocircuito:

$$I_{cc2,Adm} > I_{cc2}$$

$$2.880 \text{ A} > 1.000 \text{ A}$$

2.7 PÉRDIDA DE POTENCIA

Las potencias de una línea vendrán dadas por la siguiente expresión:

En valor absoluto:

$$P_P = \frac{3 \cdot R \cdot L \cdot I^2}{1000} = \frac{3 \cdot 0,264 \cdot 269,85 \cdot 203,14^2}{1000}$$

$$P_P = 7.370,92 \text{ W}$$

En valor porcentual:

$$P_P(\%) = \frac{P_P}{P} \cdot 100 = \frac{7.370,92}{4.750.000,00} \cdot 100 = 0,155 \%$$

$$P_P(\%) = 0,155 \%$$

2.8 CAÍDA DE TENSIÓN

La caída de tensión se calculará en el punto final del tramo proyectado mediante la siguiente expresión:

En valor absoluto:

$$cdt = \frac{\sqrt{3} \cdot I \cdot L}{1000} \cdot (R \cdot \cos \varphi + X \cdot \sin \varphi) = \frac{\sqrt{3} \cdot 203,14 \cdot 269,85}{1000} \cdot (0,264 \cdot 0,9 + 0,112 \cdot 0,4359)$$

$$cdt = 24,11 \text{ V}$$

En valor porcentual:

$$cdt (\%) = \frac{cdt}{U} \cdot 100 = \frac{24,11}{15.000} \cdot 100$$

$$\mathbf{cdt (\%) = 0,16 \%}$$

2.9 PROTECCIONES

2.9.1. PROTECCIONES CONTRA SOBREINTENSIDADES

Las líneas deberán estar debidamente protegidas contra los efectos peligrosos, térmicos y dinámicos que puedan originar las sobreintensidades susceptibles de producirse en la instalación, cuando estas puedan dar lugar a averías y daños en las citadas instalaciones.

Las salidas de línea deberán estar protegidas contra cortocircuitos y, cuando proceda, contra sobrecargas. Para ello se colocarán cortacircuitos fusibles o interruptores automáticos, con emplazamiento en el inicio de las líneas. Las características de funcionamiento de dichos elementos corresponderán a las exigencias del conjunto de la instalación de la que el cable forme parte integrante, considerando las limitaciones propias de este.

En cuanto a la ubicación y agrupación de los elementos de protección de los transformadores, así como los sistemas de protección de las líneas, se aplicará lo establecido en la ITC MIE-RAT 09 del Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en centrales eléctricas, subestaciones y centros de transformación.

Los dispositivos de protección utilizados no deberán producir, durante su actuación, proyecciones peligrosas de materiales ni explosiones que puedan ocasionar daños a personas o cosas.

Entre los diferentes dispositivos de protección contra las sobreintensidades pertenecientes a la misma instalación, o en relación con otros exteriores a esta, se establecerá una adecuada coordinación de actuación para que la parte desconectada en caso de cortocircuito o sobrecarga sea la menor posible.

El proyectista analizará la existencia de fenómenos de ferroresonancias por combinación de las intensidades capacitivas con las magnetizantes de transformadores durante el seccionamiento unipolar de líneas sin carga, en cuyo caso se utilizará de seccionamiento tripolar en lugar de seccionamiento unipolar.

Protección contra cortocircuitos:

La protección contra cortocircuito por medio de fusibles o interruptores automáticos se establecerá de forma que la falta sea despejada en un tiempo tal que la temperatura alcanzada por el conductor durante el cortocircuito no exceda de la máxima admisible asignada en cortocircuito.

Las intensidades máximas admisibles de cortocircuito en los conductores y pantallas, correspondientes a tiempos de desconexión comprendidos entre 0,1 y 0,3 segundos, serán las indicadas en el capítulo 6 de la presente instrucción. Podrán admitirse intensidades de cortocircuito mayores a las indicadas, y a estos efectos el fabricante del cable deberá aportar la documentación justificativa correspondiente.

Protección contra sobrecargas:

En general, no será obligatorio establecer protecciones contra sobrecargas, si bien es necesario, controlar la carga en el origen de la línea o del cable mediante el empleo de aparatos de medida, mediciones periódicas o bien por estimaciones estadísticas a partir de las cargas conectadas al mismo, con objeto de asegurar que la temperatura del cable no supere la máxima admisible en servicio permanente.

2.9.2. PROTECCIÓN CONTRA SOBRETENSIONES

Los cables deberán protegerse contra las sobretensiones peligrosas, tanto de origen interno como de origen atmosférico, cuando la importancia de la instalación, el valor de las sobretensiones y su frecuencia de ocurrencia así lo aconsejen.

Para ello se utilizarán pararrayos de resistencia variable o pararrayos de óxidos metálicos, cuyas características estarán en función de las probables intensidades de corriente a tierra que puedan preverse en caso de sobretensión o se observará el cumplimiento de las reglas de coordinación de aislamiento correspondientes. Deberá cumplirse también, en lo referente a coordinación de aislamiento y puesta a tierra de los pararrayos, lo indicado en las instrucciones MIE-RAT 12 y MIE-RAT 13, respectivamente, Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en centrales eléctricas, subestaciones y centros de transformación, aprobado por Real Decreto 3275/1982, de 12 de noviembre.

En lo referente a protecciones contra sobretensiones serán de consideración igualmente las especificaciones establecidas por las Normas UNE-EN 60071-1, UNE-EN 60071-2 y UNE-EN 60099-5.

3. CÁLCULOS ELÉCTRICOS DEL CENTRO DE TRANSFORMACIÓN

3.1 PUENTES DE MEDIA TENSIÓN

La intensidad nominal demandada por el transformador en alta tensión es igual a:

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U} = \frac{5.000.000}{\sqrt{3} \cdot 15.000} = 192,45 \text{ A}$$

Inferior al valor máximo admisible por el cable seleccionado RH5Z1-OL AL 12/20 kV 3x(1x150 mm²), que es de **260 A**.

3.2 PUENTES DE BAJA TENSIÓN

Se justifica el puente previsto para el caso de transformador de 5.000 kVA con secundario B" (800 V), que según justificaremos a continuación está formado 14 ternas en 800 V.

Aplicando la siguiente fórmula se obtiene la intensidad máxima para cada conductor:

$$I = \frac{P}{n \cdot \sqrt{3} \cdot U} = \frac{5.000.000}{14 \cdot \sqrt{3} \cdot 800}$$

$$I = 257,75 \text{ A}$$

Según la tabla 11 de la ITC BT-07 para conductores de 240 mm² de aluminio con aislamiento XLPE, la intensidad máxima admisible es de **420 A**.

La intensidad admisible se calcula a partir de la máxima admisible aplicándole los siguientes factores de corrección debidos a las condiciones particulares de instalación.

- Se considera una temperatura ambiente de 50 °C, lo cual supone un factor de corrección de:

$$f_1 = 0,90$$

- El factor de corrección para la agrupación de 14 ternas en capa única sobre sistemas de bandejas perforadas horizontales o verticales es:

$$f_2 = 0,72$$

Con lo que, la intensidad admisible de cada conductor es:

$$I_{adm} = I_{máx} \cdot f_1 \cdot f_2 = 420 \cdot 0,9 \cdot 0,72$$

$$I_{adm} = 272,16 \text{ A}$$

Se cumple que la intensidad admisible es superior a la máxima o nominal, por lo que se concluye que los puentes están adecuadamente dimensionados:

$$I_{máx} < I_{adm}$$

$$257,75 \text{ A} < 272,16 \text{ A}$$

3.3 INTENSIDAD DE CORTOCIRCUITO

La corriente de cortocircuito del secundario de un transformador trifásico viene dada por la expresión:

$$I_{ccs} = \frac{100 \cdot P}{\sqrt{3} \cdot E_{cc} \cdot U_s}$$

Siendo:

P: potencia del transformador [kVA]

E_{cc}: tensión de cortocircuito del transformador [%]

U_s: tensión en el secundario [V]

I_{ccs}: corriente de cortocircuito [kA]

$$I_{ccs} = \frac{100 \cdot P}{\sqrt{3} \cdot E_{cc} \cdot U_s} = \frac{100 \cdot 5.000.000}{\sqrt{3} \cdot 8 \cdot 800}$$

$$I_{ccs} = 45,11 \text{ kA} < 50 \text{ kA}$$

4. CÁLCULO DE LAS INSTALACIONES DE PUESTA A TIERRA DEL CT Y LA LÍNEA INTERNA

4.1 INTRODUCCIÓN

El cálculo de la instalación de puesta a tierra se realiza según el “Método de cálculo y proyecto de instalaciones de puesta a tierra para centros de transformación conectados a redes de tercera categoría” elaborado por UNESA.

4.2 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA INSTALACIÓN

4.2.1. PUESTA A TIERRA DE PROTECCIÓN

Cuando se produce un defecto a tierra en la instalación de AT, se provoca una elevación del potencial en el circuito de puesta a tierra de protección a través del cual circulará la intensidad de defecto. Asimismo, al disiparse dicha intensidad por tierra, aparecerán en el terreno gradientes de potencial. Al diseñarse el sistema de puesta a tierra de protección deberán tenerse en cuenta los siguientes aspectos:

- Seguridad de las personas en relación con las elevaciones de potencial.
- Sobretensiones peligrosas para las instalaciones.
- Valor de la intensidad de defecto que haga actuar las protecciones, asegurando la eliminación de la falta.

4.2.2. PUESTA A TIERRA DE SERVICIO

El sistema de puesta a tierra de servicio se diseña bajo el criterio de que su resistencia de puesta a tierra sea inferior a 37Ω . Con esto se consigue que un defecto a tierra en la instalación de un abonado, protegida contra contactos indirectos por un interruptor diferencial de 650 mA de sensibilidad, no ocasione en el electrodo de puesta a tierra de servicio una tensión superior a 24 V.

4.2.3. SISTEMA ÚNICO PARA LAS PUESTAS A TIERRA DE PROTECCIÓN Y SERVICIO

La reglamentación vigente permite la utilización de un único sistema de puesta a tierra de protección y servicio para el centro siempre y cuando se verifique que la tensión de defecto a tierra sea inferior a 1.000 V.

4.3 DATOS INICIALES

Los datos necesarios para realizar el cálculo serán:

- U: tensión de servicio de la red (V)
- V_{bt} : nivel de aislamiento de las instalaciones de BT (V)
- ρ : resistividad del terreno ($\Omega \cdot m$)
- a – b: dimensiones exteriores (ancho y largo) del local en planta (m)

Duración de la falta:

Tipo de relé para desconexión inicial (tipo independiente o dependiente).

- I_a' : intensidad de arranque del relé de desconexión inicial (A)
- t' : relé de desconexión inicial a tiempo independiente. Tiempo de actuación del relé (s)
- k, α : relé de desconexión inicial a tiempo dependiente. Constantes del relé que dependen de su curva característica intensidad-tiempo.

k_v : factor de tiempo de ajuste de relé de protección.

Reenganche rápido, no superior a 0'5 s (Si o No). En caso afirmativo: Tipo de relé del reenganche (tiempo independiente o dependiente).

I_a'' : intensidad de arranque del relé tras el reenganche rápido (A)

t'' : relé a tiempo independiente. Tiempo de actuación del relé (s) tras el reenganche rápido.

k, α : relé tiempo dependiente. Constantes del relé.

k_v : factor de tiempo de ajuste de relé de protección.

Para el caso de red con neutro aislado:

C_a : capacidad homopolar de la línea aérea (F/km). Normalmente se adopta $C_a=0,006 \mu F/km$.

L_a : longitud total de las líneas aéreas de media tensión subsidiarias de la misma transformación AT/MT (km)

C_c : capacidad homopolar de la línea subterránea (F/km). Normalmente se adopta $C_c=0,25 \mu F/km$.

L_c : longitud total de las líneas subterráneas de media tensión subsidiarias de la misma transformación AT/MT (km)

ω : pulsación de la corriente ($\omega=2\pi f$)

Para el caso de red con neutro a tierra:

R_n : resistencia de la puesta a tierra del neutro de la red (Ω)

X_n : reactancia de la puesta a tierra del neutro de la red (Ω)

A continuación, se detallan los pasos a seguir para el cálculo y diseño de la instalación de tierra.

4.4 RESISTIVIDAD DEL TERRENO

Para instalaciones de tercera categoría y de intensidad de cortocircuito a tierra menor o igual a 16kA, el apartado 4.1 de la ITC-RAT 13 admite, que además de medir, se pueda estimar la resistividad del terreno.

Para la estimación de la resistividad del terreno es de utilidad la tabla siguiente, en la que se dan valores orientativos de la misma en función de la naturaleza del suelo:

Naturaleza del terreno	Resistividad ($\Omega \cdot m$)
Terrenos pantanosos	De algunas unidades a 30
Limo	20 a 100
Humus	10 a 150
Turba húmeda	5 a 100
Arcilla plástica	50
Margas y arcillas compactas	100 a 200

Margas del jurásico	30 a 40
Arena arcillosa	50 a 500
Arena silícea	200 a 3000
Suelo pedregoso cubierto de césped	300 a 500
Suelo pedregoso desnudo	1500 a 3000
Calizas blandas	100 a 300
Calizas compactas	1000 a 5000
Calizas agrietadas	500 a 1000
Pizarras	50 a 300
Rocas de mica y cuarzo	800
Granitos y res procedentes de alteración	1500 a 10000
Granitos y gres muy alterados	100 a 600
Hormigón	2000 a 3000
Balasto o grava	3000 a 5000

En el caso de que se requiera realizar la medición de la resistividad del terreno, se recomienda utilizar el método de Wenner. Se clavarán en el terreno cuatro picas alineadas a distancias (a) iguales entre sí y simétricas con respecto al punto en el que se desea medir la resistividad (ver figura siguiente). La profundidad de estas picas no es necesario que sea mayor de unos 30 cm.

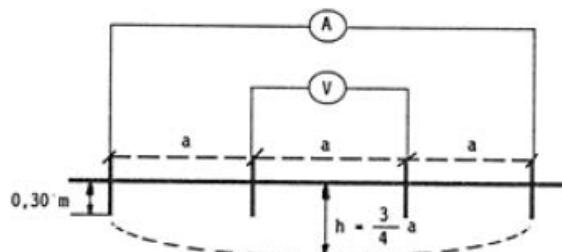


Figura 1.- Método de Wenner. Medición de la resistividad del terreno

Dada la profundidad máxima a la que se instalará el electrodo de puesta a tierra del CT (h), calcularemos la distancia entre picas para realizar la medición mediante la siguiente expresión:

$$a = \frac{4}{3} \cdot h$$

Con el aparato de medida se inyecta una diferencia de potencial (V) entre las dos picas centrales y se mide la intensidad (I) que circula por un cable conductor que une las dos picas extremas. La resistividad media del terreno entre la superficie y la profundidad h viene dada por:

$$\rho_h = \frac{2 \cdot \pi \cdot a \cdot U}{I}$$

Si denominamos r a la lectura del aparato:

$$r = \frac{U}{I}$$

La resistividad quedará:

$$\rho_h = 2 \cdot \pi \cdot a \cdot r$$

Siendo:

ρ_h : resistividad media del terreno entre la superficie y la profundidad h ($\Omega \cdot \text{m}$)

r: lectura del equipo de medida (Ω)

a: distancia entre picas en la medida (m)

4.5 CÁLCULO DE LA PUESTA A TIERRA DE PROTECCIÓN

4.5.1. DETERMINACIÓN DE LA INTENSIDAD DE DEFECTO A TIERRA

El cálculo de la intensidad de defecto a tierra tiene una formulación diferente según el sistema de instalación de la puesta a tierra del neutro de la red.

4.5.2. NEUTRO AISLADO

La intensidad de defecto a tierra es la capacitiva de la red respecto a tierra, y depende de la longitud y características de las líneas de MT de la subestación que alimenta el CT.

Excepto en aquellos casos en los que el proyectista justifique otros valores, para el cálculo de la corriente máxima de defecto a tierra en una red con neutro aislado, se aplicará la siguiente expresión:

$$I_d = \frac{c \cdot \sqrt{3} \cdot U \cdot \omega \cdot (C_a \cdot L_a + C_c \cdot L_c)}{\sqrt{1 + [\omega \cdot (C_a \cdot L_a + C_c \cdot L_c)]^2} \cdot (3 \cdot R_t)^2}$$

Donde:

c: factor de tensión ($c=1,1$)

I_d : intensidad máxima de defecto a tierra (A)

R_t : resistencia de la puesta a tierra de protección del centro (Ω)

El resto de las variables tienen la definición y unidades en el apartado 3.3.

4.5.3. NEUTRO A TIERRA

La intensidad de defecto a tierra, en el caso de redes con el neutro a tierra, es inversamente proporcional a la impedancia del circuito que debe recorrer. Como caso más desfavorable y para simplificar los cálculos, salvo que el proyectista justifique otros aspectos, sólo se considerará la impedancia de la puesta a tierra del neutro de la red de media tensión y la resistencia del electrodo de puesta a tierra. Esto supone estimar nula la impedancia homopolar de las líneas o cables, con lo que se consigue independizar los resultados de las posteriores modificaciones de la red. Este criterio no se aplicará en los casos de neutro unido rígidamente a tierra, en los que sí se considerará dicha impedancia.

Para el cálculo se aplicará, salvo justificación, la siguiente expresión:

$$I_d = \frac{c \cdot U}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{X_N^2 + (R_N + R_t)^2}}$$

Donde:

c: factor de tensión (c=1,1)

I_d : intensidad máxima de defecto a tierra (A)

R_t : resistencia de la puesta a tierra de protección del centro (Ω)

R_N : resistencia de la puesta a tierra del neutro de la red (Ω)

X_N : reactancia de la puesta a tierra del neutro de la red (Ω)

4.5.4. RESISTENCIA MÁXIMA DE LA PUESTA A TIERRA DE MASAS DEL CT

El cálculo de la intensidad de defecto a tierra tiene una formulación diferente según el sistema de instalación de la puesta a tierra del neutro de la red de distribución.

En caso de producirse un defecto a tierra, la sobretensión originada no debe ser superior al nivel de aislamiento de la instalación de BT del centro, es decir, se debe verificar que:

$$I_d \cdot R_t \leq V_{bt}$$

Por tanto, la resistencia máxima de la puesta a tierra de masas o protección del centro la podemos calcular por la expresión:

$$R_t \leq \frac{V_{bt}}{I_d}$$

4.5.5. SELECCIÓN DEL ELECTRODO

La resistencia de tierra del electrodo, que depende de su forma, dimensiones y de la resistividad del suelo, se puede calcular de acuerdo con las fórmulas contenidas en la siguiente tabla, o mediante programas u otras expresiones numéricas suficientemente probadas:

Tipo de electrodo	Resistencia en ohmios
Pica vertical	$R = \frac{\rho}{L}$
Conductor enterrado horizontalmente	$R = \frac{2 \cdot \rho}{L}$

Malla de tierra	$R = \frac{\rho}{4 \cdot r} + \frac{\rho}{L}$
-----------------	---

Siendo:

R: resistencia de tierra del electrodo (Ω)

ρ : resistividad del terreno ($\Omega \cdot \text{m}$)

L: longitud en metros de la pica o del conductor, y en malla la longitud total de los conductores enterrados.

r: radio en metros de un círculo de la misma superficie que el área cubierta por la malla.

También pueden seleccionarse electrodo de entre las configuraciones tipo de las tablas del Anexo 2 del Método de cálculo y proyecto de instalaciones de puesta a tierra para centros de transformación de UNESA. Las distintas configuraciones posibles vienen identificadas por un código que contiene la siguiente información:

Electrodos con picas en anillo

A-B / C / DE

A: dimensión del lado mayor del electrodo (dm)

B: dimensión del lado menor del electrodo (dm)

C: profundidad a la que está enterrado el electrodo, es decir, la cabeza de las picas (dm)

D: número de picas

E: longitud de las picas (m)

Electrodos con picas alineadas

A / BC

A: profundidad a la que está enterrado el electrodo, es decir, la cabeza de las picas (dm)

B: número de picas

C: longitud de las picas (m)

Para elegir el electrodo adecuado se tendrá en cuenta la forma, dimensiones exteriores de la planta del centro y que el valor unitario máximo de la resistencia de puesta a tierra del electrodo (K_r) debe verificar:

$$K_r \leq \frac{R_t}{\rho}$$

Una vez seleccionado el electrodo, obtendremos de las tablas del Anexo 2 del Método de cálculo y proyecto de instalaciones de puesta a tierra para centros de transformación de UNESA sus parámetros característicos:

K_r : valor unitario de la resistencia de puesta a tierra ($\Omega/\Omega \cdot \text{m}$)

K_p : valor unitario que representa la máxima tensión de paso unitaria en la instalación ($\text{V}/\Omega \cdot \text{m} \cdot \text{A}$)

K_c : valor unitario que representa la máxima tensión de contacto unitaria en la instalación ($\text{V}/\Omega \cdot \text{m} \cdot \text{A}$)

4.5.6. CÁLCULO DE LA RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA, INTENSIDAD DE DEFECTO Y TENSIONES DE PASO PARA EL ELECTRODO SELECCIONADO

A continuación, se calculan los valores de la resistencia de puesta a tierra (R_t'), intensidad de defecto (I_d') y tensión de defecto (V_d') del electrodo seleccionado mediante las siguientes expresiones:

Resistencia de puesta a tierra del electrodo seleccionado:

$$R_t' = K_r \cdot \rho$$

Intensidad de defecto a tierra:

Para neutro aislado:

$$I_d = \frac{c \cdot \sqrt{3} \cdot U \cdot \omega \cdot (C_a \cdot L_a + C_c \cdot L_c)}{\sqrt{1 + [\omega \cdot (C_a \cdot L_a + C_c \cdot L_c)]^2 \cdot (3 \cdot R_t)^2}}$$

Para neutro a tierra:

$$I_d = \frac{c \cdot U}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{X_N^2 + (R_N + R_t)^2}}$$

Tensión de defecto:

$$V_d' = R_t' \cdot I_d'$$

En general, la tensión de paso en el exterior (V_p') y la tensión de paso en el acceso al centro (V_{pacc}') se calculan mediante las siguientes fórmulas:

Tensión de paso en el exterior:

$$V_p' = I_d' \cdot \rho \cdot K_p$$

Tensión de paso en el acceso al centro:

$$V_{pacc}' = I_d' \cdot \rho \cdot K_c$$

Al existir un mallazo equipotencial en la solera del centro conectado al electrodo de puesta a tierra, la tensión de paso de acceso será equivalente al valor de la tensión de contacto en el exterior, por lo tanto:

- Agrupación de electrodos en paralelo:**

Cuando no sea posible alcanzar un valor de resistencia de puesta a tierra adecuado que verifique que las tensiones de paso y contacto sean admisibles utilizando un solo electrodo, se agruparán varios electrodos en paralelo. En este caso se procederá de la siguiente manera:

La resistencia equivalente del electrodo (R_t') resultante de la agrupación en paralelo de los N electrodos individuales se obtendrá a partir de la resistencia de cada electrodo individual (R_{ti}') mediante la expresión:

$$R'_t = \frac{\rho}{\sum_{i=1}^N \frac{1}{R'_{ti}}}$$

Si suponemos la resistividad del terreno constante alrededor del centro, la resistencia individual de cada electrodo dependerá de su valor unitario de resistencia (K_{ri}) que será diferente según su configuración geométrica:

$$R'_{ti} = \rho \cdot K_{ri}$$

Con lo que resulta:

$$R'_t = \frac{\rho}{\sum_{i=1}^N \frac{1}{K_{ri}}}$$

Dado que los electrodo se conectan en paralelo, la tensión de defecto será la misma para todos ellos y se calculará como el producto de la resistencia equivalente y la intensidad de defecto total obtenida mediante las expresiones dadas en el apartado anterior según el modo de instalación del neutro de la red (neutro aislado o a tierra):

$$V'_d = R'_t \cdot I'_d$$

La corriente de defecto que atravesará cada uno de los electrodos individuales será inversamente proporcional a su resistencia de puesta a tierra:

$$I'_{di} = \frac{V'_d}{R'_{ti}}$$

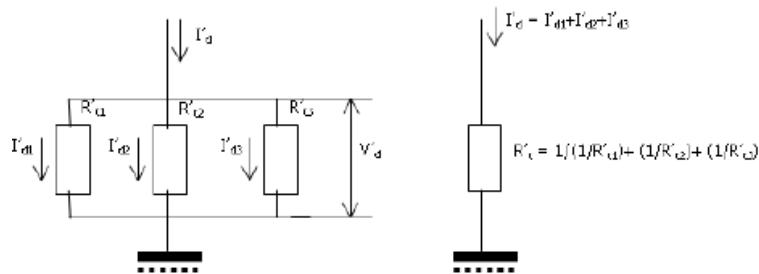


Figura 2.-Círculo equivalente. Agrupación de electrodos en paralelo

La tensión de paso en la superficie sobre cada electrodo puede considerarse, con suficiente aproximación, igual a la calculada a partir de su valor unitario de tensión de paso exterior (K_{pi}) y de la intensidad de defecto que lo atraviesa (I'_{di}):

$$V'_{pi} = I'_{di} \cdot \rho \cdot K_{pi}$$

Se adoptará como tensión de paso de cálculo (V'_p) el máximo de los valores de las tensiones de paso para cada electrodo individual:

$$V'_p = \max(V'_{pi})$$

De manera análoga calcularemos la tensión de paso en el acceso (V'_{pacc}) como:

$$V'_{p(acc)i} = I'_{di} \cdot \rho \cdot K_{ci}$$

$$V'_{pacc} = \max(V'_{p(acc)i})$$

4.5.7. TIEMPO DE ELIMINACIÓN DEL DEFECTO

Las líneas de MT que alimentan los centros disponen de los dispositivos necesarios para despejar, en su caso, los posibles defectos a tierra mediante la apertura del interruptor que actúa por la orden transmitida por un relé que controla la intensidad de defecto.

Respecto a los tiempos de actuación de los relés, las variantes normales son las siguientes:

Relés a tiempo independiente:

El tiempo de actuación no depende del valor de la sobreintensidad. Cuando esta supera el valor del arranque, actúa en un tiempo prefijado. En este caso:

$$t' = cte$$

Relés a tiempo dependiente:

El tiempo de actuación depende inversamente de la sobreintensidad. Algunos de los relés más utilizados responden a la siguiente expresión:

$$t' = \frac{k}{\left(\frac{I'_d}{I'_a}\right)^\alpha} \cdot k_v$$

Siendo:

I'_d : intensidad de defecto (A)

I'_a : intensidad de ajuste del relé de protección (A)

α , k : constantes características de la curva de protección

k_v : factor de tiempo de ajuste de relé de protección

t' : tiempo de actuación del relé de protección (s)

En la tabla siguiente se dan valores de la constante (K') del relé para los tres tipos de curva (α') más utilizadas:

Normal inversa ($\alpha=0,02$)	Muy inversa ($\alpha=1$)	Extremadamente inversa ($\alpha=2$)
0,13	13,5	96

En el caso de que exista reenganche rápido (menos de 0'5 segundos), el tiempo de actuación del relé tras el reenganche será:

Relé a tiempo independiente:

$$t' = cte$$

Relé a tiempo pendiente:

$$t' = \frac{k}{\left(\frac{I'_d}{I'_a}\right)^\alpha} \cdot k_v$$

La duración total de falta será la suma de los tiempos correspondientes a la primera actuación más de la desconexión posterior al reenganche típico.

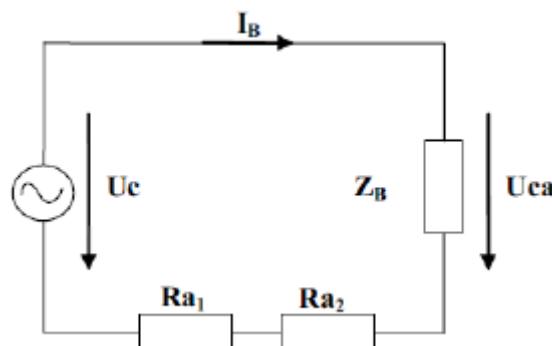
$$t = t' + t''$$

4.5.8. VALORES MÁXIMOS DE TENSIÓN ADMISIBLES

De acuerdo con lo establecido en la ITC RAT-13, la tensión máxima admisible por el cuerpo humano depende de la duración de la corriente de falta, según se refleja en la siguiente tabla:

Duración de la falta t_f (s)	Tensión de contacto aplicada admisible V_{ca} (V)
0,05	735
0,1	633
0,2	528
0,3	420
0,4	310
0,5	204
1	107
2	90
5	81
10	80
>10	50

A partir de estos valores admisibles de tensión aplicada, se pueden determinar las máximas tensiones de contacto o paso admisibles en la instalación, V_c y V_p , considerando todas las resistencias que intervienen entre el punto en tensión y el terreno:



Donde:

- V_{ca} : tensión de contacto aplicada admisible
 V_{pa} : tensión de paso aplicada admisible ($V_{pa}=10 \cdot V_{ca}$ según ITC RAT-13)
 Z_B : impedancia del cuerpo humano (se considera 1.000Ω)
 I_B : corriente a través del cuerpo
 V_c : tensión de contacto máxima admisible en la instalación
 V_p : tensión de paso máxima admisible en la instalación
 R_{a1} : resistencia adicionales (calzado)
 R_{a2} : resistencia adicionales (contacto con el suelo)

A partir de estos valores admisibles de tensión aplicada, se pueden determinar las máximas tensiones de contacto o paso admisibles en la instalación, V_c y V_p , considerando todas las resistencias que intervienen entre el punto en tensión y el terreno:

$$V_c = V_{ca} \cdot \left[1 + \frac{R_{a1} + R_{a2}}{2 \cdot Z_B} \right] = V_{ca} \cdot \left[1 + \frac{\frac{R_{a1}}{2} + 1,5 \cdot \rho_s}{1000} \right]$$

$$V_p = V_{pa} \cdot \left[1 + \frac{R_{a1} + R_{a2}}{2 \cdot Z_B} \right] = 10 \cdot V_{ca} \cdot \left[1 + \frac{2 \cdot R_{a1} + 6 \cdot \rho_s}{1000} \right]$$

Que responde al siguiente planteamiento:

- Se supone que la resistencia del cuerpo humano es de 1.000Ω .
- Se asimila cada pie a un electrodo en forma de placa de 200 mm^2 de superficie, ejerciendo sobre el suelo una fuerza mínima de 250 N , lo que representa una resistencia de contacto con el suelo de $3 \cdot \rho_s$, donde ρ_s es la resistividad del terreno.
- Según cada caso, R_{a1} es la resistencia del calzado, la resistencia de superficies de material aislante, etc. El reglamento de instalaciones eléctricas de alta tensión permite utilizar valores de 2.000Ω para esta resistencia.

Para los casos en los que el terreno se recubra de una capa adicional de elevada resistividad (por ejemplo, la losa de hormigón con o sin una capa adicional de emulsión asfáltica), se multiplicará el valor de la resistividad de dicha capa por un coeficiente reductor. El coeficiente reductor se obtendrá de la expresión siguiente:

$$C_s = 1 - 0,106 \cdot \left(\frac{1 - \frac{\rho}{\rho^*}}{2 \cdot h_s + 0,106} \right)$$

Siendo:

- C_s : coeficiente reductor de la resistividad de la capa superficial
 ρ : resistividad del terreno natural
 ρ^* : resistividad de la capa superficial
 h_s : espesor de la capa superficial en metros

4.5.9. COMPROBACIÓN DE QUE CON EL ELECTRODO SELECCIONADO SE SATISFACEN LAS CONDICIONES EXIGIDAS

- **Tensiones de paso y contacto en el interior del centro:**

La solera del centro estará dotada del correspondiente mallazo equipotencial, por tanto, no existirá riesgo por tensiones de paso o contacto en el interior, ya que serán prácticamente nulas.

- **Tensión de contacto en el exterior del centro:**

Las puertas y rejas metálicas que dan al exterior del centro no tienen contacto eléctrico con ningún elemento susceptible de quedar en tensión como consecuencia de un defecto a tierra, por lo que no es necesario realizar el cálculo de la tensión de contacto exterior que será prácticamente nula.

- **Tensión de paso en exterior y de paso en el acceso al centro:**

La tensión de paso en el exterior del centro, calculada para el electrodo seleccionado, debe ser menor o igual que el máximo valor admisible de la tensión de paso:

$$V'_p \leq V_p$$

De igual modo, la tensión de paso en el acceso al centro para el electrodo seleccionado, debe ser menor o igual que el máximo valor admisible de la tensión de paso en el acceso:

$$V'_{p(acc)} \leq V_{p(acc)}$$

- **Protección del material:**

La tensión de defecto debe ser menor o igual que el nivel de aislamiento a frecuencia industrial de los equipos de BT del centro:

$$V'_d \leq V_{bt}$$

- **Garantía de eliminación de la falta:**

La intensidad de arranque de las protecciones tendrá que ser superior a la intensidad de defecto:

$$I'_d > I'_a \text{ y } I'_d > I''_a$$

- **Corrección y ajuste del diseño inicial:**

En el caso de que con el electrodo seleccionado se incumpla alguna de las condiciones indicadas en el apartado anterior, deberemos escoger otra configuración de electrodo y repetir todo el proceso.

Aumentando la longitud total de electrodo horizontal, el número de picas o su longitud, disminuirá R'_t , y en consecuencia los valores de V'_p y $V_{p(acc)}$.

4.5.10. CÁLCULO DE LA PUESTA A TIERRA DE SERVICIO

Como ya se ha indicado anteriormente, para garantizar la actuación de las protecciones diferenciales de las instalaciones de BT de los clientes, se adopta un valor máximo de la resistencia de puesta a tierra de servicio de 37Ω .

Por lo tanto, podemos calcular el valor unitario máximo de la resistencia de puesta a tierra del neutro de BT como:

$$k'_r = \frac{37}{\rho}$$

Se seleccionará la configuración del electrodo de entre los del tipo picas en hilera (*Anexo 2 del Método de cálculo y proyecto de instalaciones de puesta a tierra para centros de transformación de UNESA*) de manera que su valor unitario de resistencia (k''_r) cumpla la condición:

$$k''_r \leq k'_r$$

De esta forma se cumplirá que el valor de la resistencia de puesta a tierra del neutro de BT (R'_{bt}) es menor de 37 Ω:

$$k'_{bt} = k''_r \cdot \rho \leq 37 \Omega$$

4.5.11. SEPARACIÓN ENTRE LOS SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA DE PROTECCIÓN Y SERVICIO

La separación mínima (D) entre los sistemas de puesta a tierra de protección y de servicio requerida para garantizar que, ante posibles defectos a tierra, no se transfieran tensiones peligrosas se calcula mediante la fórmula:

$$D > \frac{\rho \cdot I_d}{2 \cdot \pi \cdot V_i} \approx \frac{\rho \cdot I_d}{6.283}$$

Siendo:

D: distancia entre circuitos de puesta a tierra (m)

ρ : resistividad media del terreno ($\Omega \cdot \text{m}$)

I_d : intensidad de defecto (A)

V_i : tensión inducida sobre el electrodo de puesta a tierra de servicio (V). Se adopta $V_i = 1.000 \text{ V}$

4.5.12. HOJAS DE CÁLCULO DE LA INSTALACIÓN DE PUESTA A TIERRA

En la práctica, para un determinado centro en proyecto, los datos de partida, los electrodos seleccionados, los resultados obtenidos de los cálculos y la comprobación con los valores máximos admisibles, se recogen en unas hojas de cálculo, cuyos formatos se adjuntan a continuación según sea el sistema de puesta a tierra del neutro de la red.

ANEXO 4

**PROCESO DE JUSTIFICACIÓN DEL ELECTRODO
DE PUESTA A TIERRA SELECCIONADO**

ANEXO 4.2

**PROCESO DE JUSTIFICACIÓN DEL ELECTRODO
DE PUESTA A TIERRA SELECCIONADO
(NEUTRO AISLADO)**

0.- REFERENCIA DEL CT

* Código **CT TOROS DE GUISANDO II**
 * Población **SAN MARTÍN DE VALDEIGLESIAS (MADRID)**

1.- DATOS DE PARTIDA

1.1.- Características iniciales

* Tensión de servicio $U =$ **15.000** V
 * Red aérea
 - Longitud total $L_a =$ km
 - Capacidad $C_a =$ $\mu\text{F}/\text{km}$
 * Red subterránea
 - Longitud total $L_c =$ **0,270** km
 - Capacidad $C_c =$ **0,294** $\mu\text{F}/\text{km}$
 * Duración de la falta

Desconexión inicial

Relé a tiempo independiente $t' =$ **1** s

Relé a tiempo dependiente

Constantes del relé $\begin{cases} K' = \\ n' = \end{cases}$

Intensidad de arranque $I'_a =$ A

Reenganche en menos de 0,5 segundos

Relé a tiempo independiente $t'' =$ s

Relé a tiempo dependiente

Constantes del relé $\begin{cases} K'' = \\ n'' = \end{cases}$

Intensidad de arranque $I''_a =$ A

* Nivel de aislamiento de las instalaciones de BT del CT $V_{bt} =$ **10.000** V

* Red subterránea de AT de suficiente conductibilidad

NO

SI (ver justificación en apartado 7)

- Superficie del círculo de igual área que la cubierta por la malla $S_m =$ m^2

- Longitud total de los cables existentes en la malla con cubierta conductora $L =$ m

- Longitud total de las picas verticales incluidas en la malla $L' =$ m

1.2.- Características del CT

- En edificio
 Aislado
 Destinado a otros usos

Dimensions del local

$$\left[\begin{array}{l} a = 7,118 \text{ m} \\ b = 2,05 \text{ m} \end{array} \right]$$

- Sobre apoyo
 Sobre 1 apoyo
 Sobre 2 apoyos

2.- CARACTERÍSTICAS DEL TERRENO

* Resistividad del terreno $\rho = 250 \Omega \cdot \text{m}$

3.- OBSERVACIONES

4.- CÁLCULO

4.1.- Resistencia máxima de la puesta a tierra de las masas del CT (R_t) e intensidad de defecto (I_d)

$$\left[\begin{array}{l} I_d \cdot R_t \leq V_{bt} \\ I_d = \frac{\sqrt{3} \cdot U \cdot (\omega \cdot C_a \cdot L_a + \omega \cdot C_c \cdot L_c)}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{1 + (\omega \cdot C_a \cdot L_a + \omega \cdot C_c \cdot L_c)^2} \cdot (3R_t)^2} \\ I_d = 234,06 \text{ A} \\ R_t = 37 \Omega \end{array} \right]$$

4.2.- Selección del electrodo tipo (de entre los incluidos en las tablas del ANEXO 2 del documento UNESA "Método de cálculo y proyecto de instalaciones de puesta a tierra para centros de transformación")

* "Valor unitario" máximo de la resistencia de puesta a tierra del electrodo

$$K_r \leq \frac{R_t}{\rho} = \frac{37}{250} \Omega / (\Omega \cdot \text{m}) \leq 0,148 \Omega / (\Omega \cdot \text{m})$$

* Dimensiones horizontales del electrodo

$$\left[\begin{array}{l} a' = 8 \text{ m} \\ b' = 3 \text{ m} \end{array} \right]$$

* Picas alineadas	
<input type="checkbox"/> Sí	Separación entre picas
<input checked="" type="checkbox"/> No	<input type="text" value=""/>
* Sección del conductor de cobre desnudo	
<input type="text" value="50"/> mm ²	
* Picas alineadas	
<input type="checkbox"/> 0,50 m	
<input checked="" type="checkbox"/> 0,80 m	
* Número de picas	* Longitud de las picas L_p (m)
<input type="checkbox"/> 0	<input type="text" value="8"/>
<input type="checkbox"/> 2	<input type="text" value="4"/>
<input type="checkbox"/> 3	<input type="text" value="6"/>
<input checked="" type="checkbox"/> 4	<input type="text" value="8"/>
<input type="checkbox"/> 6	
<input type="checkbox"/> 8	
* Electrodo seleccionado (indicar código de la configuración)	
<input type="text" value="80-40/8/42"/>	
- Parámetros característicos del electrodo:	
De la resistencia	$K_r = \frac{0,069}{\Omega \cdot m}$
De la tensión de paso	$K_p = \frac{0,0105}{V (\Omega \cdot m) (A)}$
De la tensión de contacto exterior	$K_c = \frac{0,0329}{V (\Omega \cdot m) (A)}$

4.3.- Medidas de seguridad adicionales para evitar tensiones de contacto

Para que no aparezcan tensiones de contacto exteriores ni interiores, se adoptan las siguientes medidas de seguridad:

4.3.1.- CT interior

a Las puertas y rejillas metálicas que dan al exterior del centro no tendrán contacto eléctrico con masas conductoras susceptibles de quedar sometidas a tensión debido a defectos o averías.

b En el piso del CT se instalará un mallazo cubierto por una capa de hormigón de 10 cm conectado a la puesta a tierra de protección del CT.

c Empleo de pavimentos aislantes

d Otras

4.3.2.- CT sobre apoyo

a Se colocará un mallazo que sobresalga 1m en todas las direcciones respecto a la base del apoyo, que se conectarán a la tierra de protección, cubriéndolo luego con una capa de hormigón de 10cm de espesor

b Empleo de pavimentos aislantes

c Otras

4.4.- Valores de resistencia de puesta a tierra (R'_t), intensidad de defecto (I'_d) y tensiones de paso (V'_p y $V'_{p(\text{acc})}$) del electrodo tipo seleccionado, para la resistividad del terreno medida (ρ)

* Resistencia de puesta a tierra ($R'_t \leq R_t$)

$$R'_t = K_r \cdot \rho = \boxed{0,069} \times \boxed{250}$$

$$R'_t = \boxed{17,25} \Omega$$

* Intensidad de defecto

$$I'_d = \frac{\sqrt{3} \cdot U \cdot (\omega \cdot C_a \cdot L_a + \omega \cdot C_c \cdot L_c)}{\sqrt{1 + (\omega \cdot C_a \cdot L_a + \omega \cdot C_c \cdot L_c)^2} \cdot (3R'_t)^2}$$

$$I'_d = \boxed{0,65} A$$

* Tensión de paso en el exterior

$$V'_p = K_p \cdot \rho \cdot I'_d = \boxed{0,0105} \times \boxed{250} \times \boxed{0,65}$$

$$V'_p = \boxed{1,70} V$$

* Tensión de paso en el acceso al CT

$$V'_c = K_c \cdot \rho \cdot I'_d = \boxed{0,0329} \times \boxed{250} \times \boxed{0,65}$$

$$V'_{p(\text{acc})} = V'_c = \boxed{5,33} V$$

* Tensión de defecto

$$V'_d = R'_t \cdot I'_d = \boxed{17,25} \times \boxed{0,65}$$

$$V'_d = \boxed{11,17} V$$

4.5.- Duración total de la falta

Desconexión inicial

Relé a tiempo independiente

$$t' = \boxed{1} s$$

Relé a tiempo dependiente:

Constantes del relé

$$\begin{cases} K' = \boxed{} \\ n' = \boxed{} \end{cases}$$

Intensidad de arranque

$$I'_a = \boxed{} A$$

$$t' =$$

$$\frac{K'}{\left[\frac{I'_d}{I'_a} \right]^{n'} - 1}$$

$$t' = \boxed{} s$$

Reenganche a menos de 0,5 segundos

Relé a tiempo independiente

$$t'' = \boxed{} \text{ s}$$

Relé a tiempo dependiente:

Constantes del relé _____

$$K'' = \boxed{}$$

$$n'' = \boxed{}$$

Intensidad de arranque

$$I''_a = \boxed{} \text{ A}$$

$$t'' = \frac{K'}{\left[\frac{I''_d}{I''_a} \right]^{n''} - 1} \quad t'' = \boxed{} \text{ s}$$

Duración total $t = t' + t''$

$$t = \boxed{} \text{ s}$$

4.6.- Separación entre los sistemas de puesta a tierra de protección (masas) y de servicio (neutro de B.T.)

Sistema de puesta a tierra único ($V'd \leq 1.000 \text{ V}$)

Sistemas de puesta a tierra separados e independientes

* Distancia mínima de separación (tabla 6 página 22)

$$D = \frac{\rho \cdot I'_d}{2,000 \cdot \pi} = \frac{\boxed{250}}{6283,19} \times \boxed{0,65} \quad D \geq \boxed{0,026} \text{ m}$$

5.- VALORES ADMISIBLES

[Tabla 1 (ITC-RAT 13)]

$$t = \boxed{1} \text{ s} \quad (\text{según apartado 4.5 de este ANEXO})$$

t (s)	Vca (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	50

* Tensión de paso en el exterior

$$V_p = V_{pa} \cdot \left[1 + \frac{R_{a1} + R_{a2}}{2 \cdot Z_B} \right] = 10 \cdot V_{ca} \cdot \left[1 + \frac{2 \cdot R_{a1} + 6 \cdot \rho_s}{1000} \right] = 10 \cdot 107 \cdot \left[5 + 0,006 \cdot \boxed{250} \right]$$

$$V_p = \boxed{6.955} \text{ V}$$

* Tensión de paso en el acceso al CT

$$V_{p(acc)} = V_{pa} \cdot \left[1 + \frac{R_{a1} + R_{a2}}{2 \cdot Z_B} \right] = 10 \cdot V_{ca} \cdot \left[1 + \frac{2 \cdot R_{a1} + 3\rho + 3\rho}{1000} \right]$$

$$V_{p(acc)} = 10 \cdot \boxed{107} \cdot \left[5 + 0,003 \cdot \boxed{250} + 0,003 \cdot \boxed{3000} \right] \quad V_{p(acc)} = \boxed{15.783} \text{ V}$$

6.- COMPROBACIÓN DE QUE LOS VALORES CALCULADOS SATISFACEN LAS CONDICIONES EXIGIDAS

6.1.- Tensiones de paso y contacto en el interior

- Se han adoptado las medidas de seguridad "b" o "c" del aptdo. 4.3.1, o la "a" ó "b" del aptdo. 4.3.2., por lo que no será preciso calcular las tensiones de paso y contacto en el interior, ya que éstas serán prácticamente cero.
- Se adjunta anexo justificando otras medidas adicionales de seguridad, o los correspondientes cálculos y comprobaciones de las tensiones de paso y contacto interiores.

6.2.- Tensiones de paso y contacto en el exterior

- Se ha adoptado la medida de seguridad "a" del aptdo. 4.3.1., por lo que no será preciso calcular la tensión de contacto exterior, ya que ésta será prácticamente cero.
- Se adjunta anexo justificando otras medidas adicionales de seguridad, o el correspondiente cálculo y comprobación de la tensión de contacto exterior.

6.3.- Tensión de paso en el exterior y de paso en el acceso al CT

Concepto	Valor calculado	Condición	Valor admisible
Tensión de paso en el exterior	$V'_p = \boxed{16,19}$	\leq	$V_p = \boxed{6.955}$
Tensión de paso en el acceso al CT	$V'_{p(acc)} = \boxed{50,86}$	\leq	$V'_{p(acc)} = \boxed{15.783}$

6.4.- Tensión e intensidad de defecto

Concepto	Valor calculado	Condición	Valor admisible
Tensión de defecto	$V'_{d} = \boxed{11,17}$ V	\leq	$V_{bt} = \boxed{10.000}$ V

7.- JUSTIFICACIÓN DE LA PUESTA A TIERRA MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE LA RED DE CABLES SUBTERRÁNEOS

* Radio del círculo de igual superficie que el área cubierta por la malla

$$r = \sqrt{\frac{S_m}{\pi}} = \sqrt{\boxed{3,14}} \quad r = \boxed{} \text{ m}$$

* Valor de la resistencia de la malla de puesta a tierra formada por los cables subterráneos de alta tensión con cubierta conductora y las picas conectadas a la misma, ampliada con los cables de cubierta aislante

$$R'_m = \frac{\rho}{4 \cdot r} + \frac{\rho}{L + L'} = \boxed{} + \boxed{} + \boxed{} \quad R'_{m} = \boxed{} \Omega$$

* Intensidad de defecto

$$I'_{d} = \frac{\sqrt{3} \cdot U \cdot (\omega \cdot C_a \cdot L_a + \omega \cdot C_c \cdot L_c)}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{1 + (\omega \cdot C_a \cdot L_a + \omega \cdot C_c \cdot L_c)^2} (3R'_{m})^2} =$$

$$= \frac{\sqrt{3} \cdot U \cdot (\omega \cdot C_a \cdot L_a + \omega \cdot C_c \cdot L_c)}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{1 + [10^{-6}(1,9 \cdot L_a + 78,5 \cdot L_c)]^2} \cdot 9 \cdot (R'_{m})^2}$$

$$\frac{\sqrt{3} \cdot 10^{-6} \left[1,9 \cdot \boxed{} + 78,5 \cdot \boxed{} \right] \cdot \boxed{}}{\sqrt{1 + \left[10^{-6}(1,9 \cdot \boxed{} + 78,5 \cdot \boxed{}) \right]^2} \cdot 9 \cdot \boxed{}^2}}$$

$$I'_{d} = \boxed{} \text{ A}$$

* Tensión de defecto

$$V'_{d} = R'_{t} \cdot I'_{d} = \boxed{} \times \boxed{} \quad \begin{cases} V'_{d} = \boxed{} \text{ V} \\ V'_{d} \leq 1.000 \text{ V} \end{cases}$$

5. TABLAS DE CÁLCULO

- Datos módulo fotovoltaico

Fabricante:	Trunsun
Modelo:	TSHM540-144HV
P_{max}	540 Wp
V_{mp}	41,61 V
I_{mp}	12,98 A
I_{sc}	13,86 A

- Condiciones ambientales

Temperatura ambiente (°C):	35,00 °C
Temperatura terreno (°C):	25,00 °C
Resistividad terreno (K·m/W):	1,50 K·m/W

Círculo	Tipo Conductor	Potencia (W)	$\cos \varphi$	Tensión (V)	I_b (A)	L_T (m)	Sección Normalizada (mm ²)	I_z (A)	Coef. Agrup.	Coef. T ^a	Coef. Resistividad	I_z' (A)	$I_b < I_z'$	c.d.t. (V)	c.d.t. (%)	
INV-1	CC_01.01	H1Z2Z2-K	29.160,00 W	1	1.123,47 V	17,33 A	44,79 m	6,0 mm ²	58,00 A	0,75	0,96	1,28	53,45 A	SI	7,31 V	0,65%
	CC_01.02	H1Z2Z2-K	29.160,00 W	1	1.123,47 V	17,33 A	40,16 m	6,0 mm ²	58,00 A	0,75	0,96	1,28	53,45 A	SI	6,55 V	0,58%
	CC_01.03	H1Z2Z2-K	29.160,00 W	1	1.123,47 V	17,33 A	35,99 m	6,0 mm ²	58,00 A	0,75	0,96	1,28	53,45 A	SI	5,87 V	0,52%
	CC_01.04	H1Z2Z2-K	29.160,00 W	1	1.123,47 V	17,33 A	31,37 m	6,0 mm ²	58,00 A	0,75	0,96	1,28	53,45 A	SI	5,12 V	0,46%
	CC_01.05	H1Z2Z2-K	29.160,00 W	1	1.123,47 V	17,33 A	30,48 m	6,0 mm ²	58,00 A	0,75	0,96	1,28	53,45 A	SI	4,97 V	0,44%
	CC_01.06	H1Z2Z2-K	29.160,00 W	1	1.123,47 V	17,33 A	25,85 m	6,0 mm ²	58,00 A	0,75	0,96	1,28	53,45 A	SI	4,22 V	0,38%
	CC_01.07	H1Z2Z2-K	29.160,00 W	1	1.123,47 V	17,33 A	39,28 m	6,0 mm ²	58,00 A	0,75	0,96	1,28	53,45 A	SI	6,41 V	0,57%
	CC_01.08	H1Z2Z2-K	29.160,00 W	1	1.123,47 V	17,33 A	34,66 m	6,0 mm ²	58,00 A	0,75	0,96	1,28	53,45 A	SI	5,66 V	0,50%
	CC_01.09	H1Z2Z2-K	29.160,00 W	1	1.123,47 V	17,33 A	48,08 m	6,0 mm ²	58,00 A	0,75	0,96	1,28	53,45 A	SI	7,85 V	0,70%
	CC_01.10	H1Z2Z2-K	29.160,00 W	1	1.123,47 V	17,33 A	43,46 m	6,0 mm ²	58,00 A	0,75	0,96	1,28	53,45 A	SI	7,09 V	0,63%
INV-2	CC_02.01	H1Z2Z2-K	29.160,00 W	1	1.123,47 V	17,33 A	97,64 m	6,0 mm ²	58,00 A	0,75	0,96	1,28	53,45 A	SI	15,93 V	1,42%
	CC_02.02	H1Z2Z2-K	29.160,00 W	1	1.123,47 V	17,33 A	88,84 m	6,0 mm ²	58,00 A	0,75	0,96	1,28	53,45 A	SI	14,50 V	1,29%
	CC_02.03	H1Z2Z2-K	29.160,00 W	1	1.123,47 V	17,33 A	80,07 m	6,0 mm ²	58,00 A	0,75	0,96	1,28	53,45 A	SI	13,07 V	1,16%
	CC_02.04	H1Z2Z2-K	29.160,00 W	1	1.123,47 V	17,33 A	71,27 m	6,0 mm ²	58,00 A	0,75	0,96	1,28	53,45 A	SI	11,63 V	1,04%
	CC_02.05	H1Z2Z2-K	29.160,00 W	1	1.123,47 V	17,33 A	44,59 m	6,0 mm ²	58,00 A	0,75	0,96	1,28	53,45 A	SI	7,28 V	0,65%
	CC_02.06	H1Z2Z2-K	29.160,00 W	1	1.123,47 V	17,33 A	67,08 m	6,0 mm ²	58,00 A	0,75	0,96	1,28	53,45 A	SI	10,95 V	0,97%
	CC_02.07	H1Z2Z2-K	29.160,00 W	1	1.123,47 V	17,33 A	35,77 m	6,0 mm ²	58,00 A	0,75	0,96	1,28	53,45 A	SI	5,84 V	0,52%
	CC_02.08	H1Z2Z2-K	29.160,00 W	1	1.123,47 V	17,33 A	25,86 m	6,0 mm ²	58,00 A	0,75	0,96	1,28	53,45 A	SI	4,22 V	0,38%
	CC_02.09	H1Z2Z2-K	14.580,00 W	1	1.123,47 V	17,33 A	48,52 m	6,0 mm ²	58,00 A	0,75	0,96	1,28	53,45 A	SI	3,96 V	0,35%
	CC_02.10	H1Z2Z2-K	29.160,00 W	1	1.123,47 V	17,33 A	34,66 m	6,0 mm ²	58,00 A	0,75	0,96	1,28	53,45 A	SI	5,66 V	0,50%
	CC_02.11	H1Z2Z2-K	14.580,00 W	1	1.123,47 V	17,33 A	57,32 m	6,0 mm ²	58,00 A	0,75	0,96	1,28	53,45 A	SI	4,68 V	0,42%
INV-3	CC_03.01	H1Z2Z2-K	29.160,00 W	1	1.123,47 V	17,33 A	44,79 m	6,0 mm ²	58,00 A	0,75	0,96	1,28	53,45 A	SI	7,31 V	0,65%
	CC_03.02	H1Z2Z2-K	29.160,00 W	1	1.123,47 V	17,33 A	40,17 m	6,0 mm ²	58,00 A	0,75	0,96	1,28	53,45 A	SI	6,56 V	0,58%
	CC_03.03	H1Z2Z2-K	29.160,00 W	1	1.123,47 V	17,33 A	35,99 m	6,0 mm ²	58,00 A	0,75	0,96	1,28	53,45 A	SI	5,87 V	0,52%
	CC_03.04	H1Z2Z2-K	29.160,00 W	1	1.123,47 V	17,33 A	31,37 m	6,0 mm ²	58,00 A	0,75	0,96	1,28	53,45 A	SI	5,12 V	0,46%
	CC_03.05	H1Z2Z2-K	29.160,00 W	1	1.123,47 V	17,33 A	76,70 m	6,0 mm ²	58,00 A	0,75	0,96	1,28	53,45 A	SI	12,52 V	1,11%
	CC_03.06	H1Z2Z2-K	29.160,00 W	1	1.123,47 V	17,33 A	30,48 m	6,0 mm ²	58,00 A	0,75	0,96	1,28	53,45 A	SI	4,97 V	0,44%
	CC_03.07	H1Z2Z2-K	29.160,00 W	1	1.123,47 V	17,33 A	25,86 m	6,0 mm ²	58,00 A	0,75	0,96	1,28	53,45 A	SI	4,22 V	0,38%
	CC_03.08	H1Z2Z2-K	29.160,00 W	1	1.123,47 V	17,33 A	71,19 m	6,0 mm ²	58,00 A	0,75	0,96	1,28	53,45 A	SI	11,62 V	1,03%
	CC_03.09	H1Z2Z2-K	29.160,00 W	1	1.123,47 V	17,33 A	39,28 m	6,0 mm ²	58,00 A	0,75	0,96	1,28	53,45 A	SI	6,41 V	0,57%
	CC_03.10	H1Z2Z2-K	29.160,00 W	1	1.123,47 V	17,33 A	34,66 m	6,0 mm ²	58,00 A	0,75	0,96	1,28	53,45 A	SI	5,66 V	0,50%
INV-4	CC_04.01	H1Z2Z2-K	14.580,00 W	1	1.123,47 V	17,33 A	62,83 m	6,0 mm ²	58,00 A	0,75	0,96	1,28	53,45 A	SI	5,13 V	0,46%
	CC_04.02	H1Z2Z2-K	29.160,00 W	1	1.123,47 V	17,33 A	35,99 m	6,0 mm ²	58,00 A	0,75	0,96	1,28	53,45 A	SI	5,87 V	0,52%
	CC_04.03	H1Z2Z2-K	29.160,00 W	1	1.123,47 V	17,33 A	31,37 m	6,0 mm ²	58,00 A	0,75	0,96	1,28	53,45 A	SI	5,12 V	0,46%

INV-5	CC_05.01	H1Z2Z2-K	29.160,00 W	1	1.123,47 V	17,33 A	29,79 m	6,0 mm2	58,00 A	0,75	0,96	1,28	53,45 A	SI	4,86 V	0,43%
	CC_05.02	H1Z2Z2-K	14.580,00 W	1	1.123,47 V	17,33 A	32,51 m	6,0 mm2	58,00 A	0,75	0,96	1,28	53,45 A	SI	2,65 V	0,24%
	CC_05.03	H1Z2Z2-K	29.160,00 W	1	1.123,47 V	17,33 A	31,37 m	6,0 mm2	58,00 A	0,75	0,96	1,28	53,45 A	SI	5,12 V	0,46%
	CC_05.04	H1Z2Z2-K	29.160,00 W	1	1.123,47 V	17,33 A	35,99 m	6,0 mm2	58,00 A	0,75	0,96	1,28	53,45 A	SI	5,87 V	0,52%
	CC_05.05	H1Z2Z2-K	29.160,00 W	1	1.123,47 V	17,33 A	25,86 m	6,0 mm2	58,00 A	0,75	0,96	1,28	53,45 A	SI	4,22 V	0,38%
	CC_05.06	H1Z2Z2-K	29.160,00 W	1	1.123,47 V	17,33 A	30,48 m	6,0 mm2	58,00 A	0,75	0,96	1,28	53,45 A	SI	4,97 V	0,44%
	CC_05.07	H1Z2Z2-K	29.160,00 W	1	1.123,47 V	17,33 A	32,46 m	6,0 mm2	58,00 A	0,75	0,96	1,28	53,45 A	SI	5,30 V	0,47%
	CC_05.08	H1Z2Z2-K	29.160,00 W	1	1.123,47 V	17,33 A	41,48 m	6,0 mm2	58,00 A	0,75	0,96	1,28	53,45 A	SI	6,77 V	0,60%
	CC_05.09	H1Z2Z2-K	29.160,00 W	1	1.123,47 V	17,33 A	41,24 m	6,0 mm2	58,00 A	0,75	0,96	1,28	53,45 A	SI	6,73 V	0,60%
	CC_05.10	H1Z2Z2-K	29.160,00 W	1	1.123,47 V	17,33 A	50,29 m	6,0 mm2	58,00 A	0,75	0,96	1,28	53,45 A	SI	8,21 V	0,73%
	CC_05.11	H1Z2Z2-K	14.580,00 W	1	1.123,47 V	17,33 A	55,53 m	6,0 mm2	58,00 A	0,75	0,96	1,28	53,45 A	SI	4,53 V	0,40%
INV-6	CC_06.01	H1Z2Z2-K	14.580,00 W	1	1.123,47 V	17,33 A	62,83 m	6,0 mm2	58,00 A	0,75	0,96	1,28	53,45 A	SI	5,13 V	0,46%
	CC_06.02	H1Z2Z2-K	29.160,00 W	1	1.123,47 V	17,33 A	35,99 m	6,0 mm2	58,00 A	0,75	0,96	1,28	53,45 A	SI	5,87 V	0,52%
	CC_06.03	H1Z2Z2-K	29.160,00 W	1	1.123,47 V	17,33 A	31,37 m	6,0 mm2	58,00 A	0,75	0,96	1,28	53,45 A	SI	5,12 V	0,46%
	CC_06.04	H1Z2Z2-K	14.580,00 W	1	1.123,47 V	17,33 A	54,03 m	6,0 mm2	58,00 A	0,75	0,96	1,28	53,45 A	SI	4,41 V	0,39%
	CC_06.05	H1Z2Z2-K	29.160,00 W	1	1.123,47 V	17,33 A	30,48 m	6,0 mm2	58,00 A	0,75	0,96	1,28	53,45 A	SI	4,97 V	0,44%
	CC_06.06	H1Z2Z2-K	29.160,00 W	1	1.123,47 V	17,33 A	25,86 m	6,0 mm2	58,00 A	0,75	0,96	1,28	53,45 A	SI	4,22 V	0,38%
	CC_06.07	H1Z2Z2-K	14.580,00 W	1	1.123,47 V	17,33 A	48,52 m	6,0 mm2	58,00 A	0,75	0,96	1,28	53,45 A	SI	3,96 V	0,35%
	CC_06.08	H1Z2Z2-K	29.160,00 W	1	1.123,47 V	17,33 A	39,28 m	6,0 mm2	58,00 A	0,75	0,96	1,28	53,45 A	SI	6,41 V	0,57%
	CC_06.09	H1Z2Z2-K	29.160,00 W	1	1.123,47 V	17,33 A	34,66 m	6,0 mm2	58,00 A	0,75	0,96	1,28	53,45 A	SI	5,66 V	0,50%
	CC_06.10	H1Z2Z2-K	14.580,00 W	1	1.123,47 V	17,33 A	57,32 m	6,0 mm2	58,00 A	0,75	0,96	1,28	53,45 A	SI	4,68 V	0,42%
	CC_06.11	H1Z2Z2-K	29.160,00 W	1	1.123,47 V	17,33 A	66,12 m	6,0 mm2	58,00 A	0,75	0,96	1,28	53,45 A	SI	10,79 V	0,96%
	CC_06.12	H1Z2Z2-K	29.160,00 W	1	1.123,47 V	17,33 A	74,92 m	6,0 mm2	58,00 A	0,75	0,96	1,28	53,45 A	SI	12,23 V	1,09%
INV-7	CC_07.01	H1Z2Z2-K	14.580,00 W	1	1.123,47 V	17,33 A	44,36 m	6,0 mm2	58,00 A	0,75	0,96	1,28	53,45 A	SI	3,62 V	0,32%
	CC_07.02	H1Z2Z2-K	29.160,00 W	1	1.123,47 V	17,33 A	35,56 m	6,0 mm2	58,00 A	0,75	0,96	1,28	53,45 A	SI	5,80 V	0,52%
	CC_07.03	H1Z2Z2-K	29.160,00 W	1	1.123,47 V	17,33 A	26,76 m	6,0 mm2	58,00 A	0,75	0,96	1,28	53,45 A	SI	4,37 V	0,39%
	CC_07.04	H1Z2Z2-K	14.580,00 W	1	1.123,47 V	17,33 A	31,36 m	6,0 mm2	58,00 A	0,75	0,96	1,28	53,45 A	SI	2,56 V	0,23%
	CC_07.05	H1Z2Z2-K	29.160,00 W	1	1.123,47 V	17,33 A	13,32 m	6,0 mm2	58,00 A	0,75	0,96	1,28	53,45 A	SI	2,17 V	0,19%
	CC_07.06	H1Z2Z2-K	29.160,00 W	1	1.123,47 V	17,33 A	25,86 m	6,0 mm2	58,00 A	0,75	0,96	1,28	53,45 A	SI	4,22 V	0,38%
	CC_07.07	H1Z2Z2-K	29.160,00 W	1	1.123,47 V	17,33 A	30,48 m	6,0 mm2	58,00 A	0,75	0,96	1,28	53,45 A	SI	4,97 V	0,44%
	CC_07.08	H1Z2Z2-K	29.160,00 W	1	1.123,47 V	17,33 A	34,63 m	6,0 mm2	58,00 A	0,75	0,96	1,28	53,45 A	SI	5,65 V	0,50%
	CC_07.09	H1Z2Z2-K	29.160,00 W	1	1.123,47 V	17,33 A	39,28 m	6,0 mm2	58,00 A	0,75	0,96	1,28	53,45 A	SI	6,41 V	0,57%
	CC_07.10	H1Z2Z2-K	29.160,00 W	1	1.123,47 V	17,33 A	43,41 m	6,0 mm2	58,00 A	0,75	0,96	1,28	53,45 A	SI	7,08 V	0,63%
	CC_07.11	H1Z2Z2-K	29.160,00 W	1	1.123,47 V	17,33 A	48,08 m	6,0 mm2	58,00 A	0,75	0,96	1,28	53,45 A	SI	7,85 V	0,70%
INV-8	CC_08.01	H1Z2Z2-K	29.160,00 W	1	1.123,47 V	17,33 A	40,18 m	6,0 mm2	58,00 A	0,75	0,96	1,28	53,45 A	SI	6,56 V	0,58%
	CC_08.02	H1Z2Z2-K	14.580,00 W	1	1.123,47 V	17,33 A	39,71 m	6,0 mm2	58,00 A	0,75	0,96	1,28	53,45 A	SI	3,24 V	0,29%
	CC_08.03	H1Z2Z2-K	29.160,00 W	1	1.123,47 V	17,33 A	31,38 m	6,0 mm2	58,00 A	0,75	0,96	1,28	53,45 A	SI	5,12 V	0,46%
	CC_08.04	H1Z2Z2-K	14.580,00 W	1	1.123,47 V	17,33 A	30,91 m	6,0 mm2	58,00 A	0,75	0,96	1,28	53,45 A	SI	2,52 V	0,22%
	CC_08.05	H1Z2Z2-K	29.160,00 W	1	1.123,47 V	17,33 A	22,58 m	6,0 mm2	58,00 A	0,75	0,96	1,28	53,45 A	SI	3,69 V	0,33%
	CC_08.06	H1Z2Z2-K	14.580,00 W	1	1.123,47 V	17,33 A	22,11 m	6,0 mm2	58,00 A	0,75	0,96	1,28	53,45 A	SI	1,80 V	0,16%
	CC_08.07	H1Z2Z2-K	29.160,00 W	1	1.123,47 V	17,33 A	7,81 m	6,0 mm2	58,00 A	0,75	0,96	1				

INV-10	CC_10.01	H1Z2Z2-K	29.160,00 W	1	1.123,47 V	17,33 A	53,59 m	6,0 mm2	58,00 A	0,75	0,96	1,28	53,45 A	SI	8,75 V	0,78%
	CC_10.02	H1Z2Z2-K	29.160,00 W	1	1.123,47 V	17,33 A	44,79 m	6,0 mm2	58,00 A	0,75	0,96	1,28	53,45 A	SI	7,31 V	0,65%
	CC_10.03	H1Z2Z2-K	29.160,00 W	1	1.123,47 V	17,33 A	40,17 m	6,0 mm2	58,00 A	0,75	0,96	1,28	53,45 A	SI	6,56 V	0,58%
	CC_10.04	H1Z2Z2-K	29.160,00 W	1	1.123,47 V	17,33 A	35,99 m	6,0 mm2	58,00 A	0,75	0,96	1,28	53,45 A	SI	5,87 V	0,52%
	CC_10.05	H1Z2Z2-K	29.160,00 W	1	1.123,47 V	17,33 A	31,37 m	6,0 mm2	58,00 A	0,75	0,96	1,28	53,45 A	SI	5,12 V	0,46%
	CC_10.06	H1Z2Z2-K	29.160,00 W	1	1.123,47 V	17,33 A	30,48 m	6,0 mm2	58,00 A	0,75	0,96	1,28	53,45 A	SI	4,97 V	0,44%
	CC_10.07	H1Z2Z2-K	29.160,00 W	1	1.123,47 V	17,33 A	25,86 m	6,0 mm2	58,00 A	0,75	0,96	1,28	53,45 A	SI	4,22 V	0,38%
	CC_10.08	H1Z2Z2-K	29.160,00 W	1	1.123,47 V	17,33 A	39,28 m	6,0 mm2	58,00 A	0,75	0,96	1,28	53,45 A	SI	6,41 V	0,57%
	CC_10.09	H1Z2Z2-K	29.160,00 W	1	1.123,47 V	17,33 A	34,66 m	6,0 mm2	58,00 A	0,75	0,96	1,28	53,45 A	SI	5,66 V	0,50%
	CC_10.10	H1Z2Z2-K	29.160,00 W	1	1.123,47 V	17,33 A	48,08 m	6,0 mm2	58,00 A	0,75	0,96	1,28	53,45 A	SI	7,85 V	0,70%
INV-11	CC_11.01	H1Z2Z2-K	29.160,00 W	1	1.123,47 V	17,33 A	40,17 m	6,0 mm2	58,00 A	0,75	0,96	1,28	53,45 A	SI	6,56 V	0,58%
	CC_11.02	H1Z2Z2-K	29.160,00 W	1	1.123,47 V	17,33 A	44,79 m	6,0 mm2	58,00 A	0,75	0,96	1,28	53,45 A	SI	7,31 V	0,65%
	CC_11.03	H1Z2Z2-K	29.160,00 W	1	1.123,47 V	17,33 A	31,37 m	6,0 mm2	58,00 A	0,75	0,96	1,28	53,45 A	SI	5,12 V	0,46%
	CC_11.04	H1Z2Z2-K	29.160,00 W	1	1.123,47 V	17,33 A	35,99 m	6,0 mm2	58,00 A	0,75	0,96	1,28	53,45 A	SI	5,87 V	0,52%
	CC_11.05	H1Z2Z2-K	29.160,00 W	1	1.123,47 V	17,33 A	25,86 m	6,0 mm2	58,00 A	0,75	0,96	1,28	53,45 A	SI	4,22 V	0,38%
	CC_11.06	H1Z2Z2-K	29.160,00 W	1	1.123,47 V	17,33 A	30,48 m	6,0 mm2	58,00 A	0,75	0,96	1,28	53,45 A	SI	4,97 V	0,44%
	CC_11.07	H1Z2Z2-K	29.160,00 W	1	1.123,47 V	17,33 A	34,66 m	6,0 mm2	58,00 A	0,75	0,96	1,28	53,45 A	SI	5,66 V	0,50%
	CC_11.08	H1Z2Z2-K	29.160,00 W	1	1.123,47 V	17,33 A	39,28 m	6,0 mm2	58,00 A	0,75	0,96	1,28	53,45 A	SI	6,41 V	0,57%
	CC_11.09	H1Z2Z2-K	29.160,00 W	1	1.123,47 V	17,33 A	43,46 m	6,0 mm2	58,00 A	0,75	0,96	1,28	53,45 A	SI	7,09 V	0,63%
	CC_11.10	H1Z2Z2-K	29.160,00 W	1	1.123,47 V	17,33 A	48,08 m	6,0 mm2	58,00 A	0,75	0,96	1,28	53,45 A	SI	7,85 V	0,70%
INV-12	CC_12.01	H1Z2Z2-K	14.580,00 W	1	1.123,47 V	17,33 A	48,97 m	6,0 mm2	58,00 A	0,75	0,96	1,28	53,45 A	SI	4,00 V	0,36%
	CC_12.02	H1Z2Z2-K	29.160,00 W	1	1.123,47 V	17,33 A	30,92 m	6,0 mm2	58,00 A	0,75	0,96	1,28	53,45 A	SI	5,05 V	0,45%
	CC_12.03	H1Z2Z2-K	14.580,00 W	1	1.123,47 V	17,33 A	40,17 m	6,0 mm2	58,00 A	0,75	0,96	1,28	53,45 A	SI	3,28 V	0,29%
	CC_12.04	H1Z2Z2-K	29.160,00 W	1	1.123,47 V	17,33 A	22,12 m	6,0 mm2	58,00 A	0,75	0,96	1,28	53,45 A	SI	3,61 V	0,32%
	CC_12.05	H1Z2Z2-K	14.580,00 W	1	1.123,47 V	17,33 A	31,37 m	6,0 mm2	58,00 A	0,75	0,96	1,28	53,45 A	SI	2,56 V	0,23%
	CC_12.06	H1Z2Z2-K	29.160,00 W	1	1.123,47 V	17,33 A	13,32 m	6,0 mm2	58,00 A	0,75	0,96	1,28	53,45 A	SI	2,17 V	0,19%
	CC_12.07	H1Z2Z2-K	14.580,00 W	1	1.123,47 V	17,33 A	25,86 m	6,0 mm2	58,00 A	0,75	0,96	1,28	53,45 A	SI	2,11 V	0,19%
	CC_12.08	H1Z2Z2-K	29.160,00 W	1	1.123,47 V	17,33 A	7,81 m	6,0 mm2	58,00 A	0,75	0,96	1,28	53,45 A	SI	1,27 V	0,11%
	CC_12.09	H1Z2Z2-K	14.580,00 W	1	1.123,47 V	17,33 A	34,66 m	6,0 mm2	58,00 A	0,75	0,96	1,28	53,45 A	SI	2,83 V	0,25%
	CC_12.10	H1Z2Z2-K	29.160,00 W	1	1.123,47 V	17,33 A	16,61 m	6,0 mm2	58,00 A	0,75	0,96	1,28	53,45 A	SI	2,71 V	0,24%
	CC_12.11	H1Z2Z2-K	14.580,00 W	1	1.123,47 V	17,33 A	43,46 m	6,0 mm2	58,00 A	0,75	0,96	1,28	53,45 A	SI	3,55 V	0,32%
	CC_12.12	H1Z2Z2-K	29.160,00 W	1	1.123,47 V	17,33 A	25,41 m	6,0 mm2	58,00 A	0,75	0,96	1,28	53,45 A	SI	4,15 V	0,37%
	CC_12.13	H1Z2Z2-K	14.580,00 W	1	1.123,47 V	17,33 A	52,26 m	6,0 mm2	58,00 A	0,75	0,96	1,28	53,45 A	SI	4,26 V	0,38%
	CC_12.14	H1Z2Z2-K	14.580,00 W	1	1.123,47 V	17,33 A	61,06 m	6,0 mm2	58,00 A	0,75	0,96	1,28	53,45 A	SI	4,98 V	0,44%
INV-13	CC_13.01	H1Z2Z2-K	29.160,00 W	1	1.123,47 V	17,33 A	48,97 m	6,0 mm2	58,00 A	0,75	0,96	1,28	53,45 A	SI	7,99 V	0,71%
	CC_13.02	H1Z2Z2-K	29.160,00 W	1	1.123,47 V	17,33 A	44,79 m	6,0 mm2	58,00 A	0,75	0,96	1,28	53,45 A	SI	7,31 V	0,65%
	CC_13.03	H1Z2Z2-K	29.160,00 W	1	1.123,47 V	17,33 A	40,17 m	6,0 mm2	58,00 A	0,75	0,96	1,28	53,45 A	SI	6,56 V	0,58%
	CC_13.04	H1Z2Z2-K	29.160,00 W	1	1.123,47 V	17,33 A	35,99 m	6,0 mm2	58,00 A	0,75	0,96	1,28	53,45 A	SI	5,87 V	0,52%
	CC_13.05	H1Z2Z2-K	29.160,00 W	1	1.123,47 V	17,33 A	31,37 m	6,0 mm2	58,00 A	0,75	0,96	1,28	53,45 A	SI	5,12 V	0,46%
	CC_13.06	H1Z2Z2-K	29.160,00 W	1	1.123,47 V	17,33 A	30,48 m	6,0 mm2	58,00 A	0,75	0,96	1,28	53,45 A	SI	4,97 V	0,44%
	CC_13.07	H1Z2Z2-K	29.160,00 W	1	1.123,47 V											

INV-15	CC_15.01	H1Z2Z2-K	14.580,00 W	1	1.123,47 V	17,33 A	53,59 m	6,0 mm2	58,00 A	0,75	0,96	1,28	53,45 A	SI	4,37 V	0,39%
	CC_15.02	H1Z2Z2-K	14.580,00 W	1	1.123,47 V	17,33 A	44,79 m	6,0 mm2	58,00 A	0,75	0,96	1,28	53,45 A	SI	3,65 V	0,33%
	CC_15.03	H1Z2Z2-K	14.580,00 W	1	1.123,47 V	17,33 A	54,03 m	6,0 mm2	58,00 A	0,75	0,96	1,28	53,45 A	SI	4,41 V	0,39%
	CC_15.04	H1Z2Z2-K	29.160,00 W	1	1.123,47 V	17,33 A	31,37 m	6,0 mm2	58,00 A	0,75	0,96	1,28	53,45 A	SI	5,12 V	0,46%
	CC_15.05	H1Z2Z2-K	29.160,00 W	1	1.123,47 V	17,33 A	35,99 m	6,0 mm2	58,00 A	0,75	0,96	1,28	53,45 A	SI	5,87 V	0,52%
	CC_15.06	H1Z2Z2-K	14.580,00 W	1	1.123,47 V	17,33 A	48,52 m	6,0 mm2	58,00 A	0,75	0,96	1,28	53,45 A	SI	3,96 V	0,35%
	CC_15.07	H1Z2Z2-K	29.160,00 W	1	1.123,47 V	17,33 A	25,86 m	6,0 mm2	58,00 A	0,75	0,96	1,28	53,45 A	SI	4,22 V	0,38%
	CC_15.08	H1Z2Z2-K	29.160,00 W	1	1.123,47 V	17,33 A	30,48 m	6,0 mm2	58,00 A	0,75	0,96	1,28	53,45 A	SI	4,97 V	0,44%
	CC_15.09	H1Z2Z2-K	29.160,00 W	1	1.123,47 V	17,33 A	34,63 m	6,0 mm2	58,00 A	0,75	0,96	1,28	53,45 A	SI	5,65 V	0,50%
	CC_15.10	H1Z2Z2-K	29.160,00 W	1	1.123,47 V	17,33 A	39,28 m	6,0 mm2	58,00 A	0,75	0,96	1,28	53,45 A	SI	6,41 V	0,57%
	CC_15.11	H1Z2Z2-K	29.160,00 W	1	1.123,47 V	17,33 A	25,41 m	6,0 mm2	58,00 A	0,75	0,96	1,28	53,45 A	SI	4,15 V	0,37%
	CC_15.12	H1Z2Z2-K	14.580,00 W	1	1.123,47 V	17,33 A	48,08 m	6,0 mm2	58,00 A	0,75	0,96	1,28	53,45 A	SI	3,92 V	0,35%
	CC_15.13	H1Z2Z2-K	14.580,00 W	1	1.123,47 V	17,33 A	56,88 m	6,0 mm2	58,00 A	0,75	0,96	1,28	53,45 A	SI	4,64 V	0,41%
INV-16	CC_16.01	H1Z2Z2-K	29.160,00 W	1	1.123,47 V	17,33 A	48,52 m	6,0 mm2	58,00 A	0,75	0,96	1,28	53,45 A	SI	7,92 V	0,70%
	CC_16.02	H1Z2Z2-K	29.160,00 W	1	1.123,47 V	17,33 A	39,72 m	6,0 mm2	58,00 A	0,75	0,96	1,28	53,45 A	SI	6,48 V	0,58%
	CC_16.03	H1Z2Z2-K	29.160,00 W	1	1.123,47 V	17,33 A	30,92 m	6,0 mm2	58,00 A	0,75	0,96	1,28	53,45 A	SI	5,05 V	0,45%
	CC_16.04	H1Z2Z2-K	29.160,00 W	1	1.123,47 V	17,33 A	22,12 m	6,0 mm2	58,00 A	0,75	0,96	1,28	53,45 A	SI	3,61 V	0,32%
	CC_16.05	H1Z2Z2-K	29.160,00 W	1	1.123,47 V	17,33 A	13,32 m	6,0 mm2	58,00 A	0,75	0,96	1,28	53,45 A	SI	2,17 V	0,19%
	CC_16.06	H1Z2Z2-K	29.160,00 W	1	1.123,47 V	17,33 A	7,81 m	6,0 mm2	58,00 A	0,75	0,96	1,28	53,45 A	SI	1,27 V	0,11%
	CC_16.07	H1Z2Z2-K	29.160,00 W	1	1.123,47 V	17,33 A	16,61 m	6,0 mm2	58,00 A	0,75	0,96	1,28	53,45 A	SI	2,71 V	0,24%
	CC_16.08	H1Z2Z2-K	29.160,00 W	1	1.123,47 V	17,33 A	25,41 m	6,0 mm2	58,00 A	0,75	0,96	1,28	53,45 A	SI	4,15 V	0,37%
	CC_16.09	H1Z2Z2-K	29.160,00 W	1	1.123,47 V	17,33 A	34,21 m	6,0 mm2	58,00 A	0,75	0,96	1,28	53,45 A	SI	5,58 V	0,50%
	CC_16.10	H1Z2Z2-K	29.160,00 W	1	1.123,47 V	17,33 A	43,01 m	6,0 mm2	58,00 A	0,75	0,96	1,28	53,45 A	SI	7,02 V	0,62%
INV-17	CC_17.01	H1Z2Z2-K	14.580,00 W	1	1.123,47 V	17,33 A	48,52 m	6,0 mm2	58,00 A	0,75	0,96	1,28	53,45 A	SI	3,96 V	0,35%
	CC_17.02	H1Z2Z2-K	14.580,00 W	1	1.123,47 V	17,33 A	39,72 m	6,0 mm2	58,00 A	0,75	0,96	1,28	53,45 A	SI	3,24 V	0,29%
	CC_17.03	H1Z2Z2-K	14.580,00 W	1	1.123,47 V	17,33 A	30,92 m	6,0 mm2	58,00 A	0,75	0,96	1,28	53,45 A	SI	2,52 V	0,22%
	CC_17.04	H1Z2Z2-K	29.160,00 W	1	1.123,47 V	17,33 A	22,12 m	6,0 mm2	58,00 A	0,75	0,96	1,28	53,45 A	SI	3,61 V	0,32%
	CC_17.05	H1Z2Z2-K	29.160,00 W	1	1.123,47 V	17,33 A	13,32 m	6,0 mm2	58,00 A	0,75	0,96	1,28	53,45 A	SI	2,17 V	0,19%
	CC_17.06	H1Z2Z2-K	29.160,00 W	1	1.123,47 V	17,33 A	7,81 m	6,0 mm2	58,00 A	0,75	0,96	1,28	53,45 A	SI	1,27 V	0,11%
	CC_17.07	H1Z2Z2-K	29.160,00 W	1	1.123,47 V	17,33 A	16,61 m	6,0 mm2	58,00 A	0,75	0,96	1,28	53,45 A	SI	2,71 V	0,24%
	CC_17.08	H1Z2Z2-K	14.580,00 W	1	1.123,47 V	17,33 A	39,28 m	6,0 mm2	58,00 A	0,75	0,96	1,28	53,45 A	SI	3,21 V	0,29%
	CC_17.09	H1Z2Z2-K	29.160,00 W	1	1.123,47 V	17,33 A	25,41 m	6,0 mm2	58,00 A	0,75	0,96	1,28	53,45 A	SI	4,15 V	0,37%
	CC_17.10	H1Z2Z2-K	14.580,00 W	1	1.123,47 V	17,33 A	48,08 m	6,0 mm2	58,00 A	0,75	0,96	1,28	53,45 A	SI	3,92 V	0,35%
	CC_17.11	H1Z2Z2-K	29.160,00 W	1	1.123,47 V	17,33 A	34,21 m	6,0 mm2	58,00 A	0,75	0,96	1,28	53,45 A	SI	5,58 V	0,50%
	CC_17.12	H1Z2Z2-K	14.580,00 W	1	1.123,47 V	17,33 A	56,88 m	6,0 mm2	58,00 A	0,75	0,96	1,28	53,45 A	SI	4,64 V	0,41%
	CC_17.13	H1Z2Z2-K	29.160,00 W	1	1.123,47 V	17,33 A	43,01 m	6,0 mm2	58,00 A	0,75	0,96	1,28	53,45 A	SI	7,02 V	0,62%
INV-18	CC_18.01	H1Z2Z2-K	29.160,00 W	1	1.123,47 V	17,33 A	37,09 m	6,0 mm2	58,00 A	0,75	0,96	1,28	53,45 A	SI	6,05 V	0,54%
	CC_18.02	H1Z2Z2-K	29.160,00 W	1	1.123,47 V	17,33 A	50,07 m	6,0 mm2	58,00 A	0,75	0,96	1,28	53,45 A	SI	8,17 V	0,73%
	CC_18.03	H1Z2Z2-K	29.160,00 W	1	1.123,47 V	17,33 A	34,89 m	6,0 mm2	58,00 A	0,75	0,96	1,28	53,45 A	SI	5,69 V	0,51%
	CC_18.04	H1Z2Z2-K	29.160,00 W	1	1.123,47 V	17,33 A	31,37 m	6,0 mm2	58,00 A	0,75	0,96	1,28	53,45 A	SI	5,12 V	0,46%
	CC_18.05	H1Z2Z2-K	29.160,00 W	1	1.123,47 V	17,33 A	35,99 m	6,0 mm2	58,00 A	0,75	0,96					

- Datos inversor

Fabricante: Sungrow
 Modelo: SG250HX

Corriente salida [I_{out}]: 180,50 A

Tensión salida [V_{out}]: 800,00 V

Potencia máxima [kVA]: 250,00 kVA

- Condiciones ambientales

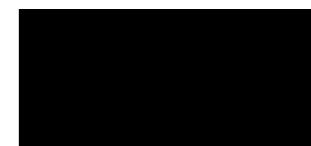
Temperatura ambiente (°C): 35,00 °C

Temperatura terreno (°C): 25,00 °C

Resistividad terreno (K·m/W): 1,50 K·m/W

Círculo	Tipo Conductor	Tipo Corriente	Potencia (W)	cos φ	Tensión (V)	I _b (A)	L _T (m)	Sección Normalizada (mm ²)	I _z (A)	Coef. Agrup.	Coef. T ^a	Coef. Resistividad	I _{z'} (A)	I _b < I _{z'}	c.d.t. (V)	c.d.t. (%)
CA-INV-1	XZ1 (S) AL	Trifásica	250.000,00 W	1	800,00 V	180,50 A	250,19 m	240,0 mm ²	305,00 A	0,65	1	1,28	253,76 A	SI	10,62 V	1,33%
CA-INV-2	XZ1 (S) AL	Trifásica	250.000,00 W	1	800,00 V	180,50 A	185,71 m	240,0 mm ²	305,00 A	0,65	1	1,28	253,76 A	SI	7,88 V	0,99%
CA-INV-3	XZ1 (S) AL	Trifásica	250.000,00 W	1	800,00 V	180,50 A	209,38 m	240,0 mm ²	305,00 A	0,65	1	1,28	253,76 A	SI	8,89 V	1,11%
CA-INV-4	XZ1 (S) AL	Trifásica	250.000,00 W	1	800,00 V	180,50 A	184,90 m	240,0 mm ²	305,00 A	0,65	1	1,28	253,76 A	SI	7,85 V	0,98%
CA-INV-5	XZ1 (S) AL	Trifásica	250.000,00 W	1	800,00 V	180,50 A	157,96 m	240,0 mm ²	305,00 A	0,65	1	1,28	253,76 A	SI	6,70 V	0,84%
CA-INV-6	XZ1 (S) AL	Trifásica	250.000,00 W	1	800,00 V	180,50 A	152,26 m	240,0 mm ²	305,00 A	0,65	1	1,28	253,76 A	SI	6,46 V	0,81%
CA-INV-7	XZ1 (S) AL	Trifásica	250.000,00 W	1	800,00 V	180,50 A	83,31 m	240,0 mm ²	305,00 A	0,65	1	1,28	253,76 A	SI	3,54 V	0,44%
CA-INV-8	XZ1 (S) AL	Trifásica	250.000,00 W	1	800,00 V	180,50 A	137,81 m	240,0 mm ²	305,00 A	0,65	1	1,28	253,76 A	SI	5,85 V	0,73%
CA-INV-9	XZ1 (S) AL	Trifásica	250.000,00 W	1	800,00 V	180,50 A	111,46 m	240,0 mm ²	305,00 A	0,65	1	1,28	253,76 A	SI	4,73 V	0,59%
CA-INV-10	XZ1 (S) AL	Trifásica	250.000,00 W	1	800,00 V	180,50 A	140,02 m	240,0 mm ²	305,00 A	0,65	1	1,28	253,76 A	SI	5,94 V	0,74%
CA-INV-11	XZ1 (S) AL	Trifásica	250.000,00 W	1	800,00 V	180,50 A	68,79 m	240,0 mm ²	305,00 A	0,65	1	1,28	253,76 A	SI	2,92 V	0,36%
CA-INV-12	XZ1 (S) AL	Trifásica	250.000,00 W	1	800,00 V	180,50 A	161,02 m	240,0 mm ²	305,00 A	0,65	1	1,28	253,76 A	SI	6,83 V	0,85%
CA-INV-13	XZ1 (S) AL	Trifásica	250.000,00 W	1	800,00 V	180,50 A	180,82 m	240,0 mm ²	305,00 A	0,65	1	1,28	253,76 A	SI	7,68 V	0,96%
CA-INV-14	XZ1 (S) AL	Trifásica	250.000,00 W	1	800,00 V	180,50 A	109,59 m	240,0 mm ²	305,00 A	0,65	1	1,28	253,76 A	SI	4,65 V	0,58%
CA-INV-15	XZ1 (S) AL	Trifásica	250.000,00 W	1	800,00 V	180,50 A	163,24 m	240,0 mm ²	305,00 A	0,65	1	1,28	253,76 A	SI	6,93 V	0,87%
CA-INV-16	XZ1 (S) AL	Trifásica	250.000,00 W	1	800,00 V	180,50 A	226,30 m	240,0 mm ²	305,00 A	0,65	1	1,28	253,76 A	SI	9,61 V	1,20%
CA-INV-17	XZ1 (S) AL	Trifásica	250.000,00 W	1	800,00 V	180,50 A	229,59 m	240,0 mm ²	305,00 A	0,65	1	1,28	253,76 A	SI	9,75 V	1,22%
CA-INV-18	XZ1 (S) AL	Trifásica	250.000,00 W	1	800,00 V	180,50 A	323,03 m	300,0 mm ²	350,00 A	0,65	1	1,28	291,20 A	SI	10,69 V	1,34%
CA-INV-19	XZ1 (S) AL	Trifásica	250.000,00 W	1	800,00 V	180,50 A	357,68 m	300,0 mm ²	350,00 A	0,65	1	1,28	291,20 A	SI	11,84 V	1,48%

Pamplona, septiembre 2025



Susana Lizarraga Zúñiga

Ingeniero Industrial

PRESUPUESTO

TOROS II - SAN MARTIN DE VALDEIGLESIAS (MADRID)

TOROS II - SAN MARTIN DE VALDEIGLESIAS (MADRID)

TOROS II - SAN MARTIN DE VALDEIGLESIAS (MADRID)

CÓDIGO	RESUMEN	UDS	LONGITUD	ANCHURA	ALTURA	PARCIALES	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
02 MONTAJE EQUIPOS Y COMPONENTES									
SUBCAPÍTULO 02.02 EJECUCIÓN CIMENTACIÓN INVERSORES CON HINCA									
TOTAL SUBCAPÍTULO 02.02 EJECUCIÓN CIMENTACIÓN								581,51	
SUBCAPÍTULO 02.06 ENSAMBLAJE ESTRUCTURA FIJA									
TOTAL SUBCAPÍTULO 02.06 ENSAMBLAJE ESTRUCTURA FIJA								166.212,00	
SUBCAPÍTULO 02.07 MONTAJE INVERSORES									
TOTAL SUBCAPÍTULO 02.07 MONTAJE INVERSORES								2.280,00	
TOTAL 02 MONTAJE EQUIPOS Y COMPONENTES								169.073,51	

TOROS II - SAN MARTIN DE VALDEIGLESIAS (MADRID)

CÓDIGO	RESUMEN	UDS	LONGITUD	ANCHURA	ALTURA	PARCIALES	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
03 SUMINISTRO EQUIPOS Y COMPONENTES									
SUBCAPÍTULO 03.01 ESTRUCTURA FIJA									
03.01.01	Wp SUMINISTRO ESTRUCTURA FIJA								
							5.540.400,00	0,1057	585.620,28
							TOTAL SUBCAPÍTULO 03.01 ESTRUCTURA FIJA		585.620,28
SUBCAPÍTULO 03.02 MÓDULOS FOTOVOLTAICOS									
03.02.01	Wp SUMINISTRO MODULOS FOTOVOLTAICOS								
	Suministro de módulos fotovoltaicos con características técnicas conforme a proyecto. Incluido transporte, almacenamiento y descarga.								
							5.540.400,00	0,2780	1.540.231,20
03.02.02	Wp SUMINISTRO REMACHES FIJACIÓN MÓDULO								
	Suministro remaches para fijación de módulos fotovoltaicos. Incluido transporte, almacenamiento y descarga.								
							5.540.400,00	0,0009	4.986,36
							TOTAL SUBCAPÍTULO 03.02 MÓDULOS FOTOVOLTAICOS		1.545.217,56
SUBCAPÍTULO 03.03 INVERSORES									
03.03.01	Ud SUMINISTRO INVERSORES DE STRING SG250HX								
	Suministro de inversores de string modelo SUNGROW SG250HX, o similar, con características técnicas conforme a proyecto. Incluido transporte, almacenamiento y descarga.								
							19,00	5.293,5300	100.577,07
03.03.02	Ud SUMINISTRO HINCAS SOPORTE INVERSORES DE STRING								
	Suministro de hincas para sujeción de inversores de string. Incluido transporte, almacenamiento y descarga.								
							38,00	38,4100	1.459,58
							TOTAL SUBCAPÍTULO 03.03 INVERSORES		102.036,65
TOTAL 03 SUMINISTRO EQUIPOS Y COMPONENTES.....									
									2.232.874,49

TOROS II - SAN MARTIN DE VALDEIGLESIAS (MADRID)

CÓDIGO	RESUMEN	UDS	LONGITUD	ANCHURA	ALTURA	PARCIALES	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
SUBCAPÍTULO 04.02 INSTALACIÓN CABLEADO ELÉCTRICO									
04.02.01	MI INSTALACIÓN CABLEADO STRINGS 1x6mm2 H1Z2Z2-K								
	Instalación de cableado de strings 1x6mm2 H1Z2Z2-K. Incluye tendido de cableado, embroidado a seguidor solar, paso por tubos y conexionado a inversores. Incluye el suministro y la instalación de terminales multicontacto para su correcta conexión. Incluyendo p.p. de materiales y medios auxiliares para su completa instalación. Unidad totalmente terminada.								
							16.698,15	0,6650	11.104,27
04.02.02	MI INSTALACIÓN CABLEDO INVERSORES XZ1 (S) AL 1x240mm2								
	Instalación de cable 1x240mm2 XZ1 (S) AL. Incluye tendido de cableado, paso por tubos y conexionado a inversor y a cuadro de protección de baja tensión ubicado en centro de transformación. Incluye el suministro y la instalación de terminales OT/DT bimetálicos para su correcta conexión. Incluyendo p.p. de materiales y medios auxiliares para su completa instalación. Unidad totalmente terminada.								
							8.256,96	1,2800	10.568,91
04.02.03	MI INSTALACIÓN CABLEDO INVERSORES XZ1 (S) AL 1x300mm2								
	Instalación de cable 1x300mm2 XZ1 (S) AL. Incluye tendido de cableado, paso por tubos y conexionado a inversor y a cuadro de protección de baja tensión ubicado en centro de transformación. Incluye el suministro y la instalación de terminales OT/DT bimetálicos para su correcta conexión. Incluyendo p.p. de materiales y medios auxiliares para su completa instalación. Unidad totalmente terminada.								
							2.042,16	1,2800	2.613,96
04.02.04	MI INSTALACIÓN CABLEDO SSAA RV-K 5G10mm2								
	Instalación de cable 5G10mm2 RV-K. Incluye tendido de cableado, paso por tubos y conexionado entre el cuadro de protección ubicado en centro de transformación y el cuadro de protección ubicado en el edificio de control. Incluye el suministro y la instalación de terminales para su correcta conexión. Incluyendo p.p. de materiales y medios auxiliares para su completa instalación. Unidad totalmente terminada.								
							35,00	1,5000	52,50
04.02.05	MI INSTALACIÓN CABLEDO SSAA RV-K 3G2,5mm2								
	Instalación de cable 5G10mm2 RV-K. Incluye tendido de cableado, paso por tubos y conexionado entre los equipos y el cuadro de protección ubicado en el edificio de control. Incluye el suministro y la instalación de terminales para su correcta conexión. Incluyendo p.p. de materiales y medios auxiliares para su completa instalación. Unidad totalmente terminada.								
							100,00	0,7500	75,00
TOTAL SUBCAPÍTULO 04.02 INSTALACIÓN CABLEADO ELÉCTRICO ..									24.414,64

TOROS II - SAN MARTIN DE VALDEIGLESIAS (MADRID)

CÓDIGO	RESUMEN	UDS	LONGITUD	ANCHURA	ALTURA	PARCIALES	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
SUBCAPÍTULO 04.03 SUMINISTRO SISTEMA DE PUESTA A TIERRA									
04.03.01	ml SUMINISTRO CABLE DESNUDO 35mm² Cu Suministro de conductor de tierra formado por cable rígido desnudo de cobre trenzado, de 35 mm ² de sección. Incluido transporte, almacenamiento y descarga.						1.391,69	3,8300	5.330,17
04.03.02	MI SUMINISTRO CABLE DESNUDO 50mm² Cu Suministro de conductor de tierra formado por cable rígido desnudo de cobre trenzado, de 50 mm ² de sección. Incluido transporte, almacenamiento y descarga.						24,49	5,7800	141,55
04.03.03	MI SUMINISTRO CABLE AISLADO 35mm² Cu Suministro de cable aislado H07Z1-K, color de aislamiento Verde/Amarillo, material de aislamiento PVC, de 35 mm ² de sección. Incluido transporte, almacenamiento y descarga.						720,99	7,7300	5.573,25
04.03.04	Ud SUMINISTRO PICA DE TIERRA Suministro de pica de acero cobreado de D=14,2 mm y 2 m de longitud. Incluido transporte, almacenamiento y descarga.						23,00	20,0000	460,00
TOTAL SUBCAPÍTULO 04.03 SUMINISTRO SISTEMA DE PUESTA A TIERRA									11.504,98

TOROS II - SAN MARTIN DE VALDEIGLESIAS (MADRID)

CÓDIGO	RESUMEN	UDS	LONGITUD	ANCHURA	ALTURA	PARCIALES	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
SUBCAPÍTULO 04.04 INSTALACIÓN SISTEMA DE PUESTA A TIERRA									
04.04.01	MI INSTALACIÓN CABLE DESNUDO 35mm² Cu								
	<p>Instalación de cable de cobre desnudo de 35 mm² de sección. Incluye tendido de cableado, paso por tubos e interconexión con la red de tierras general de la planta.</p> <p>Incluye el suministro y la instalación de los conectores y terminales para su correcta conexión a las estructuras metálicas y a la red de tierras general; dichos conectores serán apropiados para su método de instalación. En los casos en los que se indique bajo proyecto la unión con la red de tierras se realizará mediante soldadura aluminotérmica.</p> <p>Quedan incluidas cualquier operación necesaria de manipulación del material i/p.p. de piezas especiales.</p> <p>Unidad totalmente terminada.</p>								
							1.391,69	1,1500	1.600,44
04.04.02	MI INSTALACIÓN CABLE DESNUDO 50mm² Cu								
	<p>Instalación de cable de cobre desnudo de 50 mm² de sección. Incluye tendido de cableado, paso por tubos e interconexión con la red de tierras general de la planta.</p> <p>Incluye el suministro y la instalación de los conectores y terminales para su correcta conexión a la red de tierras general; dichos conectores serán apropiados para su método de instalación. En los casos en los que se indique bajo proyecto la unión con la red de tierras se realizará mediante soldadura aluminotérmica.</p> <p>Quedan incluidas cualquier operación necesaria de manipulación del material i/p.p. de piezas especiales.</p> <p>Unidad totalmente terminada.</p>								
							24,49	12,3500	302,45
04.04.03	MI INSTALACIÓN CABLE AISLADO 35mm² Cu								
	<p>Instalación de cableo aislado H07Z1-K de 35 mm² de sección para la unión de la toma de tierra, de la carcasa y estructura portante de los inversores con la red general de tierras.</p> <p>Incluye el suministro y la instalación de los conectores y terminales para su correcta conexión; dichos conectores serán apropiados para su método de instalación. En los casos en los que se indique bajo proyecto la unión con la red de tierras se realizará mediante soldadura aluminotérmica.</p> <p>Quedan incluidas cualquier operación necesaria de manipulación del material i/p.p. de piezas especiales.</p> <p>Unidad totalmente terminada.</p>								
							720,99	3,9500	2.847,91
04.04.04	MI INSTALACIÓN PICA DE PUESTA A TIERRA								
	<p>Instalación de toma de tierra de acero cobreado de 14.2 mm de diámetro y 2 m de longitud mediante pica de acero cobreado, hincada en el terreno mediante medios manuales o mecánicos. Incluso suministro e instalación de grapa abarcón para la conexión del electrodo con la red de tierras. En los casos en los que se indique bajo proyecto la unión se realizará mediante soldadura aluminotérmica.</p> <p>Quedan incluidas cualquier operación necesaria de manipulación del material i/p.p. de piezas especiales.</p> <p>Unidad totalmente terminada.</p>								
							23,00	30,0000	690,00

TOROS II - SAN MARTIN DE VALDEIGLESIAS (MADRID)

CÓDIGO RESUMEN UDS LONGITUD ANCHURA ALTURA PARCIALES CANTIDAD PRECIO IMPORTE

04.04.05 Ud INSTALACIÓN VERIFICACIÓN PUESTA A TIERRA
Instalación de toma de tierra completa formada por pica de acero cobreado de 14.2 mm de diámetro y 2 m de longitud, enterrada en arqueta de polipropileno. Incluso suministro e instalación de grapa abarcón para la conexión del electrodo con la red de tierras. En los casos en los que se indique bajo proyecto la unión se realizará mediante soldadura aluminotérmica.
Quedan incluidas cualquier operación necesaria de manipulación del material i/p.p. de piezas especiales.
Unidad totalmente terminada.

1,00 38,0000 38,00

TOTAL SUBCAPÍTULO 04.04 INSTALACIÓN SISTEMA DE PUESTA A 5.478,81

SUBCAPÍTULO 04.05 CONEXIONADO DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

04.05.01	Ud CONEXIONADO CABLEADO MÓDULOS FOTOVOLTAICOS
	Conexionado y embriado de cableado de módulos fotovoltaicos en configuración salto de rana. Incluyendo p.p. de materiales y medios auxiliares para su completa ejecución.
	<hr/>
	10.260,00
	0,6100
	6.258,60
	TOTAL SUBCAPÍTULO 04.05 CONEXIONADO DE MÓDULOS
	6.258,60
	<hr/>
	TOTAL 04 INSTALACIÓN ELÉCTRICA.....
	117.950,80

TOROS II - SAN MARTIN DE VALDEIGLESIAS (MADRID)

CÓDIGO	RESUMEN	UDS	LONGITUD	ANCHURA	ALTURA	PARCIALES	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
05 CENTRO DE TRANSFORMACIÓN									
05.01	OBRA CIVIL						1,00	10.245,7805	10.245,78
05.02	CELDAS AT						1,00	22.581,5800	22.581,58
05.03	TRANSFORMADOR						1,00	33.370,8800	33.370,88
05.04	RED DE TIERRAS						1,00	317,9200	317,92
TOTAL 05 CENTRO DE TRANSFORMACIÓN									66.516,16

TOROS II - SAN MARTIN DE VALDEIGLESIAS (MADRID)

CÓDIGO	RESUMEN	UDS	LONGITUD	ANCHURA	ALTURA	PARCIALES	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
06 LÍNEA INTERNA 15 kV									
06.01	OBRA CIVIL						1,00	8.199,2400	8.199,24
06.02	LÍNEA SUBTERRÁNEA 15 kV						1,00	3.487,2360	3.487,24
TOTAL 06 LÍNEA INTERNA 15 kV									11.686,48

TOROS II - SAN MARTIN DE VALDEIGLESIAS (MADRID)

CÓDIGO	RESUMEN	UDS	LONGITUD	ANCHURA	ALTURA	PARCIALES	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
07 GESTIÓN DE RESIDUOS Y SEGURIDAD Y SALUD									
SUBCAPÍTULO 07.01 GESTIÓN DE RESIDUOS									
TOTAL SUBCAPÍTULO 07.01 GESTIÓN DE RESIDUOS									1.869,36
SUBCAPÍTULO 07.02 SEGURIDAD Y SALUD									
TOTAL SUBCAPÍTULO 07.02 SEGURIDAD Y SALUD									4.230,41
TOTAL 07 GESTIÓN DE RESIDUOS Y SEGURIDAD Y SALUD									6.099,77

TOROS II - SAN MARTIN DE VALDEIGLESIAS (MADRID)

CÓDIGO	RESUMEN	UDS	LONGITUD	ANCHURA	ALTURA	PARCIALES	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
08 POWER PLANT CONTROLLER									
SUBCAPÍTULO 08.01 POWER PLANT CONTROLLER									
08.01.01	Ud POWER PLANT CONTROLLER Suministro e instalación de PPC (Power Plant Controller) Certificado NTS UE 2016/631. Incluye Hardware, licencia, modelos DigSilent, configuración y puesta en marcha.						1,00	18.597,0000	18.597,00
08.01.02	Ud PANTALLA HMI Suministro e instalación de pantalla táctil de 7" HMI y servidor web de gestión integrado						1,00	2.915,0000	2.915,00
08.01.03	Ud POWER METER Suministro e instalación de analizador de medida de potencia						1,00	2.193,0000	2.193,00
08.01.04	Ud SWITCH GESTIONABLE Suministro e instalación de switch gestionable de fibra óptica 6x Eth + 2 SFP XC206						1,00	1.000,0000	1.000,00
TOTAL SUBCAPÍTULO 08.01 POWER PLANT CONTROLLER.....								24.705,00	
TOTAL 08 POWER PLANT CONTROLLER								24.705,00	
TOTAL								2.750.586,91	

RESUMEN DE PRESUPUESTO

CAPITULO	RESUMEN	EUROS	%
1	OBRA CIVIL.....	121.680,70	4,42
	-01.01 -ACONDICIONAMIENTO DEL TERRENO.....	43.118,85	
	-01.02 -CERRAMIENTO PERIMETRAL.....	15.609,86	
	-01.03 -CAMINOS DE ACCESO Y VIALES INTERNOS.....	44.952,00	
	-01.04 -EDIFICIO DE CONTROL.....	18.000,00	
2	MONTAJE EQUIPOS Y COMPONENTES.....	169.073,51	6,15
	-02.02 -EJECUCIÓN CIMENTACIÓN INVERSORES CON HINCA.....	581,51	
	-02.06 -ENSAMBLAJE ESTRUCTURA FIJA.....	166.212,00	
	-02.07 -MONTAJE INVERSORES.....	2.280,00	
3	SUMINISTRO EQUIPOS Y COMPONENTES.....	2.232.874,49	81,18
	-03.01 -ESTRUCTURA FIJA.....	585.620,28	
	-03.02 -MÓDULOS FOTOVOLTAICOS.....	1.545.217,56	
	-03.03 -INVERSORES.....	102.036,65	
4	INSTALACIÓN ELÉCTRICA.....	117.950,80	4,29
	-04.01 -SUMINISTRO CABLEADO ELÉCTRICO.....	70.293,78	
	-04.02 -INSTALACIÓN CABLEADO ELÉCTRICO.....	24.414,64	
	-04.03 -SUMINISTRO SISTEMA DE PUESTA A TIERRA.....	11.504,98	
	-04.04 -INSTALACIÓN SISTEMA DE PUESTA A TIERRA.....	5.478,81	
	-04.05 -CONEXIONADO DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS.....	6.258,60	
5	CENTRO DE TRANSFORMACIÓN.....	66.516,16	2,42
6	LÍNEA INTERNA 15 kV.....	11.686,48	0,42
7	GESTIÓN DE RESIDUOS Y SEGURIDAD Y SALUD	6.099,77	0,22
	-07.01 -GESTIÓN DE RESIDUOS.....	1.869,36	
	-07.02 -SEGURIDAD Y SALUD.....	4.230,41	
8	POWER PLANT CONTROLLER.....	24.705,00	0,90
	-08.01 -POWER PLANT CONTROLLER.....	24.705,00	
	TOTAL EJECUCIÓN MATERIAL	2.750.586,91	

El presupuesto de ejecución material asciende a la expresada cantidad de DOS MILLONES SETECIENTOS CINCUENTA MIL QUINIENTOS OCHENTA Y SEIS EUROS con NOVENTA CÉNTIMOS

LA DIRECCIÓN FACULTATIVA



Susana Lizarraga Zúñiga

Ingeniero Industrial

PLANOS

ÍNDICE PLANOS

Sección 01: Diseño general

01.06 FP Gestión de residuos v1

Sección 02: Obra civil

02.01 FP Vallado perimetral v1

02.02 FP Zanjas v1

Sección 03: Electricidad

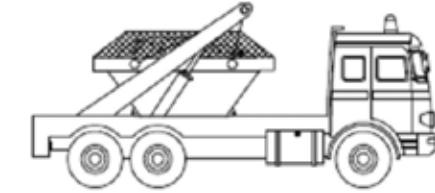
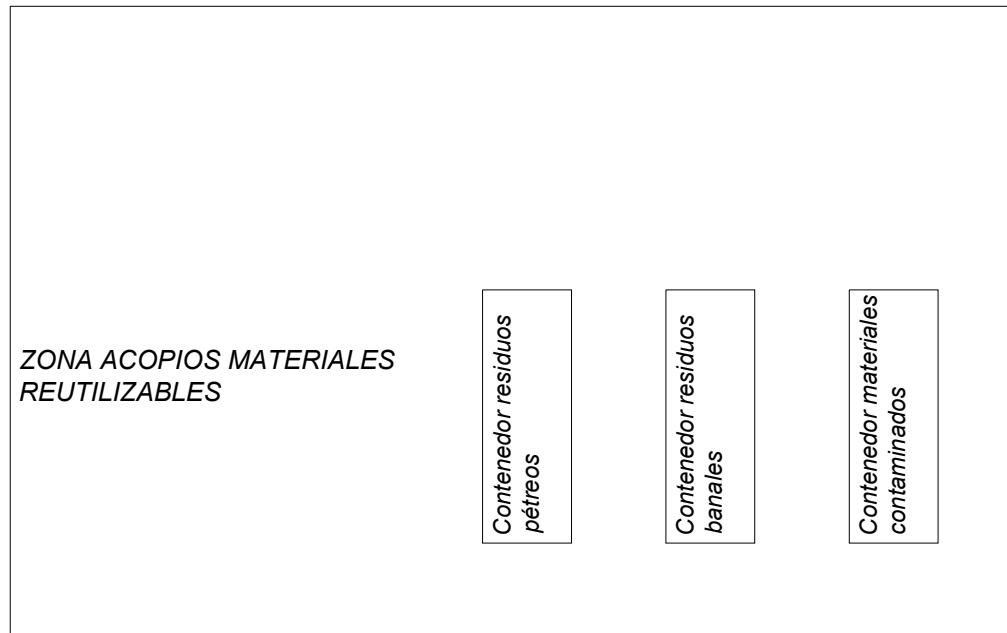
03.02 FP Cableado CA v1

03.03 FP Red de tierras v1



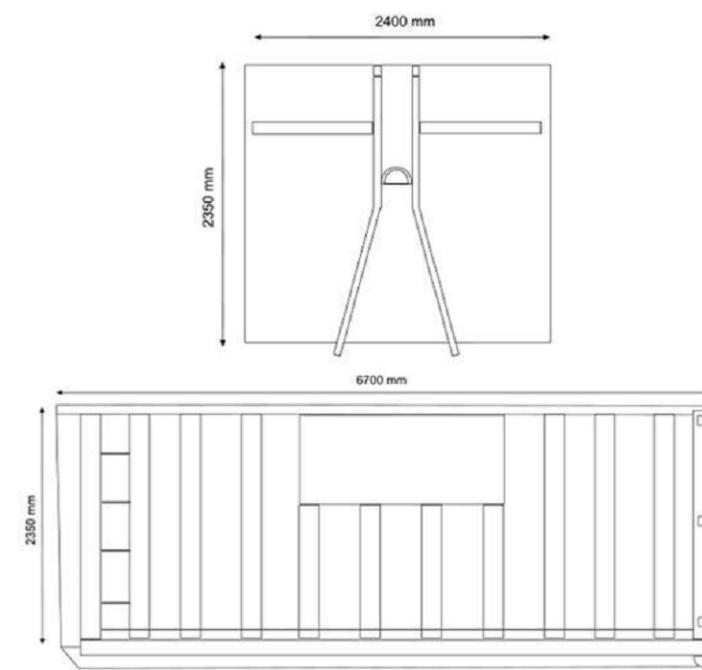
REV.	FECHA	DESCRIPCIÓN	PREPARADO	APROBADO	FIRMA	AUTOR DE PROYECTO	PROYECTO:	NOMBRE PLANO:	NOMBRE ARCHIVO:	FORMATO:	ESCALA:	HOJA:
						LIZHER INGENIERIA	INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA CON CONEXIÓN A RED TOROS DE GUISENDO II	SITUACIÓN:	SECCIÓN:			
1	09/2025	Modificación ubicación CS	B.DAVILA	S.LIZARRAGA			FASE: PROYECTO	SAN MARTÍN DE VALDEIGLESIAS (MADRID)	Nº PLANO:	01.06	A3	1:2.000
0	11/2024	Emisión inicial	L.GARCIA	S.LIZARRAGA					FORMATO:	=/+ 1/2		

ZONA GESTIÓN DE RESIDUOS



EN TODOS LOS CAMIONES SE LIMPIARAN LAS RUEDAS ANTES DE SALIR DE LA OBRA CON EL FIN DE EVITAR CONTAMINAR LA SALIDA DE LA OBRA CON RESTOS DE TIERRAS. CUANDO SEA NECESARIO SE REGARAN LOS ESCOMBROS CON AGUA PARA EVITAR GENERAR POLVO EN SU TRASLADO HACIA LA PLANTA DE GESTIÓN DE RESIDUOS

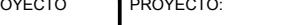
DETALLE CONTENEDOR

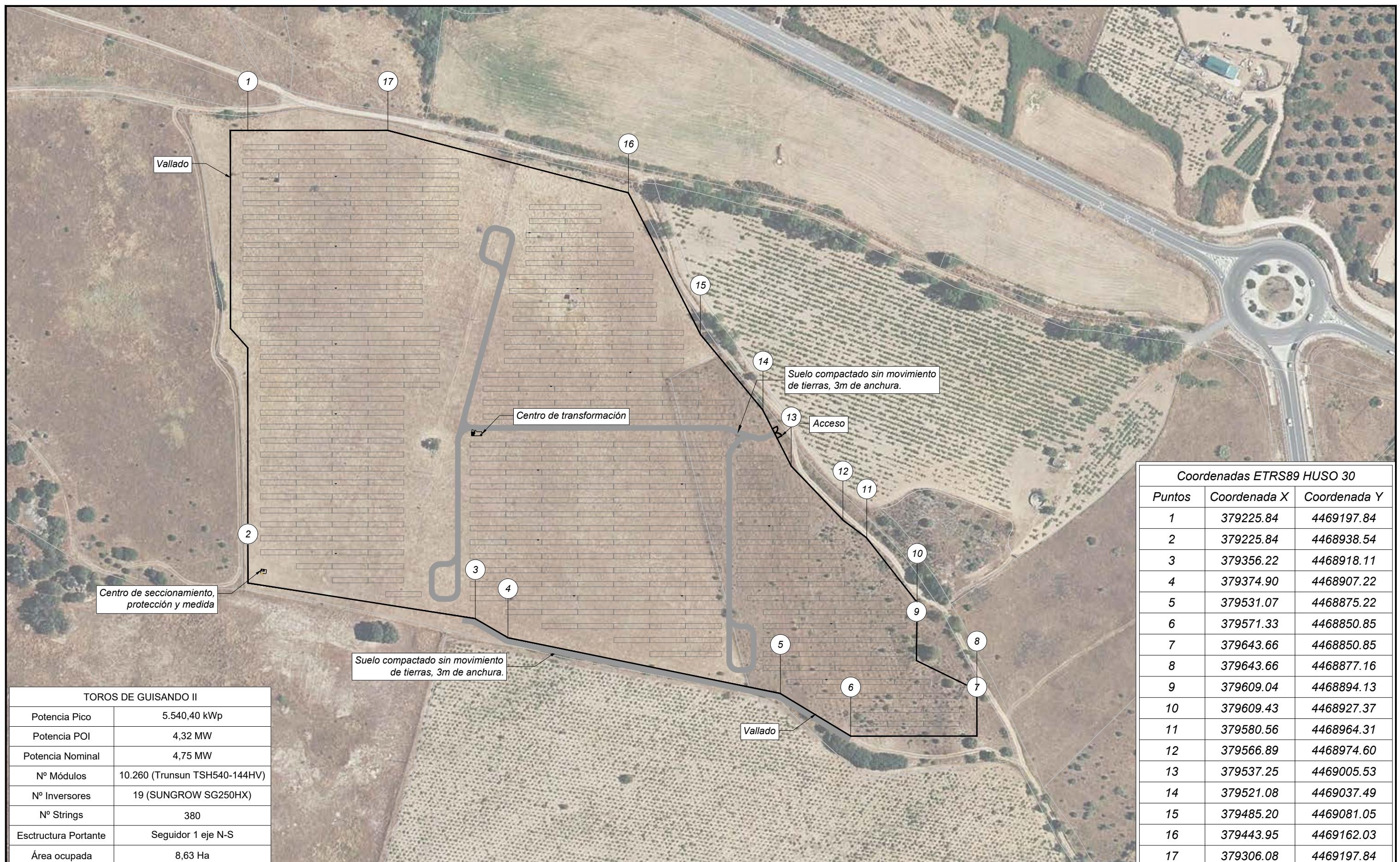


**TODOS LOS CONTENEDORES
QUE SALGAN DE LA OBRA
IRAN TAPADOS PARA EVITAR
VERTIDOS EN EL EXTERIOR.**



SE COLOCARÁN LOS CONTENEDORES EN LA OBRA EN UN LUGAR APROPIADO EN EL QUE ALMACENAR LOS RESIDUOS. ES IMPORTANTE QUE LOS RESIDUOS SE ALMACENEN JUSTO DESPUÉS DE QUE SE GENEREN PARA QUE NO SE ENSUCIEN Y SE MEZCLEN CON OTROS SOBRANTES, DE ESTE MODO SE FACILITA SU POSTERIOR RECICLAJE.
LOS CONTENEDORES DE OBRA SALDRÁN DE OBRA TAN RÁPIDO COMO SEA POSIBLE.
SE HA DE PREVER UN NÚMERO SUFICIENTE DE CONTENEDORES, EN ESPECIAL CUANDO LA OBRA GENERA RESIDUOS CONSTANTEMENTE.

					AUTOR DE PROYECTO 	PROYECTO: INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA CON CONEXIÓN A RED TOROS DE GUISANDO II	NOMBRE PLANO: GESTIÓN DE RESIDUOS UBICACIÓN EN PLANTA	NOMBRE ARCHIVO: 01.06 FP Gestión de residuos.dwg				
1	09/2025	Modificación ubicación CS	B.DAVILA	S.LIZARRAGA		FASE: PROYECTO	SITUACIÓN: SAN MARTÍN DE VALDEIGLESIAS (MADRID)	SECCIÓN: Diseño General	Nº PLANO: 01.06	FORMATO: A3	ESCALA: -	HOJA: =/+ 2/2
0	11/2024	Emisión inicial	L.GARCÍA	S.LIZARRAGA								
REV.	FECHA	DESCRIPCIÓN	PREPARADO	APROBADO	FIRMA							



Coordenadas ETRS89 HUSO 30		
Puntos	Coordenada X	Coordenada Y
1	379225.84	4469197.84
2	379225.84	4468938.54
3	379356.22	4468918.11
4	379374.90	4468907.22
5	379531.07	4468875.22
6	379571.33	4468850.85
7	379643.66	4468850.85
8	379643.66	4468877.16
9	379609.04	4468894.13
10	379609.43	4468927.37
11	379580.56	4468964.31
12	379566.89	4468974.60
13	379537.25	4469005.53
14	379521.08	4469037.49
15	379485.20	4469081.05
16	379443.95	4469162.03
17	379306.08	4469197.84

REV.	FECHA	DESCRIPCIÓN	PREPARADO	APROBADO	FIRMA	AUTOR DE PROYECTO LIZHER INGENIERIA	PROYECTO: INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA CON CONEXIÓN A RED TOROS DE GUISENDO II	NOMBRE PLANO: VALLADO PERIMETRAL	NOMBRE ARCHIVO: 02.01 FP Vallado perimetral.dwg	N		
1	09/2025	Modificación ubicación CS	B.DAVILA	S.LIZARRAGA						A3	1:2.000	=/+ 1/2
0	11/2024	Emisión inicial	L.GARCIA	S.LIZARRAGA			PROYECTO	SITUACIÓN: SAN MARTÍN DE VALDEIGLESIAS (MADRID)	SECCIÓN: Obra Civil	Nº PLANO: 02.01		

DETALLES VALLADO

ESPECIFICACIONES: Cerramiento cinegético de malla anudada de 200*17*30cm, sin elementos cortantes, con postes separados cada 5-6 metros y refuerzos cada 25 metros.

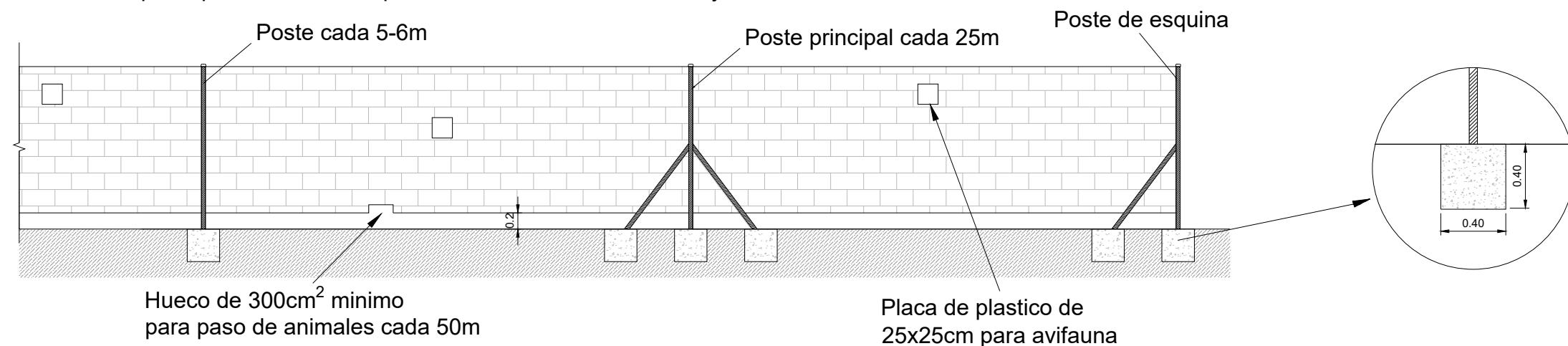
Incluida la zapata de colocación de 40x40x40cm con hormigón H-200

La altura de los postes y de la malla es de 2 metros

Espacio libre de los primeros 20cm en todo el perímetro

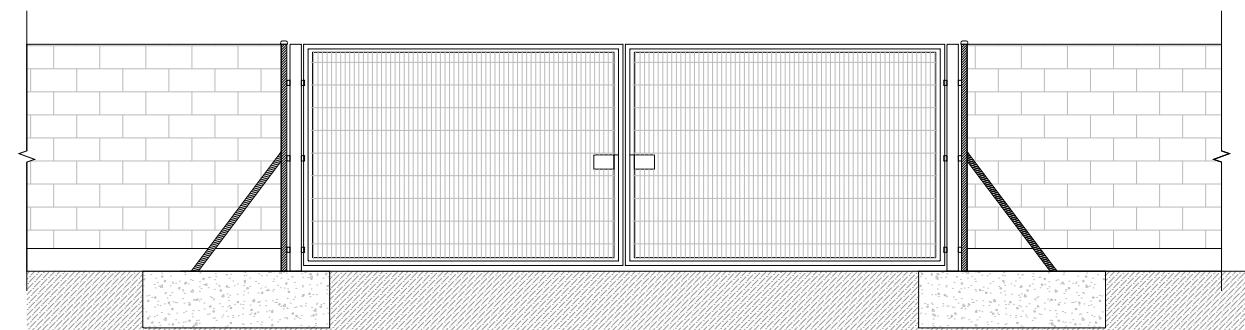
Hueco de 30x30cm cada 50m de vallado, que permita la entrada y salida de animales.

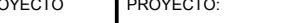
Incluida 1 placa por cada vano de plastico/metal de 25x25cm de fleje visualizador.

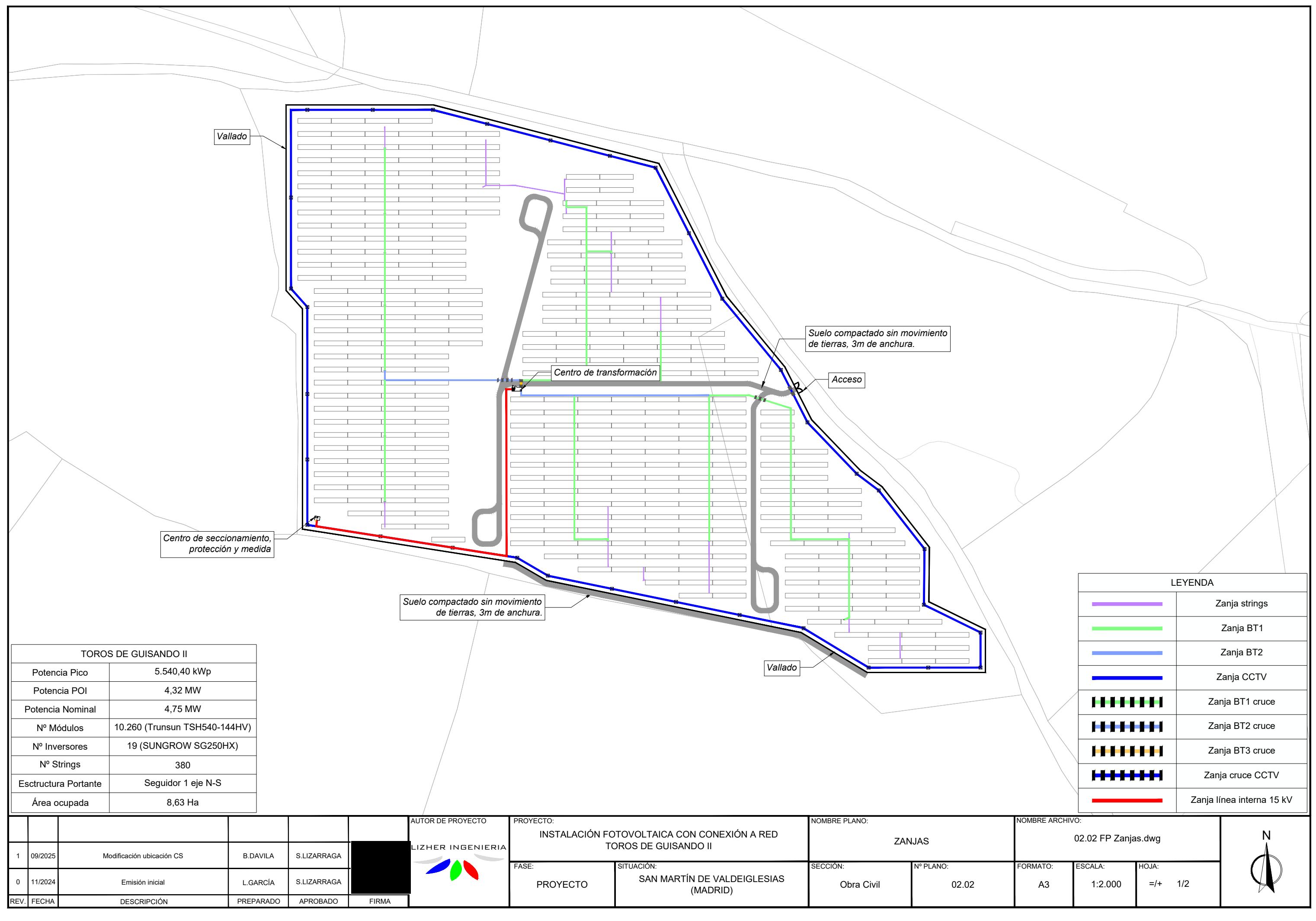


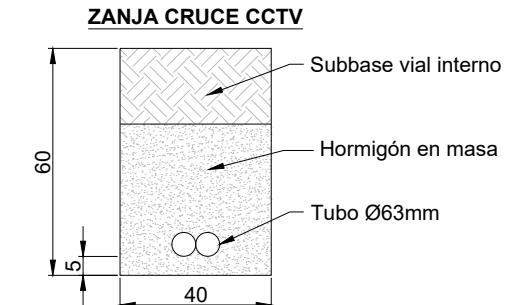
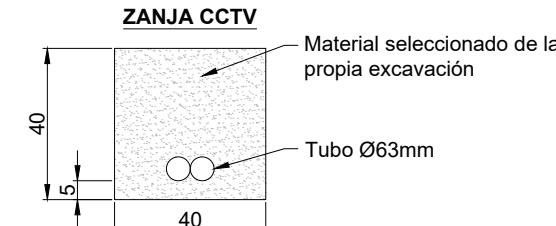
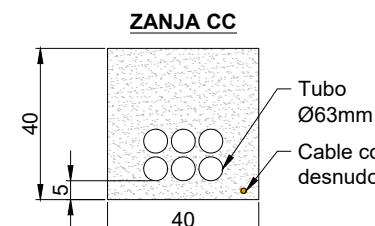
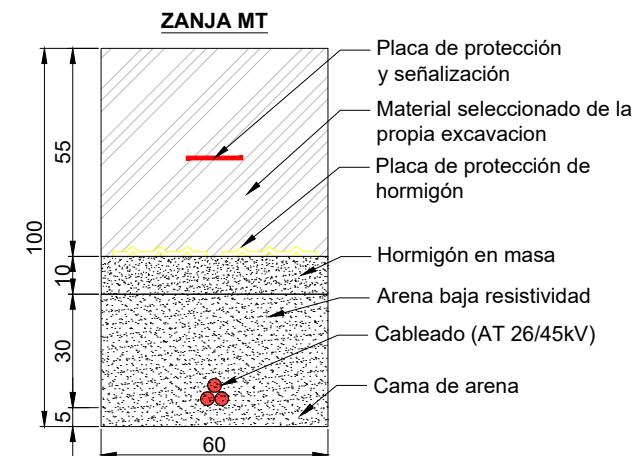
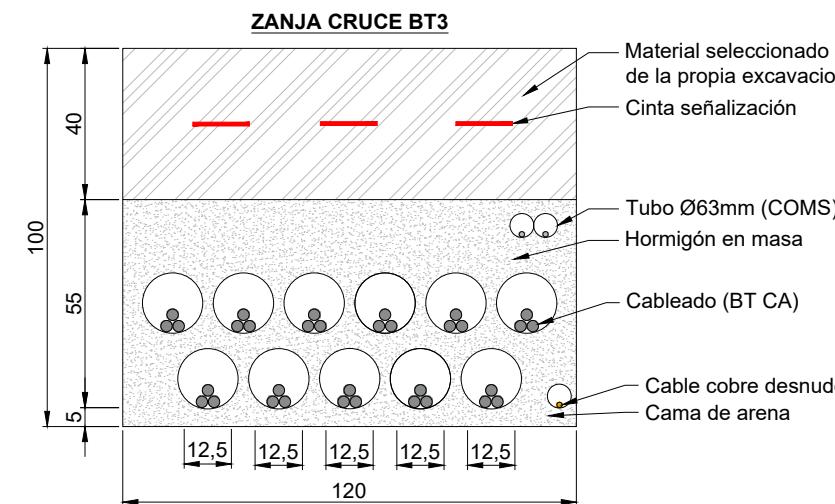
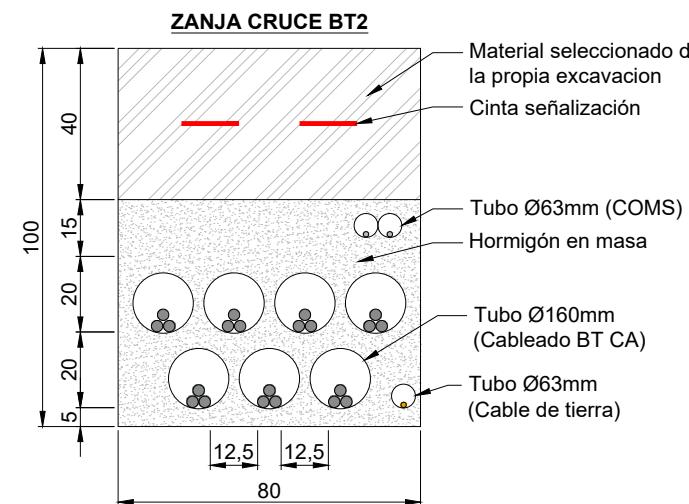
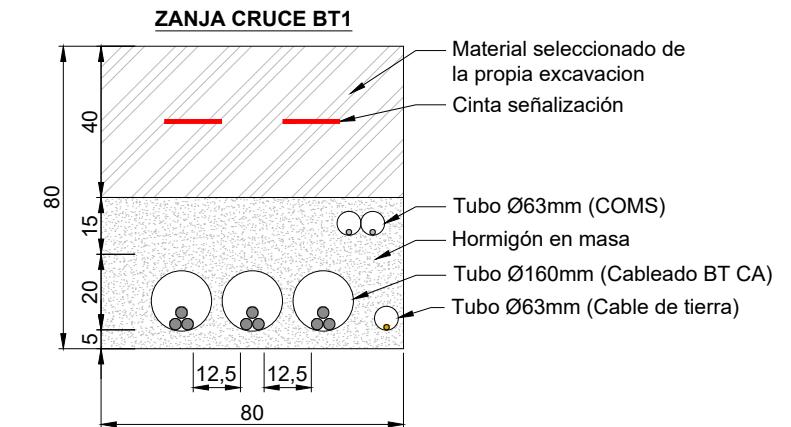
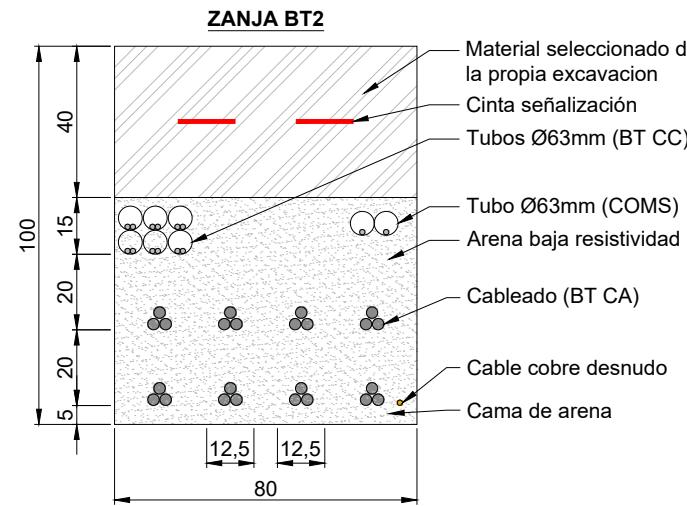
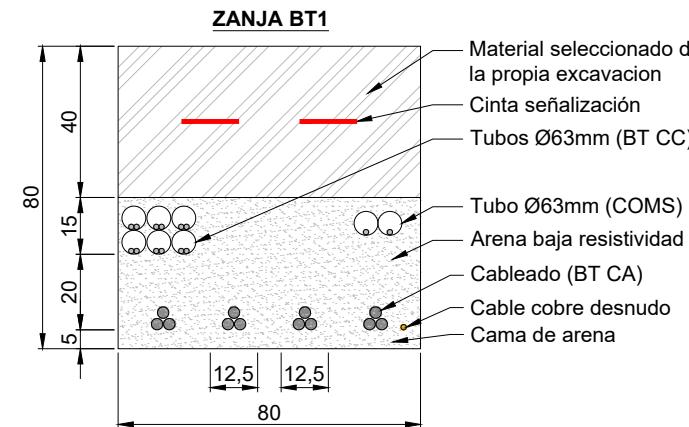
ESPECIFICACIONES: Puerta galvanizada con cerrojo y candado, de dos hojas.

De dimensiones 6 metros x 2 metros de altura



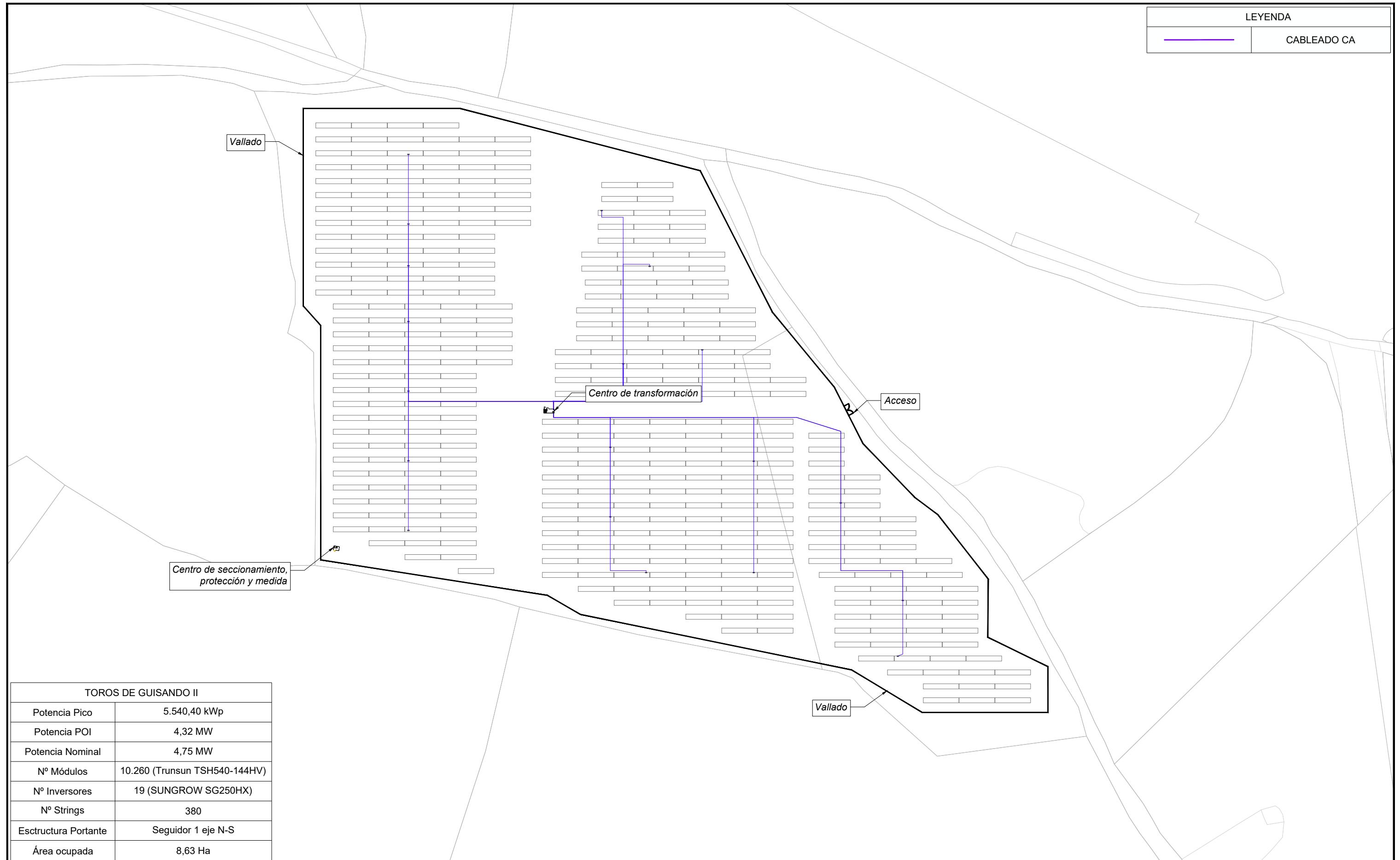
					AUTOR DE PROYECTO 	PROYECTO: INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA CON CONEXIÓN A RED TOROS DE GUISANDO II	NOMBRE PLANO: VALLADO PERIMETRAL DETALLES	NOMBRE ARCHIVO: 02.01 FP Vallado perimetral.dwg		
1	09/2025	Modificación ubicación CS	B.DAVILA	S.LIZARRAGA		FASE: PROYECTO	SITUACIÓN: SAN MARTÍN DE VALDEIGLESIAS (MADRID)	SECCIÓN: Obra Civil	Nº PLANO: 02.01	FORMATO: A3
0	11/2024	Emisión inicial	L.GARCÍA	S.LIZARRAGA				ESCALA: -	HOJA: =/+ 2/2	
REV.	FECHA	DESCRIPCIÓN	PREPARADO	APROBADO	FIRMA					





					AUTOR DE PROYECTO	PROYECTO:		NOMBRE PLANO:		NOMBRE ARCHIVO:	
1	09/2025	Modificación ubicación CS	B.DAVILA	S.LIZARRAGA	LIZHER INGENIERIA	INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA CON CONEXIÓN A RED TOROS DE GUISENDO II	ZANJAS DETALLES		02.02 FP Zanjas.dwg		
0	11/2024	Emisión inicial	L.GARCIA	S.LIZARRAGA		FASE: PROYECTO	SITUACIÓN: SAN MARTÍN DE VALDEIGLESIAS (MADRID)	SECCIÓN: Obra Civil	Nº PLANO: 02.02	FORMATO: A3	ESCALA: 1:20
REV.	FECHA	DESCRIPCIÓN	PREPARADO	APROBADO	FIRMA					HOJA: =/+	2/2

LEYENDA	
	CABLEADO CA



REV.	FECHA	DESCRIPCIÓN	PREPARADO	APROBADO	FIRMA	AUTOR DE PROYECTO	PROYECTO:	NOMBRE PLANO:	NOMBRE ARCHIVO:	FORMATO:	ESCALA:	HOJA:	
						LIZHER INGENIERIA	INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA CON CONEXIÓN A RED TOROS DE GUISANDO II						
1	09/2025	Modificación ubicación CS	B.DAVILA	S.LIZARRAGA									
0	11/2024	Emisión inicial	L.GARCIA	S.LIZARRAGA			FASE: PROYECTO	SITUACIÓN: SAN MARTÍN DE VALDEIGLESIAS (MADRID)	SECCIÓN: Electricidad	Nº PLANO: 03.02	A3	1:2.000	=/+ 1/3



LEYENDA

	CABLEADO CA
--	-------------

Vallado

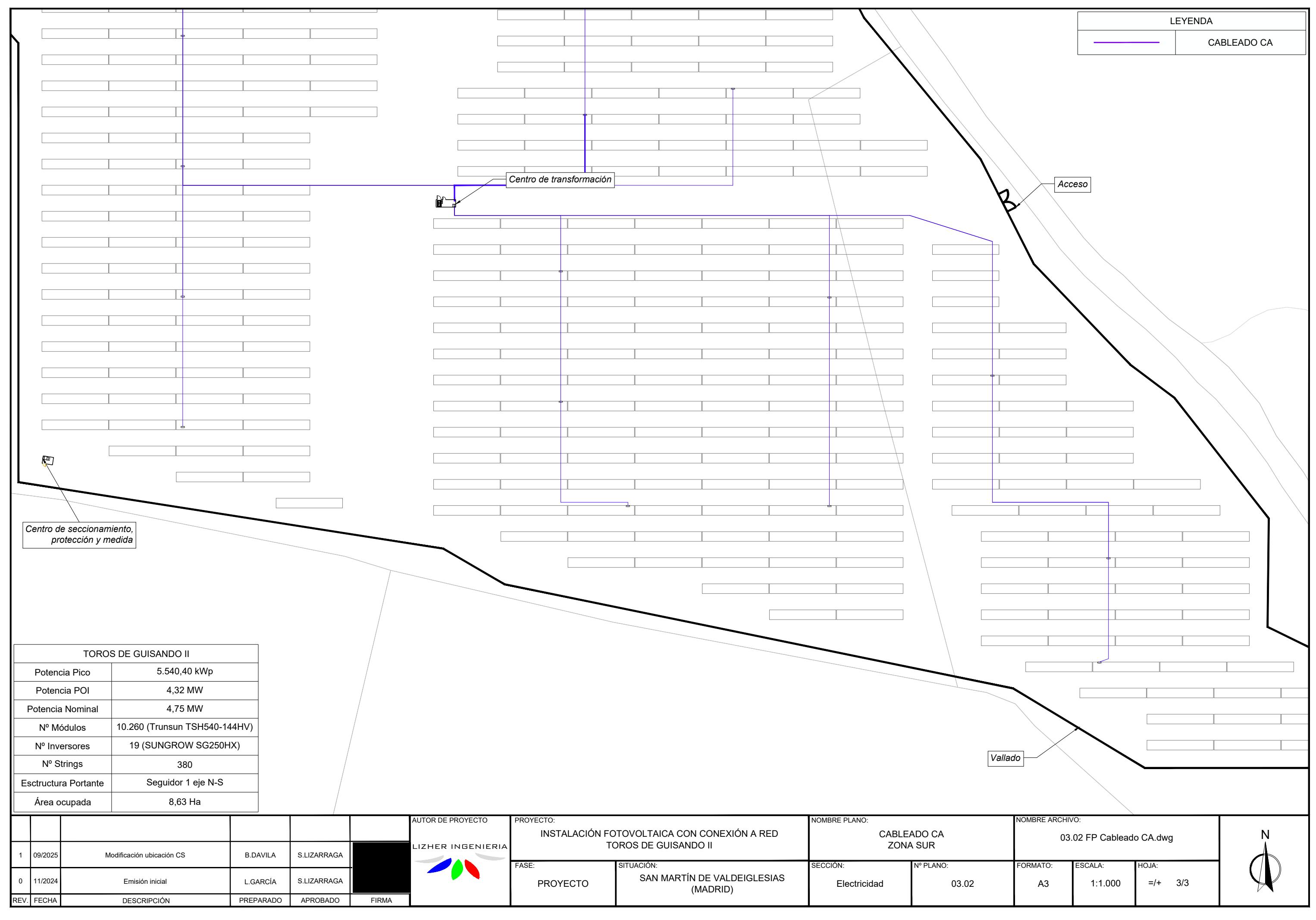
Acceso

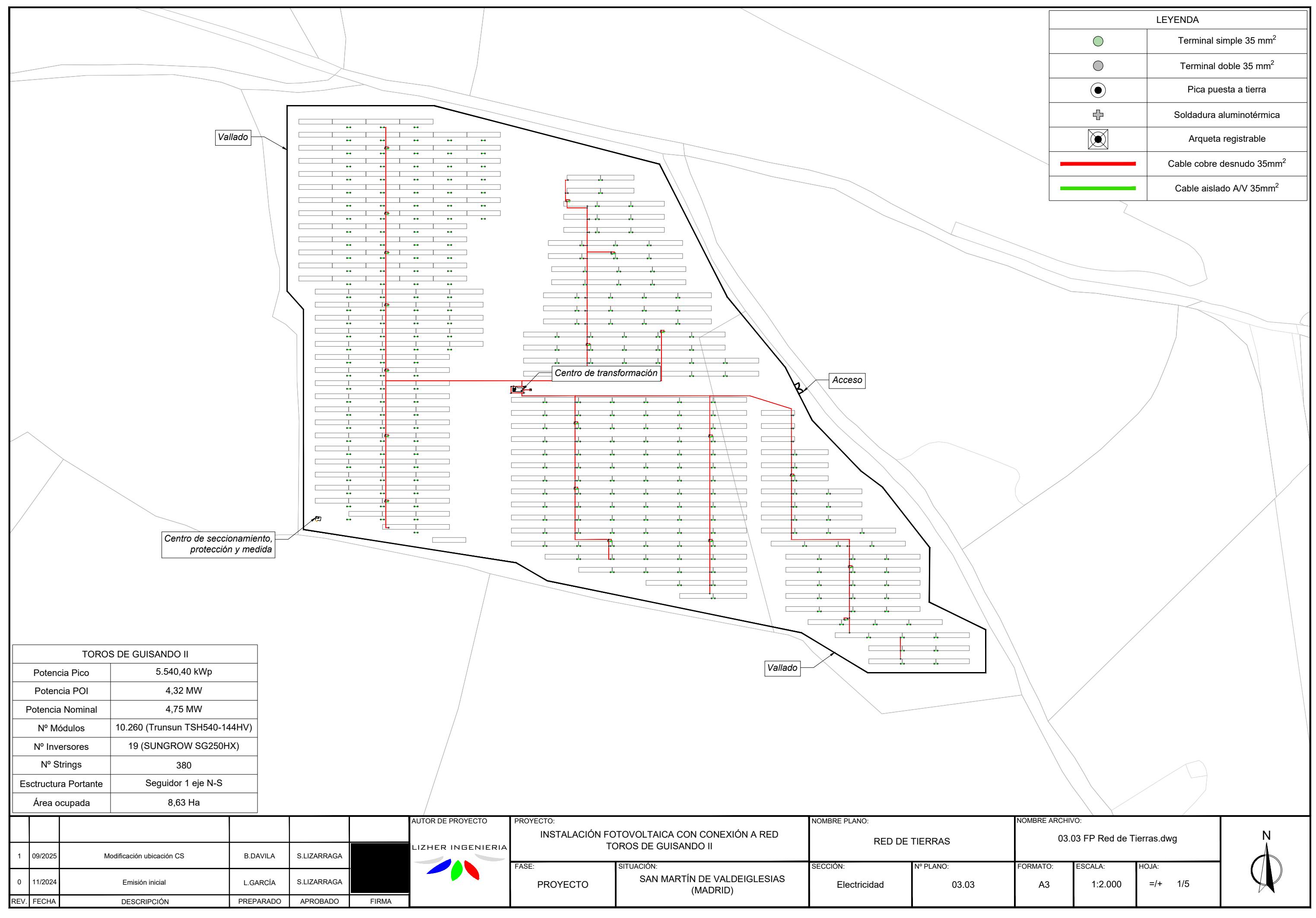


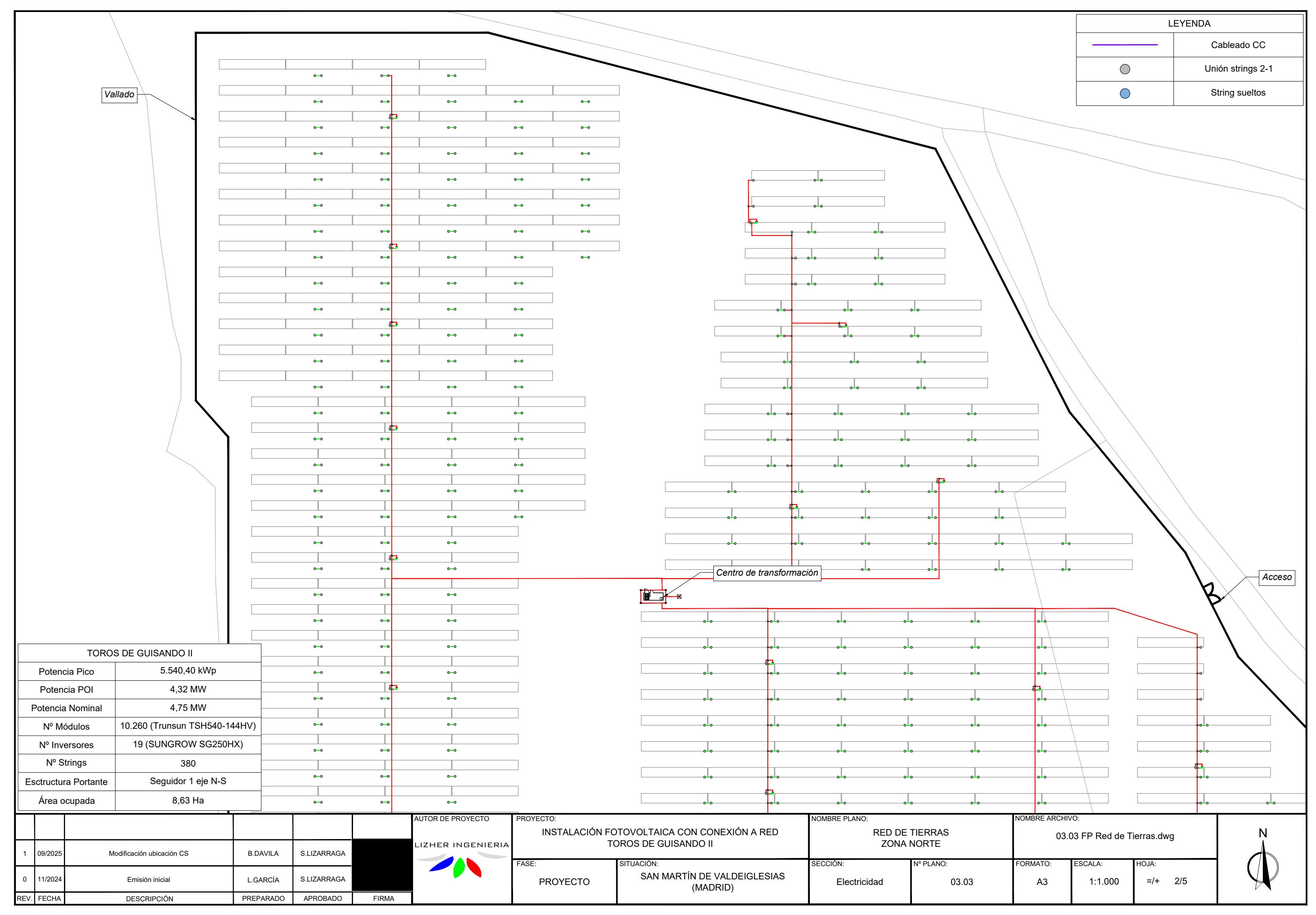
Centro de transformación

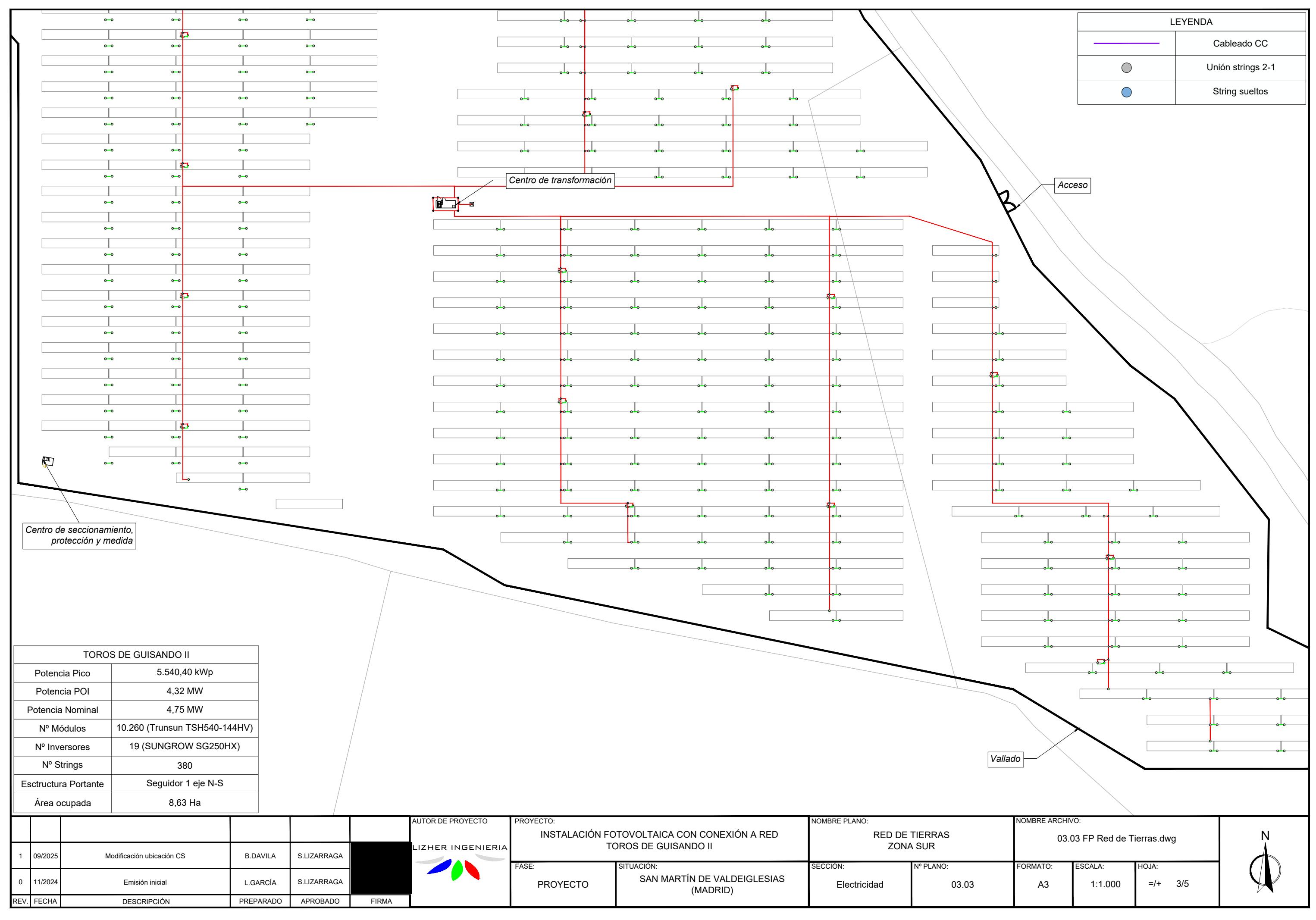
TOROS DE GUISANDO II	
Potencia Pico	5.540,40 kWp
Potencia POI	4,32 MW
Potencia Nominal	4,75 MW
Nº Módulos	10.260 (Trunsun TSH540-144HV)
Nº Inversores	19 (SUNGROW SG250HX)
Nº Strings	380
Esctructura Portante	Seguidor 1 eje N-S
Área ocupada	8,63 Ha

REV.	FECHA	DESCRIPCIÓN	PREPARADO	APROBADO	FIRMA	AUTOR DE PROYECTO	PROYECTO:	NOMBRE PLANO:	NOMBRE ARCHIVO:	N		
						LIZHER INGENIERIA	INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA CON CONEXIÓN A RED TOROS DE GUISANDO II					
1	09/2025	Modificación ubicación CS	B.DAVILA	S.LIZARRAGA			FASE: PROYECTO	NOMBRE PLANO: CABLEADO CA ZONA NORTE	NOMBRE ARCHIVO: 03.02 FP Cableado CA.dwg			
0	11/2024	Emisión inicial	L.GARCIA	S.LIZARRAGA								
								SECCIÓN: Electricidad	Nº PLANO: 03.02	FORMATO: A3	ESCALA: 1.1000	HOJA: =/+ 2/3





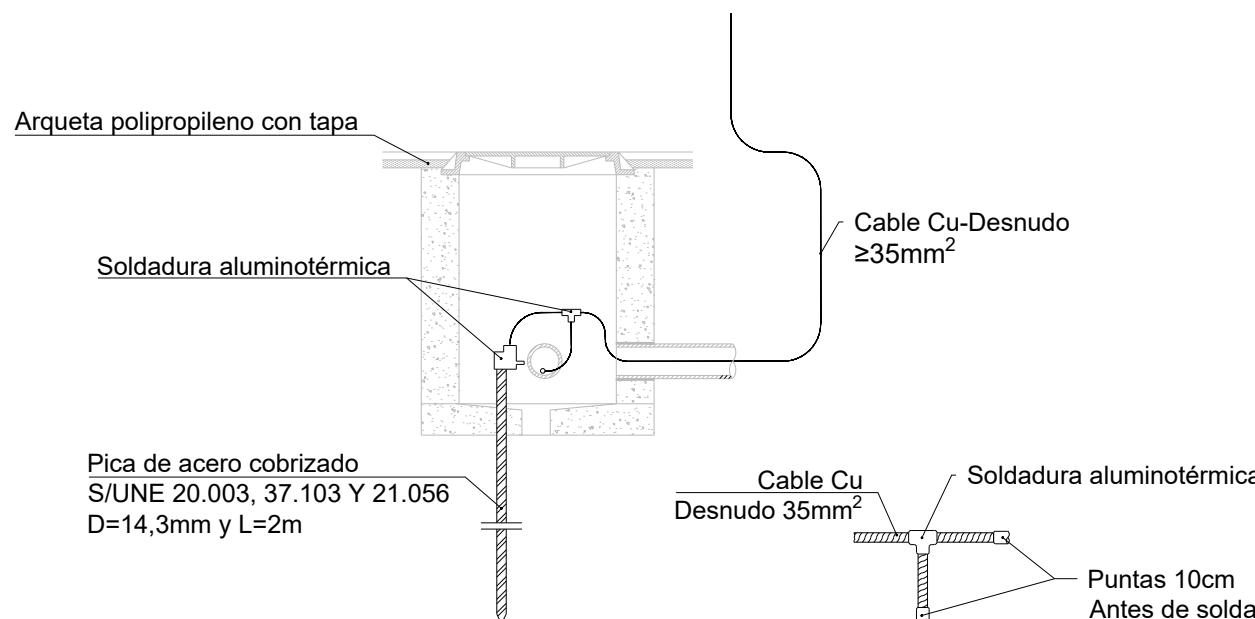




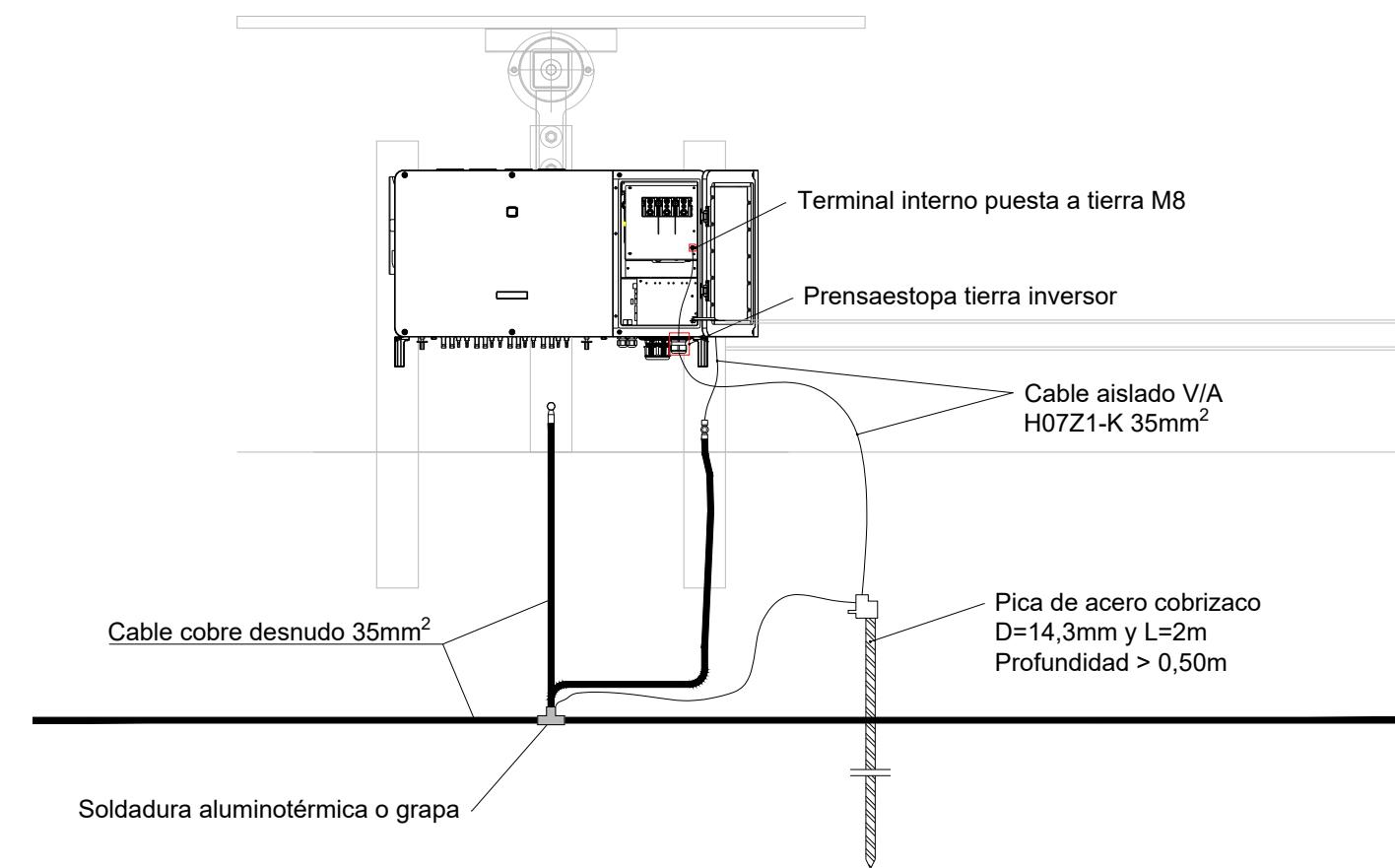
DETALLE DE TOMA DE TIERRA EN ARQUETA REGISTRABLE

*La sección de los conductores, el sistema de unión y sistema estará de acuerdo con la ITC-BT-18.

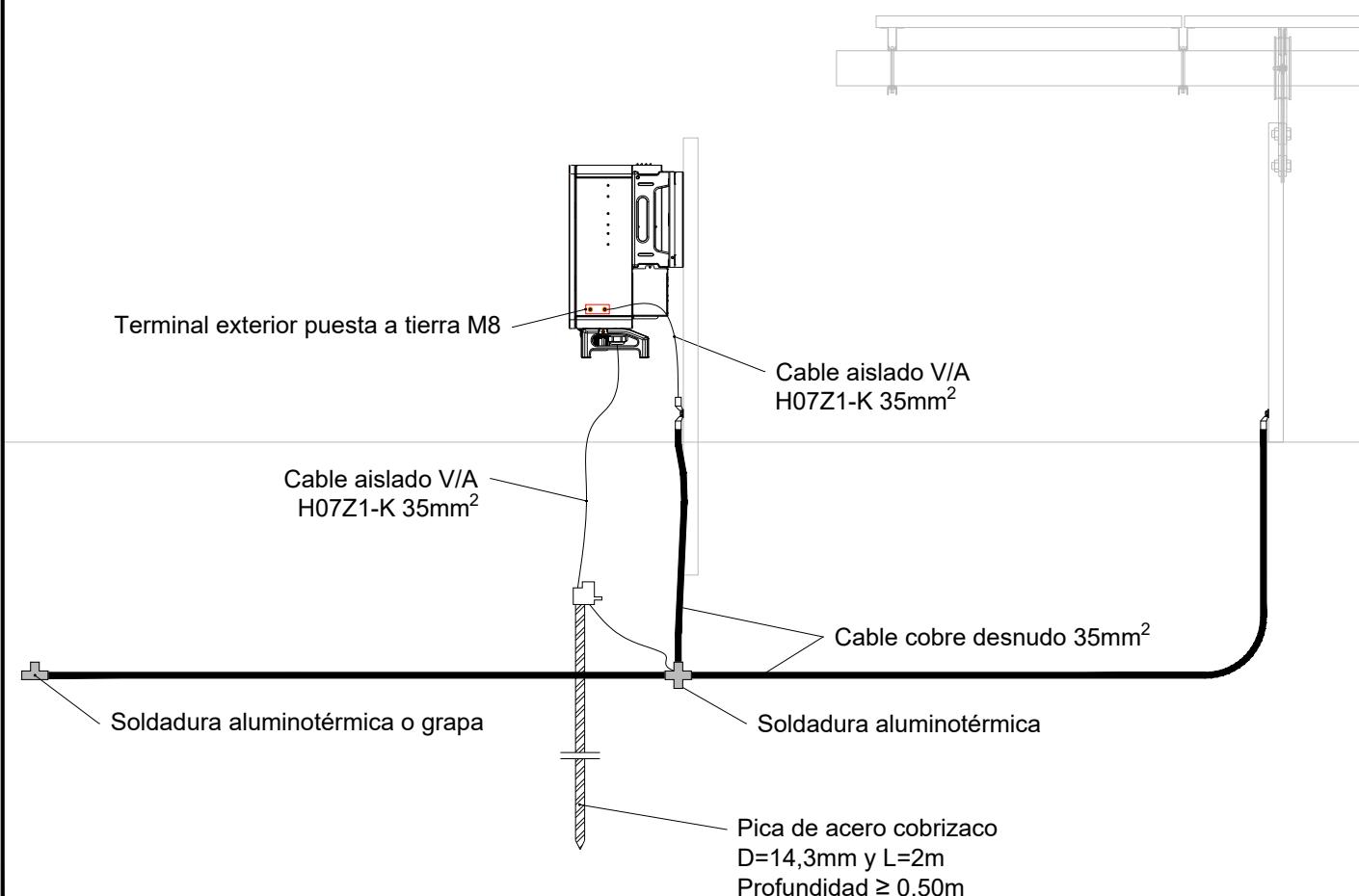
*La resistencia máxima del sistema será igual o inferior a 10 Ω.



DETALLE DE TOMA DE TIERRA EN INVERSOR DE STRINGS

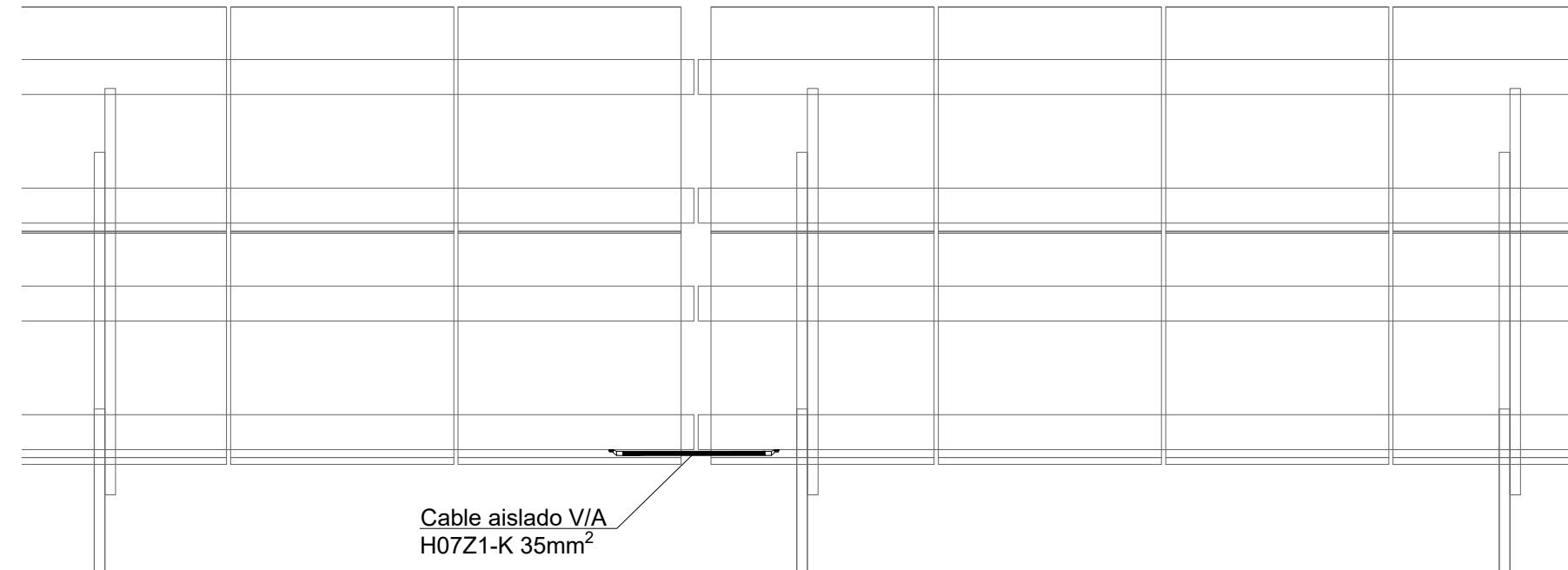


DETALLE DE TOMA DE TIERRA EN INVERSOR DE STRINGS (PERFIL)

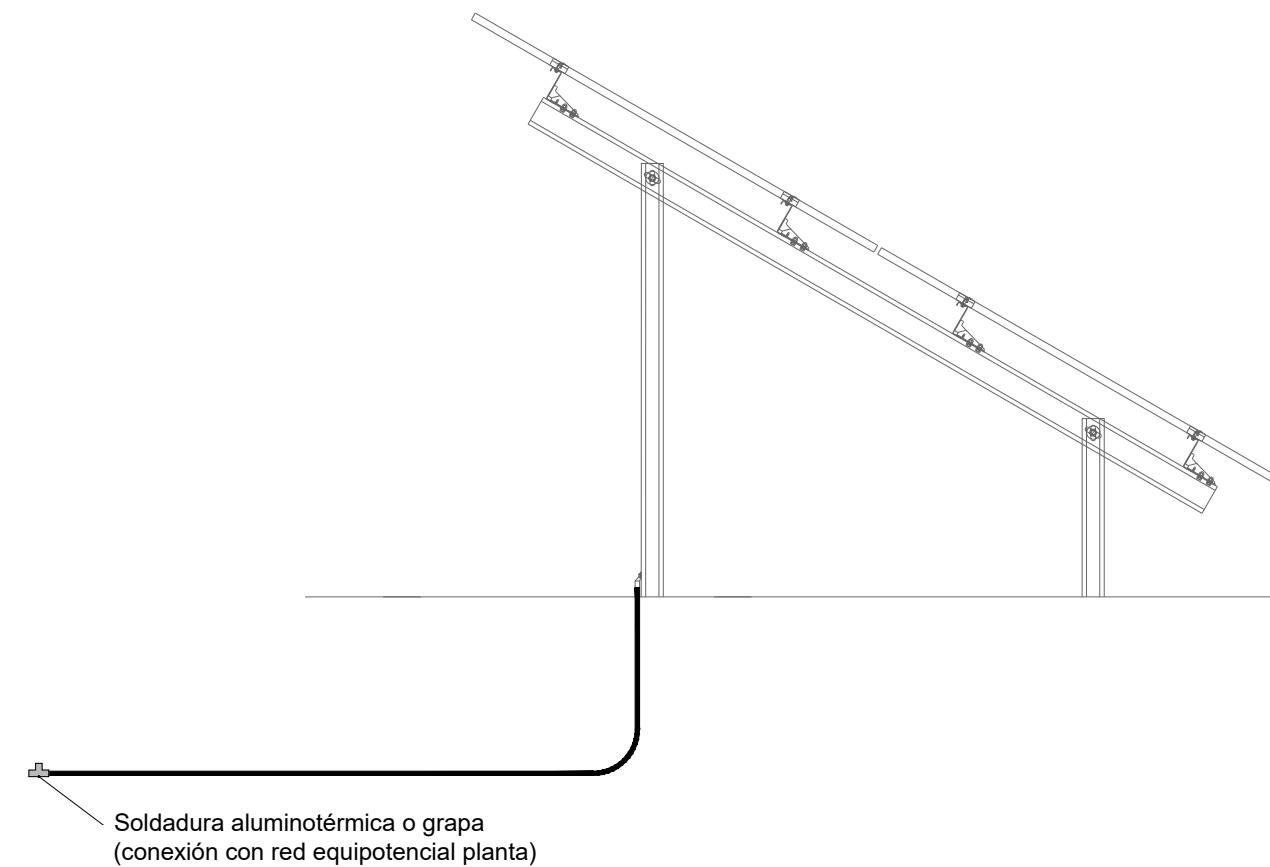


REV.	FECHA	DESCRIPCIÓN	PREPARADO	APROBADO	FIRMA	AUTOR DE PROYECTO	PROYECTO:	NOMBRE PLANO:	NOMBRE ARCHIVO:	FORMATO:	ESCALA:	HOJA:	N
						LIZHER INGENIERIA	INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA CON CONEXIÓN A RED TOROS DE GUISENDO II	RED DE TIERRAS DETALLES (1/2)	03.03 FP Red de Tierras.dwg				
1	09/2025	Modificación ubicación CS	B.DAVILA	S.LIZARRAGA		FASE:	PROYECTO	SITUACIÓN:	SECCIÓN:	Nº PLANO:			
0	11/2024	Emisión inicial	L.GARCIA	S.LIZARRAGA				SAN MARTÍN DE VALDEIGLESIAS (MADRID)	Electricidad	03.03	A3	-	=/+ 4/5

DETALLE DE PUESTA A TIERRA EN SEGUIDORES N-S



DETALLE DE PUESTA A TIERRA ESTRUCTURA A RED GENERAL



REV.	FECHA	DESCRIPCIÓN	PREPARADO	APROBADO	FIRMA	AUTOR DE PROYECTO	PROYECTO:	NOMBRE PLANO:	NOMBRE ARCHIVO:	FORMATO:	ESCALA:	HOJA:	N
						LIZHER INGENIERIA	INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA CON CONEXIÓN A RED TOROS DE GUISENDO II						
1	09/2025	Modificación ubicación CS	B.DAVILA	S.LIZARRAGA									
0	11/2024	Emisión inicial	L.GARCIA	S.LIZARRAGA			FASE: PROYECTO	SITUACIÓN: SAN MARTÍN DE VALDEIGLESIAS (MADRID)	SECCIÓN: Electricidad	Nº PLANO: 03.03	A3	-	=/+ 5/5