

**ADENDA**

**CÁLCULO PUESTA A TIERRA y  
DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE  
CONTROL**



COLEGIO OFICIAL DE PERITOS E INGENIEROS TÉCNICOS  
INDUSTRIALES DE ARAGÓN  
VISADO : VIZA224048  
<http://cogitaragon.es/visado.nsf/ValidarCSV.asp?x7CSV=MM2VL0C3CkFC78D5>


10/5  
2022

Habilitación Profesional Coleg: 7480 (al servicio de la empresa)  
MARTINEZ TRUEBA, JOSE RAMON

|   |   |  |
|---|---|--|
|  | <p style="text-align: center;"><b>PARQUE FOTOVOLTAICO "MITRA"<br/>ZARAGOZA (ZARAGOZA)</b></p> | <p style="text-align: center;">MAYO<br/>2022</p> |
|---|---|--|

## ÍNDICE ANEXO N°2

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1. ANTECEDENTES Y OBJETO .....</b>   | <b>2</b>  |
| <b>2. CÁLCULO PUESTA A TIERRA.....</b>  | <b>2</b>  |
| 2.1    NORMATIVA APLICABLE.....   | 2         |
| 2.2    resumen de valores de ensayo de resistividad eléctrica del terreno. .... | 2         |
| 2.3    DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE TIERRAS.....                                  | 3         |
| 2.3.1    DEFINICIONES .....   | 3         |
| 2.3.2    RED DE PUESTA A TIERRA DEL PARQUE.....                                 | 4         |
| 2.3.3    RED DE TIERRAS EN BAJA TENSIÓN. ....                                   | 4         |
| 2.3.3.1    CÁLCULO DE LA RESISTENCIA DE TOMA DE TIERRA.....                     | 5         |
| 2.3.4    RED DE TIERRAS EN MEDIA TENSIÓN.....                                   | 6         |
| 2.3.4.1    CÁLCULO DE LA TENSIÓN DE CONTACTO Y PASO APLICADA.....               | 6         |
| 2.3.5    JUSTIFICACIÓN RED DE TIERRAS.....                                      | 10        |
| <b>3. DESCRIPCIÓN SISTEMA DE CONTROL UTILIZADO.....</b>                         | <b>11</b> |
| 3.1    NORMATIVA APLICABLE.....   | 11        |
| 3.2    DESCRIPCIÓN DEL DISEÑO DE LA INSTALACIÓN. ....                           | 12        |
| 3.3    DESCRIPCIÓN DEL sistema de control utilizado. ....                       | 13        |
| 3.4    HOJA CARACTERÍSTICAS SISTEMA DE CONTROL.....                             | 16        |
| <b>4. PLANOS .....</b>  | <b>17</b> |

|  |
|--|
|   |
| <p style="font-size: small;">COLEGIO OFICIAL DE PERITOS E INGENIEROS TÉCNICOS<br/>INDUSTRIALES DE ARAGÓN<br/>VISADO : VIZA224048<br/><a href="http://cogitaragon.es/visado/verValidarCSV.asp?x7CSV=NM2VL0C3CkFC78D5">http://cogitaragon.es/visado/verValidarCSV.asp?x7CSV=NM2VL0C3CkFC78D5</a></p> |
| <p>10/5<br/>2022</p>   |
| <p>Habilitación Coleg: 7480 (al servicio de la empresa)<br/>Profesional MARTINEZ TRUEBA, JOSE RAMON</p>  |

|   |  |                                     |
|---|--|-------------------------------------|
|  | <p align="center"><b>PARQUE FOTOVOLTAICO "MITRA"<br/>ZARAGOZA (ZARAGOZA)</b></p> | <p align="center">MAYO<br/>2022</p> |
|---|--|-------------------------------------|

## **1. ANTECEDENTES Y OBJETO**

En fecha 8 de febrero de 2022 se visó el proyecto Parque Fotovoltaico "Mitra", en el término municipal de Zaragoza, con número de visado VIZA221351, suscrito por el ingeniero Jose Ramón Martínez Trueba, con N° 7480 del Colegio Oficial de Peritos e Ingenieros Técnicos Industriales de Aragón (COGITIAR).

Se redacta el presente documento para dar respuesta a los requerimientos solicitados por el Servicio Provincial de Industria, Competitividad y Desarrollo Empresarial de Zaragoza.

Esta adenda tiene como objeto describir las características de la red de puesta a tierra de la planta fotovoltaica "Mitra", y la descripción del sistema de control utilizado en la planta.

## **2. CÁLCULO PUESTA A TIERRA**

### 2.1 NORMATIVA APLICABLE

Para definir las características de la red de tierras se ha tomado como referencia la siguiente normativa:

- RD 223/2008, de 15 de febrero, por el que se aprueban el Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en líneas eléctricas de alta tensión y sus instrucciones técnicas complementarias
- Real Decreto 337/2014, de 9 de mayo, por el que se aprueban el Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en instalaciones eléctricas de alta tensión y sus Instrucciones Técnicas Complementarias ITC-RAT 01 a 23.
- Real Decreto 842/2002, de 2 de agosto, por el que se aprueba el Reglamento electrotécnico para baja tensión.

### 2.2 RESUMEN DE VALORES DE ENSAYO DE RESISTIVIDAD ELÉCTRICA DEL TERRENO.

A pesar de no haber realizado el estudio geotécnico del terreno, se han utilizado los valores obtenidos del estudio geotécnico de otros proyectos promovidos por ENERLAND, situados en la misma zona. En función de los resultados obtenidos mediante ensayos en el mes de noviembre del 2.021 el terreno tiene un valor medio de resistividad en esa zona de 169  $\Omega$  m. Para realizar un correcto dimensionamiento de la red de tierras teniendo en



COLEGIO OFICIAL DE PERITOS E INGENIEROS TÉCNICOS  
INDUSTRIALES DE ARAGÓN  
VISADO : VIZA224048  
<http://cohitiaargon.es/visado/newValidarCSV.asp?x7CSV=MM2VL0C3CkFC78D5>

10/5  
2022

Habilitación Profesional Coleg: 7480 (al servicio de la empresa)  
MARTINEZ TRUEBA, JOSE RAMON

|   |   |  |
|---|---|--|
|  | <p style="text-align: center;"><b>PARQUE FOTOVOLTAICO “MITRA”<br/>ZARAGOZA (ZARAGOZA)</b></p> | <p style="text-align: center;">MAYO<br/>2022</p> |
|---|---|--|


cuenta que las diferencias de humedad y temperatura pueden afectar sensiblemente al valor obtenido se considerará para la definición de la planta el valor máximo medido de 199,2  $\Omega$  m.

## 2.3 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE TIERRAS

### 2.3.1 DEFINICIONES

El objetivo principal de un sistema de tierras es proteger a las personas frente a las tensiones de paso y contacto que se puedan presentar en caso de una falla del sistema.

- Puesta a tierra: Es la unión eléctrica directa, sin fusibles ni protección alguna, de una parte del circuito eléctrico o de una parte conductora no perteneciente al mismo mediante una toma de tierra con un electrodo o grupo de electrodos enterrados en el suelo.
- Toma de tierra: Electrodo de tierra individual o un conjunto de electrodos de tierra.
- Conductor de tierra: Conductor de protección que une el borne principal de tierra con la toma de tierra.
- Borne principal de tierra: Borne o barra que forma parte de la puesta a tierra de protección de una instalación, previsto para la conexión a tierra de los conductores de protección, incluidos los conductores de conexión equipotencial.
- Masa: Parte conductora de un equipamiento eléctrico que puede ser tocada y que normalmente no está bajo tensión pero que puede ser puesta bajo tensión en caso de falla del aislamiento principal. No se considera masa una parte conductora de un equipamiento eléctrico que sólo puede ser puesto bajo tensión a través de otra masa.
- Tensión de contacto: Es la diferencia de potencial entre el aumento de potencial a tierra (GPR) y el potencial en la superficie, en un punto donde la persona está de pie y al mismo tiempo hace contacto con la mano en una estructura aterrizada.
- Tensión de paso: Es la diferencia de potencial en la superficie del suelo experimentado por una persona a una distancia de 1 metro sin tener contacto con cualquier objeto aterrizado.

|  |
|--|
|   |
| <p style="text-align: center;">COLEGIO OFICIAL DE PERITOS E INGENIEROS TÉCNICOS<br/>INDUSTRIALES DE ARAGÓN<br/>VISADO : VIZA224048<br/><a href="http://cohitaragon.e-visado.net/ValidarCSV.aspx?XCSV=MM2VL0C3CkFC78D5">http://cohitaragon.e-visado.net/ValidarCSV.aspx?XCSV=MM2VL0C3CkFC78D5</a></p> |
| <p>10/5<br/>2022</p>   |
| <p>Habilitación Coleg: 7480 (al servicio de la empresa)<br/>Profesional MARTINEZ TRUEBA, JOSE RAMON</p>  |

|   |  |                                     |
|---|--|-------------------------------------|
|  | <p align="center"><b>PARQUE FOTOVOLTAICO “MITRA”<br/>ZARAGOZA (ZARAGOZA)</b></p> | <p align="center">MAYO<br/>2022</p> |
|---|--|-------------------------------------|

### 2.3.2 RED DE PUESTA A TIERRA DEL PARQUE

La instalación de puesta a tierra de la planta fotovoltaica está formada por una red que une todas las estructuras eléctricas con un conductor de tierra enterrado bajo zanja, así como la puesta a tierra de centros de transformación, centros de entrega y/o seccionamiento

### 2.3.3 RED DE TIERRAS EN BAJA TENSIÓN.

La red de tierras de baja tensión se compone de la puesta a tierra de los paneles solares fotovoltaicos, las estructuras soporte seguidor y los inversores de string. Se realiza mediante la toma a tierra de grupos de electrodos enterrados en el suelo, y conectados mediante conductor de cobre, que se tenderá por las zanjas de BT. A este conductor se unirá toda la estructura metálica y el neutro del sistema de BT. Los conductores horizontales se dispondrán por las bandejas metálicas de cables de las estructuras. Se colocarán:

- Picas de acero recubierto de cobre de 2 metros de longitud y diámetro de 14 mm<sup>2</sup> en cada inversor, en los transformadores de SSAA y a lo largo del vallado perimetral.
- Conductor de cobre desnudo de 35mm<sup>2</sup> de sección para la red de tierra equipotencial de los seguidores fotovoltaicos.
- Conductor de cobre de 35 mm<sup>2</sup> para la puesta a tierra de los paneles fotovoltaicos y los inversores.

Además, las masas de la instalación estarán conectadas al borne principal de tierra mediante conductores de protección. Esta red de tierras será independiente de la de la compañía distribuidora, según el REBT. La sección de los conductores de protección será la indicada en la Tabla 53 en el caso de que los conductores de protección hayan sido fabricados del mismo material que los conductores activos, o de sección cuya conductividad resulte equivalente a la proporcionada por las secciones de dicha tabla.

*Tabla 53: Relación entre las secciones de los conductores de protección y los de fase. Fuente: ITC-BT-18*

| Sección de los conductores de fase de la instalación<br>S (mm <sup>2</sup> ) | Sección mínima de los conductores de protección<br>S <sub>p</sub> (mm <sup>2</sup> ) |
|--|--|
| S ≤ 16   | S <sub>p</sub> = S   |
| 16 < S ≤ 35  | S <sub>p</sub> = 16  |
| S > 35   | S <sub>p</sub> = S/2   |



COLEGIO OFICIAL DE PERITOS E INGENIEROS TÉCNICOS  
INDUSTRIALES DE ARAGÓN  
VISADO : VIZA224048  
<http://cotitarragona.e-visado.net/ValidarCSV.aspx?XCSV=MM2VL0C3C6KFC78D5>

10/5  
2022

Habilitación Coleg. 7480 (al servicio de la empresa)  
Profesional MARTINEZ TRUEBA, JOSE RAMON

Los conductores de tierra que conforman la red radial del PFV y que van enterrados en las zanjas de BT junto con el resto de los conductores, serán cables de cobre de 50mm<sup>2</sup> de sección

### 2.3.3.1 CÁLCULO DE LA RESISTENCIA DE TOMA DE TIERRA

Los electrodos de la toma de tierra pueden estar compuesto de barras, conductores desnudos, placas, mallas o anillos, armaduras de hormigón, u otras estructuras enterradas. La profundidad de las tomas de tierra debe ser tal que las condiciones de humedad y temperatura del suelo no aumente la resistencia por encima del valor previsto. En cualquier caso, la profundidad mínima es de 0,50 metros. El valor de la resistencia de las tomas de tierra debe diseñarse de forma que la masa no pueda dar lugar a tensiones de contacto superiores a 24 V. 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 | $R_c = \frac{2\rho}{L}$   |
| Malla de tierra                     | $R_{malla} = \frac{\rho}{4\sqrt{\frac{S}{\pi}}} + \frac{\rho}{L}$ |

Donde:

- $\rho$  = Resistividad del terreno (Ω·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<sup>2</sup>)

La resistividad del terreno es un dato que se determinará en detalle a partir de su propio estudio en la unidad geológica de la zona de implantación. No obstante, como primera aproximación y como se ha explicado en el punto 2.2 se ha estimado un valor de resistividad del terreno para el presente estudio de  $\rho = 199 \Omega \cdot m$ .

En el caso de malla de tierra, se tiene:

$$R_T[\Omega] = R_{malla} = \frac{\rho}{4 * \sqrt{\frac{S}{\pi}}} + \frac{\rho}{L} = 0,1134$$

|   |   |  |
|---|---|--|
|  | <p style="text-align: center;"><b>PARQUE FOTOVOLTAICO "MITRA"<br/>ZARAGOZA (ZARAGOZA)</b></p> | <p style="text-align: center;">MAYO<br/>2022</p> |
|---|---|--|

Siendo  $S = 110.130 \text{ m}^2$ ,  $L = 4.237 \text{ m}$  y  $\rho = 199 \Omega \cdot \text{m}$ .

A partir de este valor se puede calcular la tensión de contacto, que deberá cumplir la condición:

$$V_D [V] = I_D * R_T \leq 24 V$$

Donde:

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

La corriente de defecto a tierra viene limitada por el interruptor diferencial que porta el lado de baja tensión del centro de transformación. En el caso que nos ocupa, el inversor va equipado con protección GFDI de 300 mA, según la norma IEC 62109-2.

Por tanto, se cumple:


$$V_D = 0,034 V \leq 24 V$$

### 2.3.4 RED DE TIERRAS EN MEDIA TENSIÓN.

La red de tierras de media tensión se compone de la puesta a tierra de los centros de transformación (Power Stations), entrega y/o seccionamiento. Para su cálculo es necesario determinar las tensiones de paso y de contacto, las cuales servirán de referencia cuando sean comprobadas en el momento de la puesta en marcha de la planta fotovoltaica. De acuerdo con la ITC-RAT-13, los centros de transformación deben tener su puesta a tierra individual, separada de la instalación de tierra general, con el fin de evitar posibles tensiones peligrosas para las personas o instalaciones. Complementariamente a la puesta a tierra de los CTs, se tenderán conductores de tierra de cobre desnudo por las zanjas de los circuitos de MT, los cuales tendrán una sección de 50mm<sup>2</sup>.

#### 2.3.4.1 CÁLCULO DE LA TENSIÓN DE CONTACTO Y PASO APLICADA

La tensión de contacto aplicada ( $V_{ca}$ ) admisible es la tensión a la que puede estar sometido el cuerpo humano entre una mano y los pies. Los valores admisibles de esta tensión se muestran en la siguiente tabla:

|  |
|--|
| <b>COGITAR</b>   |
|   |
| <small>COLEGIO OFICIAL DE PERITOS E INGENIEROS TÉCNICOS<br/>INDUSTRIALES DE ARAGÓN</small><br><b>VISADO : VIZA224048</b><br><small>http://cogitaragon.e-visado.neb/ValidarCSV.asp?x7CSV=MM2VL0C3CkFC78D5</small> |
| <b>10/5</b><br><b>2022</b>   |
| <small>Habilitación Coleg: 7480 (al servicio de la empresa)</small><br><b>Profesional MARTINEZ TRUEBA, JOSE RAMON</b>  |

|   |   |  |
|---|---|--|
|  | <p style="text-align: center;"><b>PARQUE FOTOVOLTAICO “MITRA”<br/>ZARAGOZA (ZARAGOZA)</b></p> | <p style="text-align: center;">MAYO<br/>2022</p> |
|---|---|--|

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

**Tabla 1.** Valores admisibles de la tensión de contacto aplicada  $U_{ca}$  en función de la duración de la corriente de falta  $t_f$ . Fuente: ITC-RAT 13.

La tensión de paso aplicada ( $V_{pa}$ ) admisible es la tensión a la que puede estar sometido el cuerpo humano entre los dos pies, considerando únicamente la propia impedancia del cuerpo humano sin resistencias adicionales como las de contacto con el terreno o las del calzado.

Se define como:

$$V_{pa} [V] = 10 V_{ca}$$

Considerando un tiempo de duración de falta de 0,2 segundos, se tiene  $V_{ca} = 528$  V.

#### 2.3.4.2 CÁLCULO DE LAS TENSIONES DE CONTACTO Y PASO MÁXIMAS ADMISIBLES

La tensión de contacto ( $V_C$ ) y la tensión de paso ( $V_P$ ) son las tensiones máximas admisibles en la instalación que garantizan la seguridad de las personas, considerando resistencias adicionales (por ejemplo, resistencia a tierra del punto de contacto, calzado, presencia de superficies de material aislante).

Para determinar las tensiones de contacto y paso admisibles se podrán emplear las expresiones siguientes:

$$V_C [V] = V_{CA} * \left(1 + \frac{Ra1 + 1,5 * \rho_s}{1000}\right) \qquad V_P [V] = 10 * V_{CA} * \left(1 + \frac{2 * Ra1 + 6 * \rho_s}{1000}\right)$$

Donde:

- $Ra1$  = Resistencia equivalente del calzado de un pie cuya suela sea aislante. Se puede emplear como valor 2.000  $\Omega$  (ITC-RAT-13)



COLEGIO OFICIAL DE PERITOS E INGENIEROS TÉCNICOS INDUSTRIALES DE ARAGÓN  
 VISADO : VIZA224048  
<http://cogitaragon.es/Visado.nsf/ValidarCSV.asp?x7CSV=MM2VL0C36KFC78D5>

10/5  
2022

Habilitación Coleg: 7480 (al servicio de la empresa)  
 Profesional MARTINEZ TRUEBA, JOSE RAMON



- $\rho_s$  = Resistividad superficial del terreno ( $\Omega \cdot m$ ), estimada en  $199 \Omega \cdot m$

Para conocer la resistividad superficial del terreno es necesario un estudio de las características del suelo emplazamiento de la instalación. Según el Reglamento de AT, para instalaciones de 3ª categoría y de intensidad de cortocircuito a tierra inferior o igual a 15 kA no será obligatorio realizar la investigación previa de la resistividad del suelo, bastando el examen visual del terreno y pudiéndose estimar su resistividad por medio de la Tabla 56.

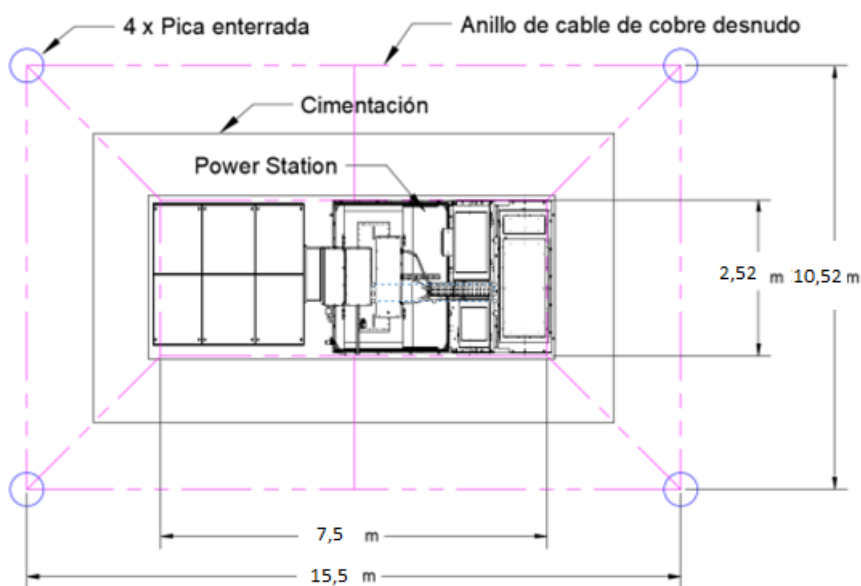
Así, los valores resultantes de las tensiones de contacto y paso son:

$$V_c = 1.742,4 \text{ V}$$

$$V_p = 32.736,0 \text{ V}$$

#### 2.3.4.3 CÁLCULO DE LA RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA DEL CT.

La puesta a tierra de los centros de transformación, entrega y/o seccionamiento está formada por un anillo de 4 picas verticales de acero recubierto de cobre de 2 metros de longitud y diámetro de 14 mm<sup>2</sup>, dispuestas en el exterior de las esquinas del centro y unidas entre ellas por un conductor de cobre desnudo de 50 mm<sup>2</sup> de sección. También se dispone un anillo interior de Cu desnudo de 50 mm<sup>2</sup> unido al anillo exterior por medio de una red radial que une las estructuras con un conductor de tierra. En la Ilustración 1 se puede observar la disposición de tierras descrita: ede observar la disposición de tierras descrita:



**Ilustración 1.** Puesta a tierra del centro de transformación.

|   |  |                                     |
|---|--|-------------------------------------|
|  | <p align="center"><b>PARQUE FOTOVOLTAICO "MITRA"<br/>ZARAGOZA (ZARAGOZA)</b></p> | <p align="center">MAYO<br/>2022</p> |
|---|--|-------------------------------------|

La fórmula utilizada para determinar la resistencia de puesta a tierra es la siguiente:

$$R_T[\Omega] = R_{malla} = \frac{\rho}{4 * \sqrt{\frac{S}{\pi}}} + \frac{\rho}{L}$$


Donde:

- $\rho$  = Resistividad del terreno, estimada en  $199 \Omega \cdot m$
- L = Longitud total de los conductores enterrados (m)
- S = Superficie cubierta por la malla ( $m^2$ )

Siendo S =  $163,06 m^2$  , L =  $98,6 m$  y  $\rho = 199 \Omega \cdot m$

Con los valores indicados se obtiene una resistencia de:

$$R_T[\Omega]=8,92$$

|   |
|---|
|    |
| <p align="center">COLEGIO OFICIAL DE PERITOS E INGENIEROS TÉCNICOS<br/>INDUSTRIALES DE ARAGÓN<br/>VISADO : VIZA224048<br/><a href="http://cogitaragon.e-visado.nev/ValidarCSV.aspx?XCSV=MM2VL0C3CkFC78D5">http://cogitaragon.e-visado.nev/ValidarCSV.aspx?XCSV=MM2VL0C3CkFC78D5</a></p> |
| <p align="center">10/5<br/>2022</p>   |
| <p>Habilitación Profesional Coleg: 7480 (al servicio de la empresa)<br/>MARTINEZ TRUEBA, JOSE RAMON</p>   |

|   |  |                                     |
|---|--|-------------------------------------|
|  | <p align="center"><b>PARQUE FOTOVOLTAICO "MITRA"<br/>ZARAGOZA (ZARAGOZA)</b></p> | <p align="center">MAYO<br/>2022</p> |
|---|--|-------------------------------------|

### 2.3.5 JUSTIFICACIÓN RED DE TIERRAS.

La instalación de puesta a tierra une todas las partes metálicas de la instalación no destinadas a conducir la corriente eléctrica con una derivación final o toma de tierra, de manera que en ningún punto normalmente accesible (interior o exterior) de la instalación eléctrica pueda presentarse una tensión peligrosa para las personas o para la propia instalación.

Los cálculos mostrados en el presente documento conforman el diseño preliminar de la instalación de tierra, no obstante la instalación debe ser calculada en mayor detalle en el proyecto constructivo.


Una vez construida la instalación de tierra, se harán las comprobaciones y verificaciones precisas in situ, y se efectuarán los cambios necesarios que permitan alcanzar valores de tensión aplicada inferiores o iguales a los máximos admitidos. El director de Obra deberá verificar que las tensiones de paso y contacto aplicadas están dentro de los límites admitidos, así como los cálculos de las resistencias de puesta a tierra.

Las instalaciones de tierra serán comprobadas en el momento de su establecimiento y revisadas por empresas instaladoras o por empresas de producción, transporte y distribución de energía eléctrica en caso de que se trate de instalaciones de su titularidad, al menos, una vez cada tres años a fin de comprobar el estado de las mismas. Esta verificación consistirá en una inspección visual y en la medida de la resistencia de puesta a tierra

**Zaragoza, MAYO de 2022**  
El Ingeniero Industrial al servicio de  
**ENERLAND GENERACION SOLAR 23, S.L.**



José Ramón Martínez Trueba  
Colegiado 7480 COITAR

|   |
|---|
|    |
| <p align="center">COLEGIO OFICIAL DE PERITOS E INGENIEROS TÉCNICOS<br/>INDUSTRIALES DE ARAGÓN<br/>VISADO : VIZA224048<br/><small>http://coitiaragon.es/Visado.nue/ValidarCSV.asp?X7CSV=MM2VL0C3CkFC78D5</small></p> |
| <p align="center">10/5<br/>2022</p>   |
| <p>Habilitación Profesional Coleg: 7480 (al servicio de la empresa)<br/>MARTINEZ TRUEBA, JOSE RAMON</p>   |


|   |  |              |
|---|--|--------------|
|  | <b>PARQUE FOTOVOLTAICO "MITRA"<br/>ZARAGOZA (ZARAGOZA)</b> | MAYO<br>2022 |
|---|--|--------------|

### 3. DESCRIPCIÓN SISTEMA DE CONTROL UTILIZADO.

#### 3.1 NORMATIVA APLICABLE

Para definir las características del sistema de control utilizado se ha tomado como referencia la siguiente normativa:

- R.D. 337/2014, de 9 de mayo, por el que se aprueban el Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en instalaciones eléctricas de alta tensión y sus Instrucciones Técnicas Complementarias ITC-RAT 01 a 23.
- R.D. 223/2008, de 15 de febrero, por el que se aprueban el Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en líneas eléctricas de alta tensión y sus instrucciones técnicas complementarias ITC-LAT 01a 09.
- R.D. 1110/2007, de 24 de agosto, por el que se aprueba el Reglamento unificado de puntos de medida del sistema eléctrico.
- R.D. 842/2002 de 2 de agosto, por el que se aprueba el Reglamento electrotécnico para baja tensión y sus instrucciones técnicas complementarias ITC-BT.
- R.D. 1955/2000, de 1 de diciembre, por el que se regulan las actividades de transporte, distribución, comercialización, suministro y procedimientos de autorización de instalaciones de energía eléctrica.
- Ley 24/2013 de 26 de diciembre, del Sector Eléctrico.
- Ley 82/1980, de 30 de diciembre, sobre la Conservación de la Energía.
- Real Decreto 413/2014, de 6 de junio, por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica a partir de fuentes de energía renovables, cogeneración y residuos.
- Real Decreto 661/2007, de 25 de mayo por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial.
- Real Decreto 198/2010, de 26 de febrero, de modificación de diversas leyes para su adaptación a la ley sobre el libre acceso a las actividades de servicio y su ejercicio.
- Normas relativas a la Seguridad y Salud en el Trabajo, Construcción y Protección contra incendios en las instalaciones eléctricas de Alta y Baja Tensión.
- Real Decreto 1183/2020, de 29 de diciembre, de acceso y conexión a las redes de transporte y distribución de energía eléctrica.

|  |
|--|
|   |
| COLEGIO OFICIAL DE PERITOS E INGENIEROS TÉCNICOS<br>INDUSTRIALES DE ARAGÓN<br>VISADO : VIZA224048<br><a href="http://cohitangon.e-visado.net/ValidarCSV.aspx?XCSV=MM2VL0C3CKFC78D5">http://cohitangon.e-visado.net/ValidarCSV.aspx?XCSV=MM2VL0C3CKFC78D5</a> |
| 10/5<br>2022   |
| Habilitación Profesional Coleg: 7480 (al servicio de la empresa)<br>MARTINEZ TRUEBA, JOSE RAMON  |

|   |  |                                     |
|---|--|-------------------------------------|
|  | <p align="center"><b>PARQUE FOTOVOLTAICO "MITRA"<br/>ZARAGOZA (ZARAGOZA)</b></p> | <p align="center">MAYO<br/>2022</p> |
|---|--|-------------------------------------|

### 3.2 DESCRIPCIÓN DEL DISEÑO DE LA INSTALACIÓN.

Los inversores son los encargados de transformar la energía que proviene de los módulos en corriente continua a corriente alterna. En este proyecto se utilizarán inversores de string, los cuáles estarán limitados para cumplir los requerimientos de conexión, de manera que se suministren un máximo de 5 MW de potencia activa nominal en el punto de inyección (POI) a la red. Además, se debe dar esta potencia cumpliendo con el rango del factor de potencia (FP) de  $-0.9587$  a  $+0.9587$  que establece el Código de Red.

La planta se ha diseñado con un sobredimensionamiento en el número de inversores de string para que, además de compensar la energía reactiva consumida, sea capaz de generar la energía suficiente para cubrir las pérdidas que haya desde sus bornas hasta el POI (Transformadores, caídas de tensión en el cableado...).

Sin embargo, el proyecto se ha realizado para que además tenga la capacidad de instalar un sistema de compensación del tipo batería de condensadores o SATCOM, de hasta 1 MVar en caso de que fuese necesario o cambiasen los criterios de regulación de red.

Se van a utilizar inversores de 250 kVA de la marca Sungrow, los cuales reducen adecuadamente la potencia a la salida cuando la temperatura ambiente es alta, para garantizar un funcionamiento seguro. De esta manera, la potencia a la salida del inversor se ve modificada en función de la temperatura de operación como se puede ver en la gráfica de *Derating* del inversor que se muestra a continuación:

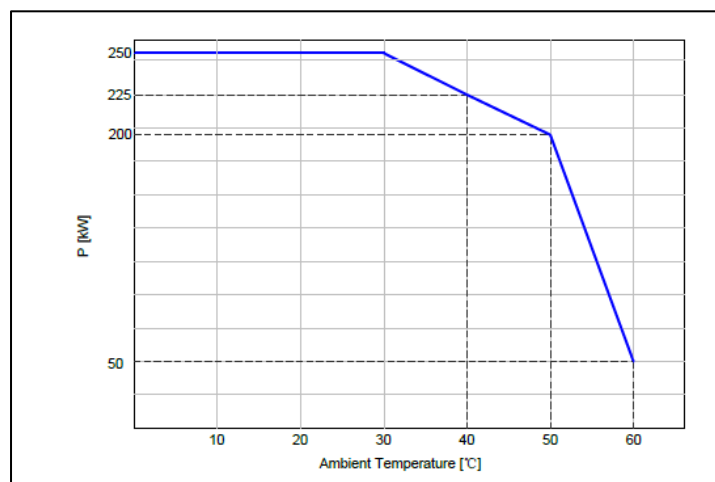


Ilustración 1. Gráfica del "Derating" del inversor de Sungrow.

**COGITAR**

COLEGIO OFICIAL DE PERITOS E INGENIEROS TÉCNICOS INDUSTRIALES DE ARAGÓN

VISADO : VIZA224048

10/5  
2022

Habilitación Coleg: 7480 (al servicio de la empresa)  
Profesional MARTINEZ TRUEBA, JOSE RAMON

<http://cogitaragon.es/visado/verValidarCSV.asp?x7CSV=MM2VL0C3CKFC78D5>

Según la información de datos meteorológicos de la zona, la temperatura de operación del inversor puede encontrarse en los 40°C por ello debemos considerar que la potencia suministrada por los inversores basándonos en la gráfica anterior es de 225 kW. Teniendo en cuenta estos parámetros, y considerando como pérdidas valores aproximados cercanos a los límites que establece la normativa, surge la siguiente tabla con la que se obtienen el número de inversores necesarios:

| CÁLCULO INVERSORES        |                                 | Potencia activa | Potencia reactiva |           | Potencia aparente   | Cos fi |            |        |
|---------------------------|---------------------------------|-----------------|-------------------|-----------|---------------------|--------|------------|--------|
| Pérdidas                  | Punto de la instalación         | P/kW            | Qind/kVAr         | Qcap/kVAr | S[Max. Of both]/kVA |        | N° Invers. | kW/kVA |
| Estimadas                 | Requerimiento punto de conexión | 5000            | -1500,4985        | 1500,4985 | 5220                | 0,9578 |            |        |
| 5,0%                      | Cableado de MT                  | 250             | -75,0249          | 75,0249   | 5481                |        |            |        |
| 1,0%                      | Transformador MT                | 50              | -15,0050          | 15,0050   | 5534                |        |            |        |
| 1,0%                      | Cableado de BT (AC)             | 50              | -15,0050          | 15,0050   | 5351                |        |            |        |
| Requerimientos inversores |                                 | 5350            | -105,0349         | 105,0349  | 5351                |        |            |        |
| Inversores instalados     |                                 | 5625            | 0                 | 0         | 5625                | 1      | 25         | 225    |

Con todo lo anteriormente mencionado, se necesitarán 25 inversores que suministran una potencia activa de 5.625 kW que siempre estará limitada mediante el controlador de inversores de la planta (PPC) para garantizar los 5 MWn establecidos en el punto de conexión. Con ello se garantiza tanto el cumplimiento del factor de potencia en el punto de inyección, como la limitación de potencia nominal que se puede suministrar, establecida en el punto de conexión concedido por Endesa.

### 3.3 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL UTILIZADO.

En cumplimiento de la disposición adicional primera del RD 1183/2020, el PFV dispondrá de un sistema de control, coordinado para todos los módulos de generación e instalaciones de almacenamiento que la integren, que impida que la potencia activa que éste pueda inyectar a la red supere su capacidad de acceso (5 MW). Este control se realizará mediante el Power Plant Controller (PPC), ubicado en el Centro de Transformación, y estará comunicado con todos los inversores de string de la planta gracias al cable de fibra óptica.

El controlador de planta fotovoltaica, PPC (de las siglas en inglés Power Plant Controller) se encuentra ubicado al lado de la celda de medida en el centro de transformación y permite:

- Gestionar la energía activa y reactiva para emparejar generación y consumo.
- Regular el factor de potencia en el punto de acoplamiento común.
- Regular el voltaje en el punto de acoplamiento común.
- Inyección de corriente reactiva durante caídas de voltaje o inmediatamente después de éstos.
- Inyectar / absorber energía reactiva por la noche.
- Controlar la potencia activa, regulación de frecuencia, control en rampa...
- Controlar ocasionalmente equipos adicionales como bancos de condensadores bobinas o baterías.



COLEGIO OFICIAL DE PERITOS E INGENIEROS TÉCNICOS  
INDUSTRIALES DE ARAGÓN  
VISADO : VIZA224048  
<http://cogitaragon.es/visado/newValidarCSV.asp?x7CSV=MM2VL0C3CkFC78D5>

10/5  
2022

Habilitación Coleg: 7480 (al servicio de la empresa)  
Profesional MARTINEZ TRUEBA, JOSE RAMON

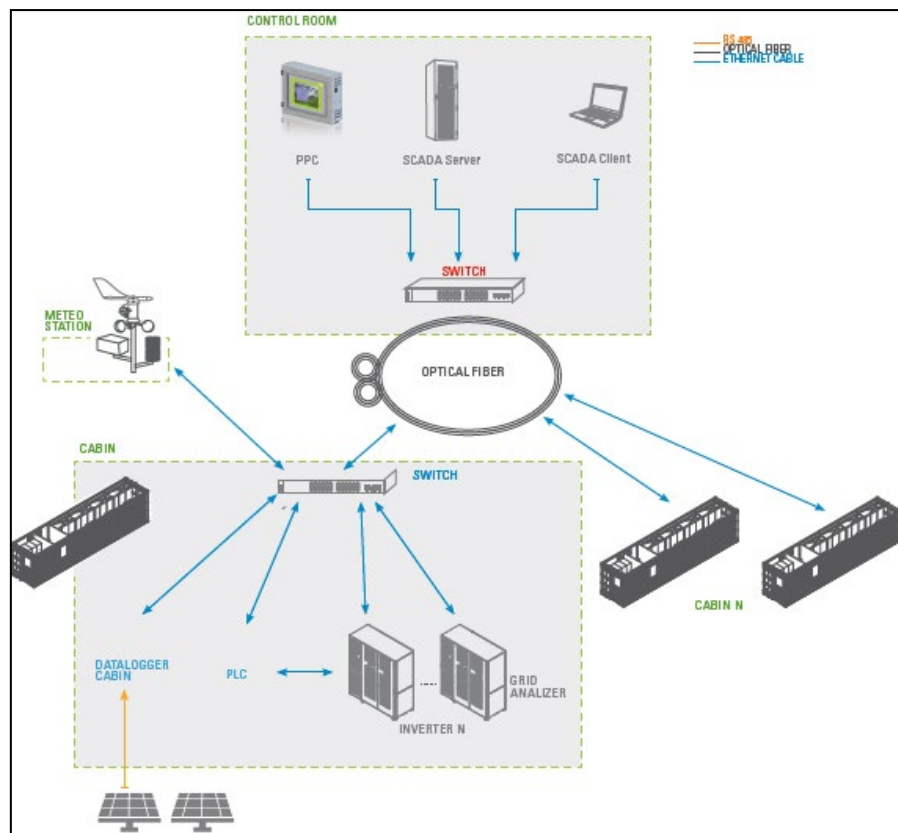



Ilustración 2. Gráfica de la comunicación de los diferentes elementos de la planta fotovoltaica.

|   |  |              |
|---|--|--------------|
|  | <b>PARQUE FOTOVOLTAICO "MITRA"<br/>ZARAGOZA (ZARAGOZA)</b> | MAYO<br>2022 |
|---|--|--------------|


Gracias a la comunicación del PPC con los inversores de la planta, este es capaz de regular la cantidad de potencia activa o reactiva que son capaces de suministrar los inversores, siendo esta potencia siempre inferior a la potencia concedida en el punto de conexión de Endesa.

|   |
|---|
|    |
| <b>COLEGIO OFICIAL DE PERITOS E INGENIEROS TÉCNICOS<br/>INDUSTRIALES DE ARAGÓN</b><br><b>VISADO : VIZA224048</b><br><a href="http://cogitaragon.es/visado.nsf/ValidarCSV.asp?x7CSV=MM2VL0C3CkFC78D5">http://cogitaragon.es/visado.nsf/ValidarCSV.asp?x7CSV=MM2VL0C3CkFC78D5</a> |
| 10/5<br>2022  |
| Habilitación Profesional Coleg: 7480 (al servicio de la empresa)<br>MARTINEZ TRUEBA, JOSE RAMON   |



|   |  |                                     |
|---|--|-------------------------------------|
|  | <p align="center"><b>PARQUE FOTOVOLTAICO "MITRA"<br/>ZARAGOZA (ZARAGOZA)</b></p> | <p align="center">MAYO<br/>2022</p> |
|---|--|-------------------------------------|

### 3.4 HOJA CARACTERÍSTICAS SISTEMA DE CONTROL

|   |   |                                     |   |
|---|---|-------------------------------------|---|
|  | <p align="center">COLEGIO OFICIAL DE PERITOS E INGENIEROS TÉCNICOS<br/>INDUSTRIALES DE ARAGÓN<br/>VISADO : VIZA224048<br/><a href="http://cogitaragon-e-visado.net/ValidarCSV.aspx?7CSV=MM2VL0C3CKFC78D5">http://cogitaragon-e-visado.net/ValidarCSV.aspx?7CSV=MM2VL0C3CKFC78D5</a></p> | <p align="center">10/5<br/>2022</p> | <p>Habilitación Profesional Coleg: 7480 (al servicio de la empresa)<br/>MARTINEZ TRUEBA, JOSE RAMON</p> |
|---|---|-------------------------------------|---|



COLEGIO OFICIAL DE PERITOS E INGENIEROS TÉCNICOS  
INDUSTRIALES DE ARAGÓN  
VISADO : VIZA224048  
<http://cogitaragon.es/visado/new/ValidarCSV.asp.x?CSV=NM2VL0C3C6FC78D5>

10/5  
2022

Habilitación Coleg. 7480 (al servicio de la empresa)  
Profesional MARTINEZ TRUERA, JOSE RAMON

### Fiable

- Máxima protección de los datos y de la central eléctrica con un suministro de corriente sin interrupciones
- CPU de control en configuración redundante con transferencia automática entre los sistemas que se monitorizan (opcional)

### Muy funcional

- Cumple con los requisitos de las directivas internacionales sobre gestión de red y de la inyección
- Adaptación automática de la potencia real en caso de variaciones de frecuencia (P(f), Active Power Reserve)

### Flexible

- Control remoto, diagnóstico y actualizaciones por medio de un túnel VPN
- Variaciones específicas para cada cliente y proyecto
- Protocolos del control remoto IEC 61850, IEC 60870-5-101 / -104, DNP3 (opcional)

### Fácil de utilizar

- Configuración y manejo mediante una interfaz de usuario
- Panel táctil para el manejo local (opcional)

## POWER PLANT CONTROLLER

Regulación flexible de los parques y gestión flexible de la inyección para centrales fotovoltaicas

El Power Plant Controller ofrece soluciones flexibles e inteligentes para regular centrales fotovoltaicas en el rango de los megavatios. Es adecuado para centrales fotovoltaicas con inversores centrales y de string descentralizados. El potente controlador lógico programable permite regular rápidamente la potencia activa y reactiva para estabilizar la red, cumpliendo así con los requisitos de la empresa suministradora. Gracias a su sistema modular de hardware y de software, el Power Plant Controller está perfectamente preparado para cumplir con las necesidades futuras de cualquier central fotovoltaica.

Con la ayuda de los modelos matemáticos y las herramientas de simulación es posible hacer opcionalmente afirmaciones valiosas sobre el comportamiento del Power Plant Controller, de la planta total y su diseño ya en la fase de planificación de una central fotovoltaica.

| Datos técnicos  | Power Plant Controller   |
|---|--|
| <b>Funciones de regulación</b>  |  |
| Regulación  | Regulación de la tensión, la potencia activa, la potencia reactiva y el factor de potencia en el punto de inyección  |
| Limitación de la potencia   | Limitación de la potencia actual al valor deseado  |
| Función de rampa de potencia  | Limitación de las oscilaciones de potencia causadas, por ejemplo, por un fuerte aumento de la intensidad de la irradiación solar   |
| Adaptación automática de la potencia activa   | Ajuste de la potencia actual en caso de aumento de la frecuencia o de disminución de la frecuencia (APR)   |
| Regulación de curvas características  | Curvas características, por ejemplo, para Q(U), cosφ(P), P(f), APR   |
| Otros   | Parada rápida/arranque de la instalación   |
| <b>Comunicación</b>   |  |
| Comunicación de la instalación con el operador de red, SCADA y los inversores                         | 2 conexiones ethernet separadas con conmutadores integrados para comunicación externa; 10 BASE-T y 100 BASE-T(X)   |
| Protocolos de comunicación  | Modbus/TCP, Modbus/UDP, servidor de FTP, opcional: IEC 61850, IEC 60 870-5-101/-104, DNP3  |
| Aviso   | Envío de mensajes de advertencia de la red a sistemas centrales y de monitorización  |
| <b>Visualización/interfaz de usuario/registro de datos</b>  |  |
| Interfaz de visualización y configuración   | Mediante una pantalla táctil integrada de 10" (opcional) o mediante acceso remoto con un navegador de internet   |
| Visualización de datos  | Representación de los valores de medición (por ejemplo, V, P, Q, factor de potencia)   |
| Funciones de diagnóstico  | Localización de fallos y visualización del estado de la instalación, averías, errores y mensajes de advertencia en la interfaz de usuario  |
| Registro de incidencias   | Archivo de registro de la instalación para registrar cambios de estado e incidencias   |
| <b>CPU/entradas y salidas</b>   |  |
| CPU   | Potente PLC (opcionalmente, en configuración redundante)   |
| Entradas analógicas   | De 4 mA a 20 mA - de 10 V a +10 V  |
| Salidas analógicas  | De 4 mA a 20 mA  |
| Entradas digitales  | 24 V CC  |
| Salidas digitales (relé)  | 250 V CA o 30 V CC, 5 A  |
| Sistema de E/S remoto   | ○  |
| Reloj   | Reloj en tiempo real con almacenamiento en búfer sin mantenimiento   |
| Función de perro guardián (watchdog)  | ●  |
| <b>Armario de distribución del Power Plant Controller</b>   |  |
| Equipos instalados  | Power Plant Controller PLC, conmutadores, suministro de corriente sin interrupciones y redundante<br>Fusibles, bornes, convertidor de protocolos y PLC redundante (opcional)   |
| Pantalla táctil TFT de 10" (para interiores)  | ○  |
| Conmutadores gestionados  | ○  |
| Convertidor de medios   | ○  |
| Ampliación de E/S (hasta 18 entradas digitales y 12 analógicas y 16 salidas digitales y 7 analógicas) | ○  |
| Dimensiones (ancho/alto/fondo)  | 720/1125/325 mm  |
| Espacio de montaje requerido (ancho/alto/fondo)   | 2000/2100/1800 mm  |
| Tipo de montaje   | Montaje mural  |
| Peso  | 60 kg  |
| Material  | Aluminio recubierto de polvo   |
| <b>Suministro de corriente</b>  |  |
| Tensión de alimentación (CA redundante / CC redundante)   | 100 V <sub>CA</sub> a 240 V <sub>CA</sub> , 50 Hz/60 Hz/24 V <sub>CC</sub> /36 V <sub>CC</sub> a 60 V <sub>CC</sub>  |
| Consumo energético típico de la fuente de alimentación de CA  | 2 x 1,2 A (a 120 V <sub>CA</sub> ) / 2 x 0,6 A (a 230 V <sub>CA</sub> )  |
| Consumo energético típico de la fuente de alimentación de CC  | 2 x 2,75 A (a 48 V <sub>CC</sub> ), 2 x 5,5 A (a 24 V <sub>CC</sub> )  |
| Fusible previo  | 16 A   |
| <b>Condiciones ambientales durante el funcionamiento</b>  |  |
| Temperatura ambiente  | De -20 °C a +50 °C (derrateo por temperatura si la altitud sobre el nivel del mar supera los 2000 m)   |
| Humedad relativa del aire   | Del 10% al 95%, sin condensación   |
| Tipo de protección  | IP54, sin la pantalla, también instalable en exteriores  |
| Altitud de funcionamiento máx. sobre el nivel del mar   | 4000 m (con ampliación de E/S hasta los 2000 m)  |
| <b>Compatibilidad</b>   |  |
| Con inversores  | Sunny Central CP/CPJP/CP-US/HE-20, Sunny Central XXXX(-EV)(-US),<br>Sunny Tripower/CORE1 (control mediante SMA Cluster Controller),<br>Sunny Tripower 60/Sunny HIGHPOWER PEAK1 (control mediante SMA Inverter Manager),<br>otros inversores posibles |
| Con analizadores de red   | Ardetem TRM4, Janitza UMG 604/UMG 605,<br>Schneider Electric ION 7550/7650/8600/8650/8800  |
| <b>Otros</b>  |  |
| Certificados y autorizaciones   | CE, EN 60950-1, FCC, NRCS (SANS IEC 60950)   |
| Accesorios:   | ○  |
| Memoria USB de 4 GB u 8 GB, calidad industrial muy fiable   |  |
| Garantía  | 5 años   |
| ● De serie ○ Opcional – No disponible   |  |
| Modelo comercial  | PPC-10   |



COLEGIO OFICIAL DE PERITOS E INGENIEROS TÉCNICOS  
INDUSTRIALES DE ARAGÓN  
VISADO : VIZA224048  
http://cogitaragon.es/visado/validarCSV.asp?XCSV=MM2.VL.003C.KFC78D5


10/5  
2022

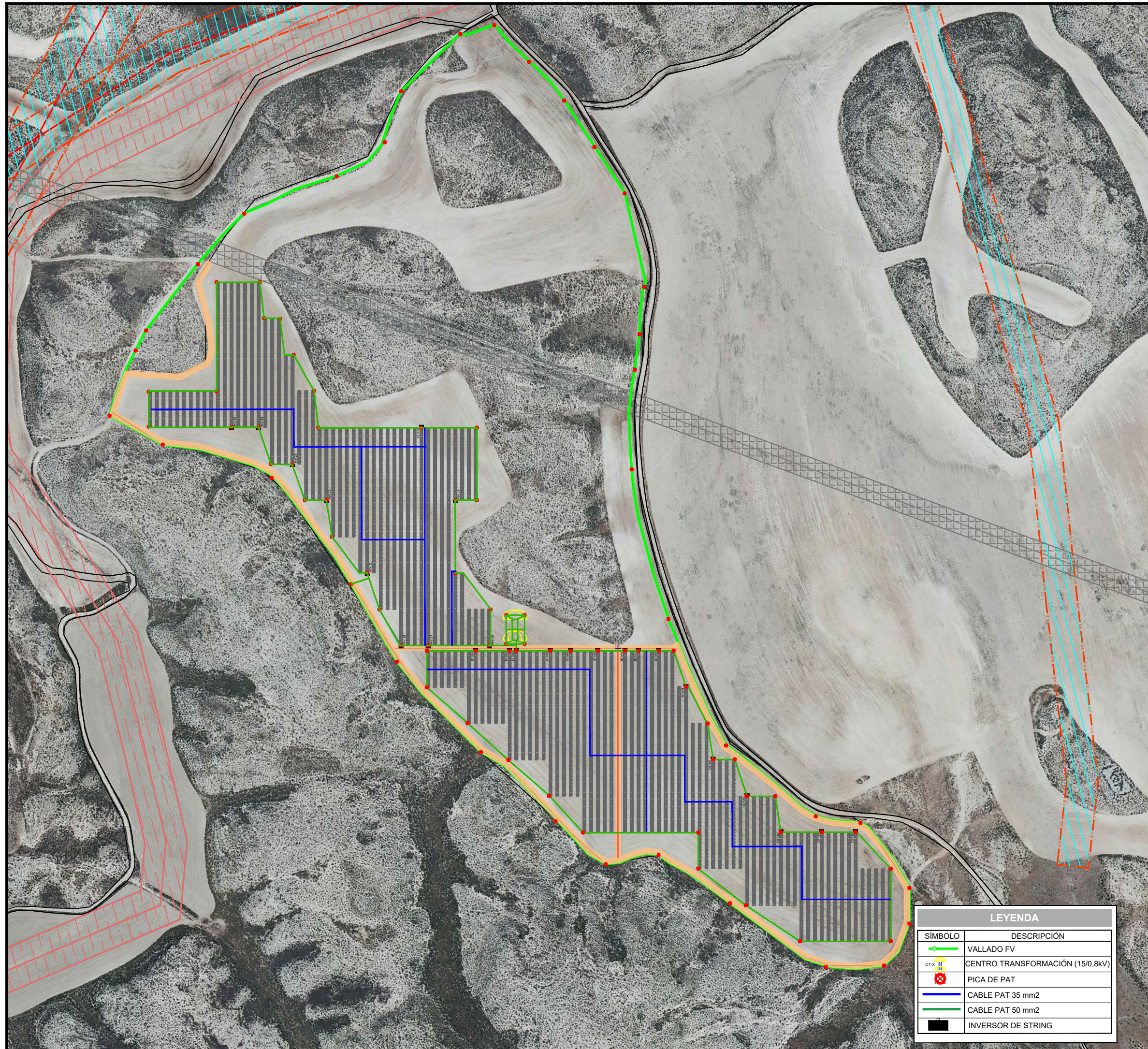
Habilitación Coleg. 7480 (al servicio de la empresa)  
Profesional MARTINEZ TRUEBA, JOSE RAMON

|   |  |                      |
|---|--|----------------------|
|  | <p>PARQUE FOTOVOLTAICO "MITRA"<br/>ZARAGOZA (ZARAGOZA)</p> | <p>MAYO<br/>2022</p> |
|---|--|----------------------|

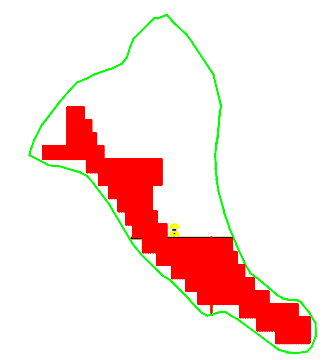
4. PLANOS

1. Sistema puesta a tierra

|   |  |                      |   |
|---|--|----------------------|---|
|  | <p>COLEGIO OFICIAL DE PERITOS E INGENIEROS TÉCNICOS<br/>INDUSTRIALES DE ARAGÓN<br/>VISADO : VIZA224048<br/><a href="http://cogitaragon.es/Visado.nuevo/ValidarCSV.aspx?7CSV=MM2VL0C3CkFC78D5">http://cogitaragon.es/Visado.nuevo/ValidarCSV.aspx?7CSV=MM2VL0C3CkFC78D5</a></p> | <p>10/5<br/>2022</p> | <p>Habilitación Coleg: 7480 (al servicio de la empresa)<br/>Profesional MARTINEZ TRUEBA, JOSE RAMON</p> |
|---|--|----------------------|---|



| LEYENDA |                                  |
|---------|----------------------------------|
| SÍMBOLO | DESCRIPCIÓN                      |
|         | VALLADO FV                       |
|         | CENTRO TRANSFORMACIÓN (15/0,8kV) |
|         | PICA DE PAT                      |
|         | CABLE PAT 35 mm2                 |
|         | CABLE PAT 50 mm2                 |
|         | INVERSOR DE STRING               |



**LOCALIZACIÓN**

|                          |                                    |
|--------------------------|------------------------------------|
| PROYECTO:                | PARQUE FOTOVOLTAICO MITRA          |
| CONTENIDO:               | SISTEMA PUESTA A TIERRA            |
| UBICACIÓN:               | ZARAGOZA (ZARAGOZA)                |
| PROPIETARIO:             | ENERLAND GENERACIÓN SOLAR 23, S.L. |
| PROFESIONAL RESPONSABLE: | JOSÉ RAMÓN MARTÍNEZ                |

FIRMAS:

Sistema de Gestión  
ISO 9001:2008  
ISO 14001:2004  
OHSAS 18001:2007  
www.tuv.com  
ID 910863857

| REV | FECHA | DISEÑO | APROB. | MODIFICACIÓN |
|-----|-------|--------|--------|--------------|
|     |       |        |        |              |
|     |       |        |        |              |
|     |       |        |        |              |
|     |       |        |        |              |
|     |       |        |        |              |
|     |       |        |        |              |
|     |       |        |        |              |
|     |       |        |        |              |
|     |       |        |        |              |
|     |       |        |        |              |

|          |                                   |
|----------|-----------------------------------|
| EMPRESA: | REF: 1                            |
|          | DIBUJADO: A.P.B. REVISADO: J.R.M. |
|          | FECHA: MAYO/2022                  |
|          | ESCALA: 1:2.000 VERSIÓN: 0        |

A) ISO 2768  
B) Clase de tolerancia, conforme a esta parte de la Norma ISO 2768