



Universidad de Valladolid



**ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES**

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID
ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES

Grado en Ingeniería Eléctrica

TRABAJO FIN DE GRADO:

**DISEÑO Y CÁLCULO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR
FOTOVOLTAICA DE 2,3 MW Y SU CONEXIÓN A LA
RED DE MEDIA TENSIÓN**

Autor:

Herrera Galiano, Rubén

Tutor:

**Muñoz Cano, Manuel
Dpto. de Ingeniería eléctrica**

Valladolid, junio 2021

AGRACEDIMIENTOS

Realizar este Trabajo Fin de Grado ha sido la mayor demostración de los conocimientos adquiridos a lo largo de todos estos años. También ha sido un ejercicio de reflexión personal, recordar los mejores y peores momentos, recordar los nervios extremos segundos antes de ver las notas de un examen, el sentimiento del deber cumplido si la nota era favorable y la decepción si la nota no era la que uno esperaba, las interminables horas de estudio e infinitos momentos de diversión y alegría con los amigos.

Espero estar a la altura de la exigencia que se nos exige por parte de la Universidad de Valladolid y en especial por parte de la Escuela de Ingenierías Industriales y que, gracias a eso, nos forma y nos capacita tanto profesional como personalmente. La mayoría entramos siendo niños y salimos hombres y mujeres con ganas de comernos el mundo.

En primer lugar, quiero agradecer a mis padres y a mi hermana, gracias a su incansable trabajo me han permitido estar donde estoy hoy, su confianza y su apoyo desde la distancia me han dado la fuerza necesaria para poder terminar esta etapa.

A mis abuelos por los valores que me han inculcado, el trabajo la honradez y el sacrificio son la llave que abre cualquier puerta que te puedas encontrar en el camino.

A mis amigos, a los de toda la vida y a los que llegaron nuevos a mi vida para quedarse, gracias por el ánimo y apoyo durante todos estos años.

Y a mi tutor, Manuel Muñoz, gracias por asesorarme y guiarme en la realización de este Trabajo Fin de Grado.

Muchas Gracias a todos

RESUMEN

El presente Trabajo Fin de Grado ha consistido en el diseño y cálculo de una instalación solar fotovoltaica de 2,3 MW, así como las instalaciones necesarias para la inyección de la energía eléctrica generada a la red de Media Tensión de la compañía eléctrica que distribuye por la zona.

Se ha realizado el dimensionado, distribución y conexionado de los paneles fotovoltaicos, adoptando una configuración de 248 grupos de 30 paneles en serie, conectados a 7 cuadros de corriente continua y éstos al inversor.

Asimismo, se han dimensionado el Centro de Transformación (CdT) al que está unido el inversor, línea de Media Tensión que une el CdT con un centro de Seccionamiento y línea subterránea para realizar el entronque con la línea de la compañía eléctrica.

En la realización de este proyecto, se ha tenido en cuenta reglamentación y normativa vigente, así como las prescripciones marcadas por la compañía distribuidora.

PALABRAS CLAVE

Energías renovables, Generador fotovoltaico, Centro de transformación, Centro de seccionamiento, Media tensión.

ABSTRACT

This End of Degree Project has consisted of the design and calculation of a 2.3 MW photovoltaic solar installation, as well as the facilities necessary for the injection of the electrical energy generated in the Medium Voltage network for the electricity company that distributes by area.

The dimensioning, distribution and connection of the photovoltaic panels have been carried out, adopting a configuration of 248 groups of 30 panels in series, connected to 7 direct current panels and these to the inverter.

Likewise, the Transformation stations (CdT) to which the inverter is connected, has been dimensioned, a Medium Voltage line that connects the CdT with a Sectioning station and an underground line to make the connection with the electricity company line.

In carrying out this project, current regulations and regulations have been taken into account, as well as the prescriptions set by the distribution company.

KEYWORDS

Renewable energies, Photovoltaic generator, Transformation stations, Sectioning station, Medium voltage.

ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS	9
MEMORIA.....	13
PRESUPUESTO.....	135
PLIEGO DE CONDICIONES.....	147
ESTUDIO BÁSICO SEGURIDAD Y SALUD.....	203
CONCLUSIONES	229
BIBLIOGRAFÍA	231
ANEXOS.....	241
ANEXO A PLANOS	
ANEXO B LÍNEA Y APOYO	
ANEXO C GESTIÓN DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN	

INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

INTRODUCCIÓN

La radiación emitida por el Sol al espacio, en todas las direcciones, es de $73,6 \times 10^6 \text{ W/m}^2$. De esta cantidad, la Tierra recibe tan sólo dos mil millonésimas partes. Lo que significa que en el límite de la atmósfera y con la Tierra situada en su distancia media al Sol, sobre una superficie perpendicular a sus rayos, la energía recibida es aproximadamente de 1.373 W/m^2 ($1,96 \text{ cal/cm}^2/\text{min.}$). Sin embargo, esta cantidad de radiación, aunque prácticamente constante en el exterior de la atmósfera, es muy variable en superficie dependiendo de la atmósfera, la altura del Sol, la distancia Sol-Tierra y la duración del día. Cuando penetra en la atmósfera, la radiación solar se atenúa. Grosso modo, un 30% de la radiación solar recibida (9% rayos X, Gamma y Ultravioleta; 45% visible y 46% infrarrojos), es de nuevo devuelta al espacio y el restante 70% (unos 960 W/m^2) es absorbido por la superficie terrestre desde donde se refleja de nuevo en forma de radiación infrarroja (calor). Parte de esta radiación reflejada es aprisionada por la atmósfera y devuelta de nuevo a la superficie, ocasionando que la temperatura media de la Tierra sea 33°C más elevada que la que le correspondería por su posición respecto al Sol. De hecho, vista desde el espacio, la Tierra radia energía a longitudes de onda e intensidades características de un cuerpo a -18°C .

La capacidad de la atmósfera para aprisionar el calor es un fenómeno natural que ha dominado siempre el balance energético de la Tierra, y su importancia está en función de la proporción de gases de efecto invernadero, fundamentalmente CO_2 , pero también vapor de agua, metano y los llamados clorofluorocarburos (CFC's).

A lo largo de la historia de la Tierra se han producido, “de forma natural”, ascensos y descensos de la temperatura media del planeta. Las razones de estas oscilaciones térmicas no son fáciles de determinar, pero lo que parece cada vez más claro, a tenor de las pruebas circunstanciales del pasado geológico e histórico, es la relación entre los cambios climáticos y la fluctuación de los gases de efecto invernadero y, más concretamente, del dióxido de carbono (CO_2).

El planeta está atravesando un nuevo cambio, pero este cambio no se está produciendo de forma natural, sino que es debido a las malas prácticas de la especie humana en sectores económicos hiperdesarrollados como el sector energético o industrial, las nuevas generaciones nos vemos en la

obligación de intentar reducir al máximo las consecuencias que estas malas praxis puedan tener en la población mundial y la forma en la que vivimos.

El cambio climático que se está empezando a producir, es debido principalmente a la emisión masiva de gases de efecto invernadero, estas emisiones se dan en su mayoría en procesos cuyo fin es la generación de electricidad.

Una sociedad en constante evolución y con una creciente demanda de electricidad hace que los modelos productivos tradicionales nos dirijan a un abismo del que no podremos salir; para reducir la dependencia energética a modelos contaminantes, nos debemos apoyar en las Energías Renovables, con esa intención, en el presente Trabajo Fin de Grado se diseña y calcula un Generador solar fotovoltaico.

OBJETIVOS

Con la realización de esta instalación fotovoltaica se pretende:

1. Contribuir al objetivo del Plan de Energías Renovables a través de la realización de una central solar fotovoltaica de 2.455.200 W_p para la conexión e inyección a red de la energía generada, con un sistema de estructura fija en suelo.
2. Ampliar las instalaciones de los sistemas solares fotovoltaicos, sirviendo de concienciación social en el uso de las energías renovables y ejemplo de difusión de esta energía.
3. Vender la energía generada a la empresa distribuidora de la zona, con el fin de amortizar la inversión realizada en la ejecución de esta instalación.

ESTRUCTURA DEL DOCUMENTO

El presente documento se encuentra estructurado la siguiente manera:

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

Capítulo donde se presenta la temática del proyecto y los objetivos a perseguir.

2. MEMORIA

Es el capítulo en donde se desarrolla la descripción y los cálculos justificativos del proyecto.

3. PRESUPUESTO

Descripción de las mediciones de los distintos elementos que intervienen en el proyecto, así como su valoración económica.

4. PLIEGO DE CONDICIONES

Capítulo donde se establecen las condiciones técnicas y administrativas para que se pueda llevar a cabo sin interpretaciones no deseadas.

5. ESTUDIO BÁSICO DE SEGURIDAD Y SALUD

Capítulo donde se exponen los principales riesgos laborales de todos los trabajadores que pudieran intervenir en el proceso constructivo.

6. CONCLUSIONES

Capítulo donde se indican las principales conclusiones extraídas tras la realización del trabajo.

7. BIBLIOGRAFÍA

En este apartado están recogidas las diferentes fuentes bibliográficas consultadas para la redacción del proyecto.

ANEXO A: PLANOS

Representación gráfica de los elementos que intervienen en el proyecto.

ANEXO B: LÍNEA Y APOYO

Anexo donde se indican los valores calculados para la instalación del apoyo y el tendido de la LEAT

ANEXO C: GESTIÓN DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN

Capítulo donde se recogen y detallan los residuos que se generarán en la ejecución del proyecto.

MEMORIA

1.	ANTECEDENTES	17
2.	FICHA URBANÍSTICA.....	18
2.1.	SITUACIÓN DE LA INSTALACIÓN	18
2.2.	COMPOSICIÓN DE LA PARCELA	18
2.3.	DESCRIPCIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA INSTALACIÓN	19
3.	PUNTO DE CONEXIÓN DE LA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA	20
4.	APOYO A SUSTITUIR.....	21
4.1.	SITUACIÓN.....	21
4.2.	CONDUCTOR	21
4.3.	CÁLCULO MECÁNICO	22
4.3.1.	TABLAS DE TENDIDO	23
4.3.2.	CÁLCULO DE TABLAS DE TENDIDO	24
4.3.3.	DETERMINACIÓN DE LA FLECHA DE LOS CONDUCTORES	24
4.3.4.	PLANTILLA DE REPLANTEO	24
4.3.5.	VANO DE REGULACIÓN.....	25
4.4.	NIVEL DE AISLAMIENTO Y FORMACIÓN DE CADENAS	25
4.4.1.	NIVEL DE AISLAMIENTO PARA ZONAS DE NIVEL DE POLUCIÓN MEDIO (II).....	26
4.5.	DISTANCIA DE SEGURIDAD	26
4.5.1.	DISTANCIA DE LOS CONDUCTORES AL TERRENO.....	26
4.5.2.	DISTANCIA MÍNIMA ENTRE LOS CONDUCTORES Y SUS ACCESORIOS EN TENSIÓN Y EL APOYO	27
4.6.	APOYOS	27
4.6.1.	CLASIFICACIÓN DE LOS APOYOS	27
4.6.2.	CÁLCULOS DEL APOYO DE PASO AÉREO A SUBTERRÁNEO (CELOSIA).....	28

4.7.	CÁLCULO DE LA CIMENTACIÓN	30
4.8.	TOMAS DE TIERRA	32
5.	LÍNEA DE ACOMETIDA	33
5.1.	SITUACIÓN Y TRAZADO	33
5.2.	REGLAMENTACIÓN Y NORMA VEGENTE	33
5.3.	SUMINISTRO DE ENERGÍA.....	34
5.4.	DESCRIPCIÓN DE LA LÍNEA	35
5.5.	CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS DE LA LÍNEA	35
5.6.	CÁLCULO DE LA LÍNEA SUBTERRÁNEA	36
5.6.1.	CONDUCTORES	36
5.6.2.	CÁLCULOS ELECTRICOS	37
6.	CENTRO DE SECCIONAMIENTO	40
6.1.	OBJETO	40
6.2.	CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL CENTRO DE SECCIONAMIENTO	40
6.3.	CARACTERÍSTICAS GENERALES CELDAS DE MEDIA TENSIÓN	41
6.4.	DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACIÓN	42
6.4.1.	OBRA CIVIL	42
6.4.2.	INSTALACIÓN ELÉCTRICA	43
6.5.	MEDIDA DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA	47
6.6.	VENTILACIÓN DEL CENTRO DE SECCIONAMIENTO ...	47
6.7.	PUESTA A TIERRA	48
6.7.1.	TIERRA DE PROTECCIÓN	49
6.7.2.	CÁLCULO DE LA RESISTENCIA A TIERRA DE LAS MASAS DEL CENTRO DE SECCIONAMIENTO	50
6.7.3.	CÁLCULO DE LA RESISTENCIA A TIERRA.....	52
6.7.4.	CÁLCULO DE LA INTENSIDAD DE DEFECTO	53
6.7.5.	CÁLCULO DE LA TENSIÓN DE DEFECTO	53
6.7.6.	CÁLCULO DE LA SEPARACIÓN ENTRE LAS TIERRAS DE PROTECCIÓN Y SERVICIO DEL CENTRO DE SECCIONAMIENTO	53

6.7.7. CÁLCULO DE LAS TENSIONES DE PASO EXTERIOR DE PASO DE ACCESO Y CONTACTO EXTERIOR ADMISIBLES	54
6.7.8. COMPROBACIÓN DE LAS TENSIONES ADMISIBLES.....	55
6.7.9. TIERRA DE SERVICIO	57
6.7.10. CORRECCIÓN DEL DISEÑO INICIAL.....	58
6.8. INSTALACIONES SECUNDARIAS.....	58
6.8.1. Alumbrado.....	58
6.8.2. Baterías de Condensadores	58
6.8.3. Protección contra Incendios	58
6.8.4. Ventilación.....	58
6.8.5. Medidas de Seguridad	59
7. POWERBLOCK ELEVADOR.....	60
7.1. OBJETO.....	60
7.2. CARACTERISTICAS GENERALES.....	60
7.2.1. CARACTERISTICAS CELDAS FSMVES	60
7.3. DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACIÓN	61
7.3.1. INSTALACIÓN ELÉCTRICA.....	61
7.3.2. MEDIDA DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA.....	64
7.3.3. PUESTA A TIERRA.....	65
7.3.4. INSTALACIONES SECUNDARIAS	66
7.4. CÁLCULOS	67
7.4.1. INTENSIDAD DE MEDIA TENSIÓN	67
7.4.2. INTENSIDAD DE BAJA TENSIÓN	68
7.4.3. SELECCIÓN DE LAS PROTECCIONES DE ALTA TENSIÓN	68
7.4.4. CÁLCULO DE LAS INSTALACIONES DE PUESTA A TIERRA	69
8. GENERADOR SOLAR FOTOVOLTAICO.....	79
8.1. INTRODUCCIÓN.....	79
8.1.1. REGLAMENTACIÓN Y NORMATIVA VIGENTE	79
8.1.2. SITUACIÓN Y CLIMATOLOGÍA	79
8.2. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO CONECTADO A RED.....	80
8.2.1. MÓDULOS FOTOVOLTAICOS.....	82

8.2.2. UNIDAD DE ACONDICIONAMIENTO DE POTENCIA: INVERSOR.....	83
8.2.3. PROTECCIONES.....	84
8.3. DISEÑO DE LA INSTALACIÓN	85
8.3.1. DATOS INICIALES	85
8.3.2. UBICACIÓN DE LOS INVERSORES Y LOS CUADROS ELÉCTRICOS	86
8.3.3. ESTRUCTURA SOPORTE	86
8.3.4. DISEÑO DE LA CENTRAL FOTOVOLTAICA	86
8.3.5. PROTECCIONES Y PUESTA A TIERRA.....	92
8.4. CÁLCULOS Y RESULTADOS.....	98
8.4.1. CÁLCULOS DE LA INSTALACIÓN.....	98
8.4.2. ESTUDIO DE LA PRODUCCIÓN DE LA INSTALACIÓN MEDIANTE PROCESO TEÓRICO.....	116
8.4.3. ESTUDIO DE LA PRODUCCIÓN DE LA INSTALACIÓN MEDIANTE SOFTWARE INFORMÁTICO (NSol)	120
8.4.4. ESTUDIO DE LA PRODUCCIÓN DE LA INSTALACIÓN MEDIANTE SOFTWARE INFORMÁTICO (PVSyst).....	123
8.4.5. RESUMEN DE RESULTADOS	130
9. ESTUDIO DE VIABILIDAD ECONÓMICA	131

1. ANTECEDENTES

A petición de Solar Nova, S.L., con domicilio social en C/Arguello nº 15 y CIF P-9372473J, se diseñará, calculará y se instalará un campo generador de energía fotovoltaica con estructura fija, ubicado en suelo para conexión a red, de 2,3 MW de potencia de salida en corriente alterna trifásica, produciendo una energía eléctrica que será íntegramente vendida a la empresa distribuidora de la zona (a i-DE Redes Eléctricas Inteligentes S.A.U.) según Real Decreto 1183/2020, del 29 de diciembre, por el que se regula el acceso y la conexión a las redes de transporte y distribución de energía eléctrica, siguiendo la metodología y condiciones de acceso y conexión establecida en la Circular 1/2021, de 20 de enero, de la Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia.

La energía generada en el campo fotovoltaico se evacuará a través de la línea de 13,2 kV propiedad de la empresa distribuidora que discurre atravesando la parcela objeto de proyecto.

2. FICHA URBANÍSTICA

2.1. SITUACIÓN DE LA INSTALACIÓN

La situación de la instalación fotovoltaica objeto de este proyecto es la parcela de suelo rústico de uso agrario sita en Polígono 504, Parcela 49, La Saturnina, Calvarrasa de Arriba (Salamanca) y cuya referencia catastral es 37070A504000490000AW. Se dispondrá una instalación solar fotovoltaica sobre estructura fija en suelo, respetando en todo momento la normativa municipal en cuanto a retranqueos a los caminos, carreteras y a las parcelas colindantes.

Al tener la parcela que nos ocupa la categoría de suelo rústico de uso común, implica que el uso que se le va a dar al suelo es compatible con ella.

La conexión se efectuará en la LEAT de 13,2 kV perteneciente a i-DE Redes Eléctricas Inteligentes S.A.U., realizando entrada/salida en el apoyo correspondiente, esta conexión se realizará en anillo con un Centro de Seccionamiento anterior al Centro de Transformación. La localización del Centro de Seccionamiento y del Centro de Transformación puede verse en el plano nº3 del documento.

2.2. COMPOSICIÓN DE LA PARCELA

La parcela en la que se ubicará la instalación solar fotovoltaica tiene forma irregular. Su superficie gráfica es de 51.554 m², de los cuales, aproximadamente, 15.000 m² se dispondrán para la realización del generador solar fotovoltaico de 2,3 MW de potencia nominal, lo cual representa el 29% de la superficie catastral de la parcela.

Se trata de una instalación solar fotovoltaica formada por 7.440 placas solares que se describirán posteriormente, localizadas sobre suelo en la dirección antes mencionada, la cual se dedicará a la PRODUCCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA mediante la captación solar.

Dentro de los límites de la parcela, y lo más cerca posible al acceso de la parcela, se sitúa el Centro Seccionamiento que une al Centro de Transformación elevador 645V/13.200V con el punto de entronque de la instalación fotovoltaica proyectada.

2.3. DESCRIPCIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA INSTALACIÓN

Se van a instalar placas solares fotovoltaicas formadas por células de silicio rodeadas perimetralmente por un marco de aluminio. Estas células quedan protegidas por un material encapsulante a base de siliconas muy transparentes a la radiación solar, sin apenas degradación, evitando la penetración de la humedad en su interior.

Las placas se dispondrán en “mesas”, con un total de 248 mesas de 30 paneles. Las “mesas” siguen la distribución de dos filas de 15 paneles cada una, colocadas todas con una orientación vertical. La conexión se efectuará en series de 30 paneles, cada mesa se convertirá en una de las 248 series que componen la instalación.

Estas mesas van instaladas sobre suelo en la parcela antes mencionada, mediante estructura fija. La inclinación de la estructura será de 30°, disponiéndose filas de tantas en horizontal como el trazado del terreno permita, y separadas 5 metros entre sí, según se muestra en el plano nº 3 y 8.

En todo momento se respetará un retranqueo mínimo de 10 metros con las parcelas colindantes y de 15 metros con el lado más próximo de la carretera que circula al este de la parcela (Carretera comarcal “CL-510”). Para el vallado perimetral de la parcela objeto del proyecto, se ha optado por instalarlo a 5 metros del perímetro de la parcela, cumpliendo así la normativa municipal.

En el caso de las LEAT de 13,2 kV que atraviesa la parcela (2 en total), se respeta una distancia de mínima de 6 metros desde el eje de la línea a cada lado.

Los materiales de la estructura serán todos ellos de acero galvanizado en caliente o aluminio para poder soportar las inclemencias meteorológicas. Todos los perfiles de la estructura estarán dimensionados acorde con la resistencia que deben soportar.

Tanto las dimensiones de las placas, como de la estructura, su sistema de fijación en suelo, las distancias entre filas para cumplir con los criterios de instalación, así como el Centro de Transformación, el Centro de Seccionamiento y los cuadros necesarios se encuentran reflejados en el plano nº 3 y 8.

Se redacta el presente proyecto para su realización, según Real Decreto nº 1955/2000, por el que se regulan las actividades de transporte, distribución, comercialización, suministro y procedimientos de autorización de instalaciones de energía eléctrica.

3. PUNTO DE CONEXIÓN DE LA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA

El punto de conexión se realizará en Media Tensión a 13,2 kV, desde una línea procedente de un Centro de Seccionamiento que se instalará en las inmediaciones del acceso a la parcela. El Centro de Seccionamiento se conectará a red a través de una línea subterránea que comienza en dicho C.S. y finaliza mediante una entrada/salida en un punto de entronque situado en un apoyo perteneciente a una de las líneas de distribución aérea de MT propiedad de la empresa distribuidora que atraviesan la parcela que albergara la instalación solar fotovoltaica proyectada. Este apoyo de hormigón vibrado en el que se conecta la instalación solar fotovoltaica será sustituido por uno de celosía y que se detallará a continuación.

4. APOYO A SUSTITUIR

Este apartado pretende validar las condiciones técnicas del apoyo de celosía nuevo en comparación con el apoyo antiguo de hormigón vibrado.

Para ello, se deberá tener en cuenta que el nuevo apoyo será de anclaje y fin de línea, y no de alineación, por lo que las variables para su validez mecánica son diferentes a los del anterior apoyo.

El resto de las condiciones mecánicas serán idénticas entre un apoyo y otro, quedando expuestas en los apartados siguientes.

4.1. SITUACIÓN

El apoyo se encuentra situado en la esquina superior izquierda de la parcela que acogerá a la instalación, en el interior de esta. Es un apoyo perteneciente a una de las dos LEAT que atraviesan la parcela.

La localización exacta puede verse en el plano nº 3 del documento.

4.2. CONDUCTOR

El conductor que provocará esfuerzos en el apoyo de anclaje será el que actualmente existe de la línea aérea, ya que el procedente de la línea subterránea objeto del presente proyecto quedará destensado.

Así, el conductor que se contempla es de aluminio-acero galvanizado de sección, según norma UNE 21018, el cual está recogido en la norma NI 54.63.01 cuyas características principales son:

Designación UNE	47-AL1/8-ST1
Sección de aluminio, mm ²	46,8
Sección total, mm ²	54,6
Equivalencia en cobre, mm ²	30
Composición	6 + 1
Diámetro de los alambres, mm	3,15
Diámetro aparente, mm	9,45
Carga mínima de rotura, daN	1.640
Módulo de elasticidad, daN/mm ²	7.900

Coeficiente de dilatación lineal, °C ⁻¹	0,0000191
Masa aproximada, kg/km	189,1
Resistencia eléctrica a 20°C, W/km	0,6136
Densidad de corriente, A/mm ²	3,7

4.3. CÁLCULO MECÁNICO

El cálculo mecánico del conductor se realiza teniendo en cuenta las condiciones siguientes:

- Que el coeficiente de seguridad a la rotura sea como mínimo igual a 3 en las condiciones atmosféricas que provoquen la máxima tensión de los conductores.
- Que la tensión de trabajo de los conductores a 15 °C sin ninguna sobrecarga, no exceda del 15% de la carga de rotura EDS (tensión de cada día, *Every Day Stress*).
- Cumpliendo las condiciones anteriores se contempla una tercera, que consiste en ajustar los tenses máximos a valores inferiores y próximos a los esfuerzos nominales de apoyos normalizados.

Al establecer la condición a) se puede prescindir de la consideración de la 4ª hipótesis en el cálculo de los apoyos de alineación y de ángulo, ya que en ningún caso las líneas que se proyecten deberán tener apoyos de anclaje distanciados a más de 3 km.

Al establecer la condición b) se tiene en cuenta el tense límite dinámico del conductor desde el punto de vista del fenómeno vibratorio eólico del mismo.

Las hipótesis de sobrecarga para el cálculo de la tensión máxima que debe considerarse son las definidas por el R.L.A.T. en su art.27, apartado 1. Asimismo, se calculan las flechas máximas en las hipótesis indicadas en el apartado 3 del mismo artículo.

El siguiente cuadro resume estas hipótesis, en función de la zona en la que se encuadre la línea:

Condición	ZONA A		ZONA B		ZONA C	
	°C	Sobrecarga	°C	Sobrecarga	°C	Sobrecarga
Máxima tensión	-5 °C	Viento de 120 km/h	-15 °C	Hielo $0,18\sqrt{d} (mm)$ en daN/m	-20 °C	Hielo $0,36\sqrt{d} (mm)$ en daN/m
			-10 °C	Viento de 120 km/h	-15 °C	Viento de 120 km/h
Máxima Flecha	15 °C	Viento de 120 km/h	15 °C	Viento de 120 km/h	15 °C	Viento de 120 km/h
	50 °C	Ninguna	0 °C	Hielo $0,18\sqrt{d} (mm)$ en daN/m	0 °C	Hielo $0,36\sqrt{d} (mm)$ en daN/m
			50 °C	Ninguna	50 °C	Ninguna

4.3.1. TABLAS DE TENDIDO

En el Anexo B, se incluyen las tablas de tendido, correspondientes a la zona B, definidas en el R.L.A.T. En ellas se trata de aprovechar al máximo las características de resistencia mecánica en los conductores, teniendo en cuenta las dos condiciones indicadas en el apartado anterior.

En las tablas de tendido, en la primera columna se indican una serie de vanos reguladores; en las columnas siguientes, los coeficientes de seguridad resultantes y las tensiones máximas, según las hipótesis de sobrecarga reglamentaria, en función de la zona (apartado 3.2.1 de la ITC-LAT-07); en las siguientes, las flechas máximas y mínimas según las hipótesis fijadas para cada zona en el apartado 3.2.3 de la ITC-LAT-07. Las dos columnas siguientes, dan los parámetros de las catenarias de máxima y mínima flecha, que deberán utilizarse para la distribución de apoyos en el perfil longitudinal, seguidamente se dan los valores de tracciones y flechas a aplicar en el cálculo de oscilación de cadenas de suspensión, bajo una sobrecarga de viento mitad a las temperaturas de -5 °C, -10 °C y -15 °C, según sea para zonas A, B o C respectiva y finalmente se da la tabla de tendido a aplicar en el tendido de la línea.

4.3.2. CÁLCULO DE TABLAS DE TENDIDO

Para la obtención de los valores de las tablas indicadas hemos partido de la ecuación de cambio de condiciones, cuya expresión es:

$$L_0 - L_1 = \left[\frac{T_0 - T_1}{E \cdot S} + \alpha \cdot (\theta_0 - \theta_1) \right]$$

Siendo:

- L_0 = Longitud en m de conductor en un vano L, bajo unas condiciones iniciales de tracción T_0 , peso más sobrecarga P_0 y temperatura θ_0 °C
- L_1 = Longitud en m de conductor en un vano L, bajo unas condiciones de tracción T_1 , peso más sobrecarga P_1 y temperatura θ_1 °C
- E = Módulo de elasticidad del conductor en daN/ mm²
- S = Sección del conductor en mm²
- α = Coeficiente de dilatación lineal del conductor en °C⁻¹

4.3.3. DETERMINACIÓN DE LA FLECHA DE LOS CONDUCTORES

Una vez determinado el valor de T_1 , el valor de la flecha se obtiene por la expresión:

$$f_1 = a_1 \cdot \left[ch \left(\frac{L}{2 \cdot a_1} \right) - 1 \right]$$

siendo:

- a_1 = Parámetro de la catenaria = T_1/P_1

4.3.4. PLANTILLA DE REPLANTEO

Para el dibujo de la catenaria se empleará la expresión:

$$f = a \cdot \left[ch \left(\frac{X}{a} \right) - 1 \right]$$

siendo:

- X = valor del semivano ($L/2$)

4.3.5. VANO DE REGULACIÓN

El vano ideal de regulación limitado por dos apoyos con cadenas horizontales viene dado por:

$$L_r = \sqrt{\frac{\Sigma L^3}{\Sigma L}}$$

siendo:

- L_r = Vano de regulación ideal en metros
- L = Longitud de cada uno de los vanos de la alineación de que se trate, en metros.

NOTA: El empleo de catenaria de un parámetro determinado implica el conocer que, si se emplea como flecha máxima, para vanos superiores al de regulación la flecha real siempre es menor a la que nos da la catenaria adoptada, y si se emplea como flecha mínima, para vanos inferiores al de regulación la flecha real siempre es menor a la que nos da la catenaria.

4.4. NIVEL DE AISLAMIENTO Y FORMACIÓN DE CADENAS

Este apartado lo dedicamos aislamiento mínimos correspondientes a la tensión más elevada de la línea, 24 kV, así como los elementos que integran las cadenas de aisladores en el presente Proyecto.

Se establecen dos niveles de aislamiento, los cuales superan las prescripciones reglamentarias dadas en la tabla 2 de la ITC-LAT-06 de 125 kV y 20 kV, a onda de choque y frecuencia industrial, respectivamente.

Los dos niveles de aislamiento se determinan en función de los niveles de contaminación de la zona en la que vaya a instalarse la línea, y están definidos en la CEI 815.

En nuestro caso se utilizará el de nivel medio:

- Zonas con industrias que no produzcan humos particularmente contaminantes y con una densidad media de viviendas equipadas con calefacción.
- Zonas de fuerte densidad de población o de industrias, pero sometidas a lluvias limpias.
- Zonas expuestas al viento del mar, pero alejadas algunos kilómetros de la costa.

4.4.1. NIVEL DE AISLAMIENTO PARA ZONAS DE NIVEL DE POLUCIÓN MEDIO (II)

Empleando aisladores de composite según norma NI 48.08.01, las cadenas estarán formadas por un aislador cuyas características son:

Aislador tipo U 70 YB 20

- Material.....Composite
- Carga de rotura.....7.000 daN
- Línea de fuga.....480 mm
- Tensión de contorno bajo lluvia a 50 Hz durante 1 min
.....70kV eficaces
- Tensión a impulso tipo rayo, valor cresta.....165 kV

4.5. DISTANCIA DE SEGURIDAD

De acuerdo con el R.L.A.T., las separaciones entre conductores, entre éstos y el apoyo, así como las distancias respecto al terreno y obstáculos para tener en cuenta en este proyecto, son las que se indican en los apartados siguientes.

4.5.1. DISTANCIA DE LOS CONDUCTORES AL TERRENO

De acuerdo con el apartado 5.5 de la ITC-LAT-07, la mínima distancia de los conductores en su posición de máxima flecha, a cualquier punto del terreno, es:

$$D_{carr} = 6,3 + D_{el} = 6,3 + 0,22 = 6,52 \text{ m}$$

con un mínimo de 7 metros, siendo D_{el} la distancia de aislamiento eléctrico mínima para prevenir descargas entre conductores de fase.

El valor de D_{el} viene definido en la tabla 15 de la ITC-LAT-07 según la tensión más elevada de la línea (24 kV), y en nuestro caso es:

$$D_{el} = 0,22 \text{ m}$$

4.5.2. DISTANCIA MÍNIMA ENTRE LOS CONDUCTORES Y SUS ACCESORIOS EN TENSIÓN Y EL APOYO

De acuerdo con el apartado 5.4.2 de la ITC-LAT-07, esta distancia no será inferior al valor Del , en función de la tensión más elevada de la línea (tabla 15 de la ITC-LAT-07), con un mínimo de 0,20 m.

En nuestro caso, el valor de Del y, por consiguiente, el de la distancia mínima de separación entre conductores y sus accesorios en tensión y el apoyo es de 0,22 m.

4.6. APOYOS

En este capítulo se define el apoyo que se utilizará en el diseño de la línea a que se refiere el presente Proyecto.

4.6.1. CLASIFICACIÓN DE LOS APOYOS

De acuerdo con el apartado 2.4 de la ITC-LAT-07, los apoyos se clasifican según su función en:

- Apoyos de suspensión
- Apoyos de amarre
- Apoyos de anclaje (punto firme)
- Apoyos de principio o fin de línea

En nuestro caso, se proyectará únicamente un apoyo de fin de línea, que servirá para el paso de la línea aérea existente actualmente, a la línea subterránea proyectada.

4.6.2. CÁLCULOS DEL APOYO DE PASO AÉREO A SUBTERRÁNEO (CELOSIA)

4.6.2.1. Altura del apoyo

Flecha máxima sin vano	despreciable
Altura de los conductores al terreno	7,00 m
Empotramiento	2,51 m
Altura mínima.....	9,51 m

Adoptaremos el apoyo de 14 m de altura y 3.000 daN de esfuerzo libre en punta, quedando justificada su validez en los puntos siguientes.

Apoyos para puntos firmes.

Para ángulos y finales de línea se utilizarán apoyos de perfiles metálicos cuyas ecuaciones resistentes se indican en el cuadro siguiente:

Apoyo Tipo	Valores especificados		Valores límite		Ecuación Resistente
	EN (daN)	V (daN)	KA	H (daN)	
C- 500	500	600	3.100	500	$V + 5 \cdot H = 3.100$
C-1000	1.000	600	5.600	1.000	$V + 5 \cdot H = 5.600$
C-2000	2.000	600	10.600	2.000	$V + 5 \cdot H = 10.600$
C-3000	3.000	800	15.800	3.000	$V + 5 \cdot H = 15.800$
C-4500	4.500	800	23.300	4.500	$V + 5 \cdot H = 23.300$
C-7000	7.000	1.200	36.200	7.000	$V + 5 \cdot H = 36.200$
C-9000	9.000	1.200	46.200	9.000	$V + 5 \cdot H = 46.200$

Siendo:

- V = Suma de cargas verticales que actúan sobre el apoyo, excepto cruceta y aislamiento, en daN.
- H = Suma de cargas horizontales que actúan sobre el apoyo, excepto viento sobre cruceta y aislamiento, en daN.

Para el cálculo de las cargas y sobrecargas sobre el apoyo que se exponen a continuación, se han empleado las expresiones reflejadas en el apartado 3 de la ITC-LAT-07.

4.6.2.2. Cargas permanentes

Se considerarán las cargas verticales debidas al peso propio de los herrajes y aisladores, ya que el peso de los conductores se tendrá en cuenta a la hora de calcular la sobrecarga por manguito de hielo.

$$V_{herrajes} = 2 \cdot 84 \text{ kg} \cdot 0,981 \frac{\text{daN}}{\text{kg}} = 164,80 \text{ daN}$$

$$\begin{aligned} V_{aisladores} &= 10 \frac{\text{kg}}{\text{cad}} \cdot \text{aisl.} \cdot 3 \text{ cadenas aisladores} \cdot 0,981 \frac{\text{daN}}{\text{kg}} \\ &= 29,43 \text{ daN} \end{aligned}$$

$$V_{permanente} = V_{herrajes} + V_{aisladores} = 194,23 \text{ daN}$$

Acción del viento

Sobre los 3 aisladores:	3 · 70 daN/m ² · 0,1 m ²	21,00 daN
Sobre el apoyo de celosía:	170 daN/m ² · 7,2 m ²	1.224,00 daN
Sobre los conductores:	3 · 60 · 60 · 0,00945	102,06 daN
	Suma	1.347,06 daN

Por tanto, la acción del viento de la hipótesis de máxima flecha es $H_v = 1.347,06 \text{ daN}$, valor inferior al esfuerzo nominal horizontal del apoyo previsto, que es de 3.000 daN.

4.6.2.3. Sobrecarga por hielo

Al estar la línea situada en la zona B, la sobrecarga debida al hielo viene definida por la siguiente expresión:

$$V_{hielo} = n \cdot L/2 \cdot (p_0 + 0,18\sqrt{d})$$

Siendo:

- V_{hielo} = sobrecarga debida a manguito de hielo
- n = número de conductores

- p_0 = peso propio del conductor en daN/m
- L = longitud del vano en metros
- d = diámetro del conductor en mm

Dando valores a la expresión, tenemos que éste debe ser capaz de soportar:

$$V_{hielo} = 3 \cdot \frac{120}{2} \cdot (0,1891 + 0,18\sqrt{9,45}) = 133,64 \text{ daN}$$

4.6.2.4. Esfuerzo vertical debido a los niveles

El peso debido a los desniveles es despreciable.

Por tanto, la carga vertical total que tiene que soportar el apoyo es de:

$$V_{total} = V_{permanente} + V_{hielo} = 194,23 + 133,64 = 327,87 \text{ daN}$$

Valor inferior al esfuerzo nominal vertical del apoyo previsto, que es de 800 daN de compresión vertical.

4.7. CÁLCULO DE LA CIMENTACIÓN

El detalle de la cimentación del apoyo puede observarse en el Anexo A del presente documento técnico. A continuación, se presentan los cálculos detallados para el apoyo nuevo de celosía que sustituirá al antiguo de hormigón.

Bases del cálculo:

Para calcular la cimentación del apoyo se utiliza el método de Sulzberger.

Fórmulas a aplicar:

El momento de vuelco respecto al punto de giro del macizo de hormigón de forma prismática, de sección cuadrangular será:

$$M_v = E \left(H + \frac{2}{3} \cdot h \right)$$

El momento estabilizador se compone de otros dos, uno debido al momento con relación al peso, M_p , y otro con relación al terreno, M_t .

$$M_p = 0,00242 \cdot K \cdot a^3 \cdot (h + 20)$$

$$M_t = \frac{C \cdot a \cdot h^4}{720.000}$$

Siendo:

- H = altura libre del apoyo (cm)
- h = profundidad de la cimentación (cm)
- E = esfuerzo máximo (Kg)
- K = coeficiente según la clase de terreno = 0,4
- a = lado del macizo de hormigón (cm)
- C = coeficiente de compresibilidad del terreno = 9

Debiéndose verificarse el momento resistente total, $M_p + M_t = M_e \cdot S$

Siendo S el coeficiente de seguridad al vuelco, que depende de la relación de los momentos M_p y M_t .

Para nuestro caso $S=1,5$.

La cimentación del apoyo estará formada por un bloque de hormigón de $1 \times 1 \times 2,37 \text{ m}^3$.

Características del apoyo:

- Apoyo: Poste de celosía de 14 m y 3.000 daN
- Altura libre: H = 1.183 cm
- Empotramiento: h = 237 cm
- Lado del macizo de hormigón: a = 100 cm
- Esfuerzo máximo: E = 1.347,06 daN (hipótesis de viento)

Momento de vuelco:

$$M_v = E \left(H + \frac{2}{3} \cdot h \right)$$

$$M_v = 1.347,06 \left(1.183 + \frac{2}{3} \cdot 237 \right) = 1.806.407 \text{ kg} \cdot \text{m}$$

Momento con relación al peso:

$$M_p = 0,00242 \cdot K \cdot a^3 \cdot (h + 20)$$

$$M_p = 0,00242 \cdot 0,4 \cdot 100^3 \cdot (237 + 20) = 248.776 \text{ kg} \cdot \text{m}$$

Momento con relación al terreno:

$$M_t = \frac{C \cdot a \cdot h^4}{720.000} = \frac{14 \cdot 100 \cdot 237^4}{720.000} = 6.134.637,76 \text{ kg} \cdot \text{m}$$

$$M_e = M_t + M_p = 6.134.637,76 + 248.776,00 = 6.383.413,76 \text{ kg} \cdot \text{m}$$

$$K = \frac{M_e}{M_v} = 3,53 \geq 1,5$$

4.8. TOMAS DE TIERRA

Las puestas a tierra se realizarán teniendo presente lo que al respecto se especifica en el apartado 7 de la ITC-LAT-07 y lo descrito en el MT 2.23.31.

En el Anexo se dan las configuraciones de tomas de tierra recomendadas.

5. LÍNEA DE ACOMETIDA

5.1. SITUACIÓN Y TRAZADO

La línea subterránea de Acometida partirá desde el punto de entronque de la instalación fotovoltaica proyectada, en el apoyo a sustituir y finaliza en la celda de línea del Centro de Seccionamiento.

Dicha línea tendrá una longitud aproximada de 30 metros y una tensión de funcionamiento de 13,2 kV.

La línea, con arreglo a lo establecido en el Reglamento de Líneas de Alta Tensión, queda clasificada como:

- Línea de 3ª categoría: Tensión nominal superior a 1 kV e inferior a 30 kV.
- Zona B: Altura sobre el nivel del mar entre 500 y 1.000 metros.

5.2. REGLAMENTACIÓN Y NORMA VEGENTE

Para el presente Proyecto se tendrá en cuenta la siguiente reglamentación:

- Real Decreto 1955/2000 del 1 diciembre, por el que se regulan las Actividades de Transporte, Distribución, Comercialización, Suministro y Procedimientos de Autorización Instalaciones de Energía Eléctrica.
- Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en líneas eléctricas de alta tensión y sus instrucciones técnicas complementarias ITC-LAT 01 a 09, aprobado por Real Decreto 223/2008 de 15 de febrero y Correcciones.
- Real Decreto 337/2014, 9 de mayo. Se aprueba el Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en instalaciones eléctricas de alta tensión y sus Instrucciones Técnicas Complementarias ITC-RAT 01 a 23.
- Real Decreto 1110/2007, 24 de agosto. Se aprueba el Reglamento unificado de puntos de medida del sistema eléctrico.

- Real Decreto 1432/2008, 29 de agosto, se establecen medidas de carácter técnico en Líneas Eléctricas de Alta Tensión, con objeto de proteger la avifauna.
- Normas UNE y recomendaciones UNESA que en cada caso sean de obligado cumplimiento.
- Ley 31/1995, de 8 de noviembre. Prevención de Riesgos Laborales.
- Real Decreto 1627/1997, 24 de octubre. Disposiciones mínimas de seguridad y salud en las obras de construcción.
- Real Decreto 485/1997, 14 de abril. Disposiciones mínimas en materia de señalización de seguridad y salud en el trabajo.
- Real Decreto 1215/1997, 18 de julio. Disposiciones mínimas de seguridad y salud para la utilización por los trabajadores de los equipos de trabajo.
- Real Decreto 773/1997, 30 de mayo. Disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la utilización por los trabajadores de equipos de protección individual.
- Ordenanzas Municipales.
- Normas particulares de la Compañía Suministradora de Energía Eléctrica.
- Real Decreto 842/2002, de 2 de agosto, por el que se aprueba el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión.

5.3. SUMINISTRO DE ENERGÍA

Se realizará en el punto de entronque con la línea antes mencionado, debiendo sustituir el propio apoyo por uno nuevo de celosía y fin de línea, que servirá a su vez como punto de entronque de aéreo a subterráneo.

El suministro se realizará a una tensión de 13,2 kV y una frecuencia de 50 Hz.

5.4. DESCRIPCIÓN DE LA LÍNEA

La LSMT partirá del nuevo apoyo de celosía, de fin de línea, 14 m de altura y 3000 daN de esfuerzo en punta de la línea de 13,2 kV perteneciente a "i-DE Redes inteligentes, S.A.U.", que sustituirá al antiguo apoyo de hormigón, de alineación y finalizará en el Centro de Seccionamiento proyectado perteneciente a la instalación fotovoltaica proyectada, canalizándose en zanja subterránea.

Este nuevo apoyo de celosía tendrá la función de conectar la LEAT que actualmente está en funcionamiento con la instalación fotovoltaica proyectada, estando situado en la parcela con referencia catastral 37070A504000490000AW, perteneciente al término municipal de La Calvarrasa de Arriba.

La línea de acometida será de doble circuito, uno de entrada y otro de salida al Centro de Seccionamiento y se realizará mediante el conductor HEPRZ1 12/20 kV 3(1x240) mm² Al, con una longitud aproximada de 30 metros para cada circuito y neutro aislado.

La línea finalizará en el Centro de Seccionamiento mediante sendas celdas de entrada y salida ubicadas en la zona de compañía.

La longitud total de la línea proyectada será de 60 metros, toda ella canalizada bajo tubo corrugado en barras rígidas de 6 metros cada una, enterrado en zanja subterránea.

La toma de tierra del apoyo y la unión entre los elementos conductores de las tierras nunca será superior a 20 Ω , siendo realizada por medio de anillo difusor.

5.5. CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS DE LA LÍNEA

La línea que se proyecta para el servicio será trifásica y de un solo circuito.

La potencia máxima a transportar dependerá de las necesidades demandadas por las cargas a las que alimenta la propia línea, teniendo un máximo marcado por la capacidad de la línea proyectada y la máxima caída de tensión permitida en el tramo que cubre. Así, la potencia máxima que podrá transportar esta línea será de, aproximadamente, 2,3 MW según la tensión de servicio de la red.

La tensión de servicio será de 13,2 kV entre conductores que corresponden a una tensión de 7.621 V entre conductores y tierra.

La frecuencia es de 50 Hz.

5.6. CÁLCULO DE LA LÍNEA SUBTERRÁNEA

5.6.1. CONDUCTORES

Para la línea subterránea se empleará un conductor de aluminio de 240 mm² de sección por fase y neutro aislado, con aislamiento seco de Etileno-Propileno de alto módulo (HEPR) para 12/20 kV. Las características técnicas de este conductor son las siguientes:

• Denominación	UNE: HEPRZ1 Al
• Diámetro exterior	27,6 mm
• Peso	1.570 kg/km
• Sección nominal	240 mm ²
• Capacidad	0,402 μF/Km
• Reactancia	0,102 Ω/Km
• Resistencia óhmica	0,168 Ω/Km
• Aislamiento	Dieléctrico seco
• Tensión máxima entre fases	24.000 V
• Tensión nominal	12/20 kV
• Intensidad admisible en servicio enterrado a 25 °C	365 A

La sección del conductor elegida cumple con la finalidad de poder evacuar la energía generada por nuestra instalación, hacia la LEAT que está tendida con un conductor 47-AL1/8-ST1, cuya intensidad máxima soportada es de 202 A, por lo tanto, podemos asegurar que la sección del cable es la correcta.

5.6.2. CÁLCULOS ELECTRICOS

5.6.2.1. CÁLCULO DE CORRIENTE

Ante la imposibilidad de determinar con exactitud la máxima corriente que tendrá que ser capaz de soportar la línea subterránea proyectada, tomaremos como valor de referencia la corriente máxima admisible del conductor del que se compone la línea, siendo ésta de:

$$I = 365 \text{ A}$$

Así mismo, cabe destacar que es imposible que la corriente que se establezca en la línea en condiciones normales de funcionamiento supere ese valor.

5.6.2.2. RESISTENCIA OHMICA

Este valor viene reflejado en la tabla de características técnicas del conductor, siendo:

$$R = 0,168 \text{ } \Omega/\text{km}$$

5.6.2.3. REACTANCIA APARENTE

La reactancia kilométrica de la línea se calcula empleando la siguiente fórmula:

$$X = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L \text{ (}\Omega/\text{km)}$$

donde:

- X = Reactancia aparente en ohmios por kilómetro
- f = Frecuencia de la red en hertzios = 50 Hz
- L = Coeficiente de autoinducción

A efectos de simplificación, se tomará el valor reflejado en la tabla de características técnicas del conductor:

$$X = 0,102 \Omega/\text{km}$$

5.6.2.4. CAÍDA DE TENSIÓN

La caída de tensión por resistencia y reactancia de una línea (despreciando la influencia de la capacitancia y la permitancia) viene dada por la fórmula:

$$\Delta U = I \cdot (R \cdot \cos\varphi + X \cdot \text{sen}\varphi) \cdot L$$

donde:

- ΔU = Caída de la tensión compuesta, expresada en V
- I = Intensidad de la línea en A
- X = Reactancia por fase en Ω/km
- R = Resistencia por fase en Ω/km
- φ = Angulo de desfase
- L = Longitud de la línea en kilómetros

Teniendo en cuenta que:

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

donde:

- P = Potencia transportada en kilovatios
- U = Tensión compuesta de la línea en kilovoltios

La caída de tensión en tanto por ciento de la tensión compuesta es:

$$\Delta U(\%) = \frac{P \cdot L}{10 \cdot U^2 \cdot \cos\varphi} \cdot (R \cdot \cos\varphi + X \cdot \text{tg}\varphi) = \frac{P \cdot L}{10 \cdot U^2} \cdot (R + X \cdot \text{tg}\varphi)$$

$$P \cdot L = \frac{\Delta U(\%) \cdot 10 \cdot U^2}{(R + X \cdot \text{tg}\varphi)} = \text{Momento eléctrico (kW} \cdot \text{km)}$$

Para el caso que nos ocupa:

$$P \cdot L = \frac{5 \cdot 10 \cdot 13,2^2}{(0,168 + 0,102 \cdot \operatorname{tg}(25,84^\circ))} = 40.074,22 \text{ kW} \cdot \text{km}$$

5.6.2.5. POTENCIA MÁXIMA A TRANSPORTAR

La máxima potencia a transportar está limitada por la intensidad máxima del conductor y es:

$$P_{max} = \sqrt{3} \cdot U \cdot I_{max} \cdot \cos\varphi$$
$$P_{max} = \sqrt{3} \cdot 13,2 \cdot 365 \cdot 0,9 = 7.510,52 \text{ kW}$$

5.6.2.6. PERDIDAS DE POTENCIA

La pérdida de potencia por efecto Joule en una línea viene dada por la expresión:

$$\Delta P = 3 \cdot R \cdot L \cdot I^2$$

donde:

- ΔP = Pérdida de potencia en vatios (W)

La pérdida de potencia en tanto por ciento es:

$$\Delta P(\%) = \frac{P \cdot L \cdot R}{10 \cdot U^2 \cdot \cos\varphi} = \frac{P \cdot L \cdot 0,168}{10 \cdot 13,2^2 \cdot 0,9} = 0,0001071 \cdot P \cdot L$$

donde cada variable se expresa en las unidades anteriormente expuestas.

Sustituyendo los valores conocidos de R y U, se tiene para un $\cos\varphi = 0,90$:

$$\Delta P(\%) = 0,0001071 \cdot P \cdot L = 0,0001071 \cdot 7.510,52 \cdot 0,190 = 0,1528 \%$$

6. CENTRO DE SECCIONAMIENTO

6.1. OBJETO

Este apartado tiene por objeto definir las características del Centro de Seccionamiento que se dispondrá en la parcela con referencia catastral 37070A504000490000AW.

Dicho Centro de Seccionamiento tendrá interiormente una separación física entre la parte del cliente y la compañía distribuidora y dentro de esta última zona se dispondrá un transformador de servicios auxiliares de 250 kVA de potencia.

6.2. CARACTERISTICAS GENERALES DEL CENTRO DE SECCIONAMIENTO

El Centro de Seccionamiento objeto del presente proyecto será de tipo prefabricado de hormigón, empleando para su aparellaje celdas prefabricadas bajo envoltorio metálica según norma UNE-EN 62271-200:2012.

La acometida al mismo será subterránea, siendo alimentado mediante la red subterránea de Media Tensión proyectada a 13,2 kV y una frecuencia de 50 Hz.

El Centro de Seccionamiento estará físicamente dividido en dos partes, una de ellas del usuario y otra de la compañía eléctrica distribuidora.

La zona del cliente contará con una celda de medida de la energía generada en el campo solar fotovoltaico, una celda de protección, una celda de medida de tensión de barras con un transformador de tensión para el PL300 y una celda de línea para conectar esta zona con la zona de la compañía.

El PL300 es relé multifunción electrónico de sincronismo de la marca “Ingeteam” dedicado a la protección y control de las líneas de distribución, se compone entre otros de varios relé cuya finalidad es la de ordenar la actuación de la celda de protección.

Por su parte, la zona de la compañía distribuidora contará con un conjunto compacto formado por 3 celdas de línea telemandadas con interruptor-seccionador de $I_n=400A$ que acciona el motor, destinadas a la entrada y salida de la red de distribución y a la entrada del generador solar

fotovoltaico y una celda de protección del transformador de servicios auxiliares con fusibles de 15A de Intensidad nominal y un interruptor-seccionador de $I_n=400A$.

Por último, dentro de la zona de la compañía, y conectado a la celda de protección se conectará un Transformador de Servicios Auxiliares de 250 kVA (13,2kV / 645V).

El Centro de Seccionamiento también cuenta con un cuadro de distribución para abonados instalado en la parte de la compañía, el cual dará a partir del cual, se distribuye la energía procedente del transformador de servicios auxiliares. El cuadro de distribución será del tipo CBTO AS8 de la marca PRONUTEC.

En el esquema unifilar general de la instalación, plano nº 20 del presente proyecto técnico se puede ver todos los calibres y todos los detalles del Centro de Seccionamiento.

6.3. CARACTERISTICAS GENERALES CELDAS DE MEDIA TENSIÓN

Las celdas a emplear serán modulares, de la serie Normafix de EFACEC o similar.

La celda Normafix es parte de un rango de celdas modulares de interior, aisladas en aire, para Distribución Secundaria desde la generación de energía (eólica, fotovoltaica, entre otras) a la distribución de energía eléctrica para varias industrias y aplicaciones.

Las aplicaciones típicas incluyen:

- Centros de transformación
- Centros de reparto
- Estaciones de distribución de energía pública y privada

Su construcción está estructurada en unidades modulares equipadas con varias funciones, como seccionadores bajo carga e interruptores, lo que permite la integración de varias soluciones.

Responderán, en su concepción y fabricación, a la definición de apartamento bajo envolvente metálica compartimentada de acuerdo con las normas:

- UNE-EN 62271-102:2005
- UNE-EN 60255-1:2010
- UNE-EN 62271-103:2012
- UNE-EN 62271-200:2012
- UNE-EN 62271-105:2013
- UNE-EN 62271-1:2009
- UNE-EN 61000-4-5:2015/A1:2018

6.4. DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACIÓN

6.4.1. OBRA CIVIL

6.4.1.1. DESCRIPCIÓN

El Centro de Seccionamiento consistirá en una caseta prefabricada de hormigón con dos puertas peatonales y una más ancha para el transformador de servicios auxiliares, tipo PUCBET 7BA1T de la marca Efacec, de dimensiones exteriores 7.500 x 2.520 mm, altura de 2.600 mm y peso de 23.000 kg, cuyas características se describen en los próximos apartados.

Este Centro está pensado para contener el transformador de servicios auxiliares de 250 kVA, junto con las siguientes celdas prefabricadas, divididas en dos zonas físicas: una zona del usuario y otra zona de la compañía.

6.4.1.2. CARACTERÍSTICAS

Se trata de una construcción prefabricada de hormigón compacto modelo PUCBET de la marca Efacec.

Las características principales de este centro serán:

- Respetar todas las normas y regulaciones aplicables, garantizando la seguridad en todo momento.
- Fabricado en hormigón armado de alta resistencia y total impermeabilidad.
- Permite usar cualquier tipo de revestimiento o cobertura exterior.
- Puertas y rejillas de ventilación fabricadas en acero galvanizado y pintado.

- Resistente para condiciones climatológicas altamente adversas, así como testado para ambientes sísmicos.
- Simples de integrar en ambientes rurales y urbanos.
- Enorme flexibilidad de uso del espacio interior.
- Adaptado a diversos tipos de equipos (públicos o privados).
- Facilidad de transporte y montaje.
- Bajo coste de fabricación.
- Plazos de entrega reducidos.
- Solución “llave en mano”.
- Especialmente diseñado para equipos de energía renovable.

6.4.2. INSTALACIÓN ELÉCTRICA

6.4.2.1. CARACTERÍSTICAS DE LA RED DE ALIMENTACIÓN

La red de alimentación al centro de transformación será de tipo subterráneo a una tensión de 13,2 kV y 50 Hz de frecuencia.

6.4.2.2. CARACTERÍSTICAS DE LA APARAMENTA DE MEDIA TENSIÓN

El conductor de puesta a tierra estará dispuesto a lo largo de las celdas según UNE-EN 62271-200:2012, y estará dimensionado para soportar la intensidad admisible de corta duración.

Las celdas elegidas para la parte cliente del Centro de Seccionamiento son las celdas de la gama NORMAFIX de la marca Efacec.

Características generales celdas NORMAFIX:

- Tensión nominal:hasta 24 kV
- Nivel de aislamiento:
 - a frecuencia industrial (50 Hz), 1 minuto:50 kV
 - a impulso tipo rayo:125 kV
- Intensidad nominal en barras:630 A
- Intensidad asignada entrada /salida:400 / 630 A
- Intensidad asignada en interruptor:400 / 630 A

- Intensidad nominal admisible de corta duración:16 (3s) /20 (1s) kA
- Poder de cierre:40 / 50 kA
- Grado de protección:IP65, IP3XC, IK09, IK08
- Puesta a tierra.

El conductor de puesta a tierra estará dispuesto a lo largo de las celdas según UNE-EN 62271-200:2012, y estará dimensionado para soportar la intensidad admisible de corta duración.

Embarrado:

El embarrado estará sobredimensionado para soportar, sin deformaciones permanentes, los esfuerzos dinámicos que en un cortocircuito se puedan presentar y que se detallan en el apartado de cálculos.

Celda de línea (IS):

Celda NORMAFIX modular, función de línea o acometida, provista de un interruptor-seccionador bajo carga ISF de tres posiciones (conectado, seccionado y puesto a tierra), modelo IS, de dimensiones: 375 mm de anchura, 970 mm de profundidad y 1.575 mm de altura. Se utiliza para la acometida de entrada o salida de los cables de M.T., permitiendo comunicar con el embarrado del conjunto de celdas generales.

Celda de protección con interruptor (DC):

Celda NORMAFIX modular, función de protección con interruptor de operación en vacío tipo DIVAC, modelo DC, de dimensiones: 750 mm de anchura, 970 mm de profundidad y 1.575 mm de altura. Se utiliza para la interrupción en vacío del embarrado principal del C.S.

Celda de medida (M):

Celda NORMAFIX modular, función de medida, modelo M, de dimensiones: 750 mm de anchura, 890 mm de profundidad y 1.575 mm de altura. Se utiliza para la medida de la tensión y la corriente generada por la instalación solar fotovoltaica asociada (2,30 MW).

Se dispondrá el modelo de entrada de cables y salida de barras.

Celda de transformador de tensión en barras (TT):

Celda NORMAFIX modular, función de medida de tensión, modelo TT, de dimensiones: 375 mm de anchura, 970 mm de profundidad y 1.575 mm de altura. Se utiliza para ofrecerle la información necesaria al dispositivo PL-300.

Características generales celdas FLUOFIX GC:

- Tensión nominal: hasta 24 kV
- Nivel de aislamiento:
 - a frecuencia industrial (50 Hz), 1 minuto:50 kV
 - a impulso tipo rayo:.....125 kV
- Intensidad nominal en barras:400 A
- Intensidad asignada:400 A
- Intensidad asignada en interruptor:.....400 A
- Intensidad nominal admisible de corta duración:16 (3s) /20 (1s) kA
- Poder de cierre:40 kA
- Grado de protección:IP65, IP3XC, IK09, IK08
- Puesta a tierra.

El conductor de puesta a tierra estará dispuesto a lo largo de las celdas según UNE-EN 62271-200:2012, y estará dimensionado para soportar la intensidad admisible de corta duración.

Conjunto de líneas compactas (3IS + CIS):

Celda FLUOFIX GC compacta, se compone de 3 celdas línea y una celda de protección de transformador por fusible, provista de un interruptor-seccionador telemandado de tres posiciones (conectado, seccionado y puesto a tierra) para las celdas de línea modelo IS y un portafusibles e interruptor-seccionador ISFG para la celda de protección del transformador modelo CIS. El conjunto compacto tiene unas dimensiones: 1800 mm de anchura, 900 mm de profundidad y 1.729 mm de altura y se encuentra aislado en SF₆.

Transformador de servicios auxiliares:

- Será una máquina trifásica reductora, siendo la tensión entre fases a la entrada de 13,2 kV y la tensión a la salida de 420V entre fases y 240V entre fases y neutro.

- El transformador a instalar tendrá el neutro accesible en baja tensión y refrigeración natural (ONAN), marca EFACEC, en baño de aceite mineral.

La tecnología empleada será la de llenado integral, a fin de conseguir una mínima degradación del aceite por oxidación y absorción de humedad, así como unas dimensiones reducidas de la máquina y un mantenimiento mínimo.

Sus características mecánicas y eléctricas se ajustarán a la Norma UNE 21428-1-2:2017, siendo las siguientes:

- Potencia nominal:250 kVA
- Tensión nominal primaria: 420 V
- Regulación sin tensión: +/-2,5%, +/-5%, +/-7,5%, +/-10%
- Tensión nominal secundaria:13,2 kV
- Impedancia de cortocircuito:4 %
- Grupo de conexión:Zyn11 - Dyn11
- Nivel de aislamiento:
 - Tensión de ensayo a onda de choque 1,2/50 s 125 kV.
 - Tensión de ensayo a 50 Hz, 1 min, 50 kV

Se ha seleccionado la conexión Zyn11 debido a que esta conexión nos permite obtener una salida trifásica con neutro, esto hace que se puedan obtener las tres fases del sistema trifásico y la referencia a tierra con el neutro creado gracias a esa configuración.

Todas las características específicas de cada celda y sus diferentes valores característicos vienen detallados en el esquema unifilar general de la instalación.

6.4.2.3. CARACTERÍSTICAS MATERIAL VARIO DE ALTA TENSIÓN

Embarrado general celdas NORMAFIX:

El embarrado general de las celdas NORMAFIX está incluido en las propias celdas, conectándose entre ellas mediante el conjunto MINIBET.

Piezas de conexión celdas NORMAFIX:

El elemento empleado para realizar la conexión eléctrica y mecánica entre celdas denominado MINIBET (conjunto de unión) Este elemento permite

la unión del embarrado de las celdas del sistema NORMAFIX, fácilmente y sin necesidad de reponer gas SF₆.

Conectores para las celdas NORMAFIX:

Para la conexión directa a los pasatapas situados en el compartimento de cables, así como para los ubicados en el lateral, se dispondrá de los conectores atornillables. En las salidas a transformador de las funciones de protección con fusibles, se utilizarán conectores enchufables de 400 A. Para la celda de protección con interruptor automático se deberán utilizar conectores apantallados.

6.4.2.4. CARACTERÍSTICAS DE LA APARAMENTA DE BAJA TENSIÓN

Los aparatos de protección en las salidas de Baja Tensión del Centro de Transformación se tratarán en apartados posteriores.

6.5. MEDIDA DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA

La medida de la energía eléctrica generada por el parque fotovoltaico se realizará en Media Tensión mediante la celda de medida (Celda M) descrita anteriormente, dispuesta en el presente Centro de Seccionamiento.

6.6. VENTILACIÓN DEL CENTRO DE SECCIONAMIENTO

La ventilación del centro de seccionamiento se realizará mediante rejillas de entrada y salida de aire dispuestas para tal efecto.

Estas rejillas ya están preinstaladas en el Centro de Seccionamiento prefabricado, están construidas de modo que impidan el paso de pequeños animales, la entrada de agua de lluvia y los contactos accidentales con partes en tensión si se introdujeran elementos metálicos por las mismas.

El caudal de aire que se necesita renovar en el Centro de Seccionamiento varía en función del transformador de servicios auxiliares a utilizar y de la diferencia de temperaturas entre la entrada y la salida.

El calor específico del aire es 1,00488 kJ/kg·°C y 1 m³ de aire seco a 20 °C pesa 1,16 kg, por lo que, 1 m³ de aire absorbe: 1,00488*1,16=1,16 kJ por cada °C de aumento de temperatura.

El caudal de aire a renovar es:

$$Q_{aire} = \frac{P_{FE} + P_{CU}}{1,16 * \Delta T} = \frac{12,5}{1,16 * 5} = 2,155 \text{ m}^3/\text{s}$$

*Tomando como diferencia máxima admisible de temperatura 5 °C, un rendimiento de 99% del transformador y una similitud entre kVA y KW

La velocidad que debe alcanzar el aire es:

$$V_{aire} = 4,6 * \frac{\sqrt{h}}{\Delta T} = 4,6 * \frac{\sqrt{1.626}}{5} = 1,173 \text{ m/s}$$

La superficie teoría que deben tener las rejillas de ventilación es el coeficiente entre los dos términos calculados anteriormente:

$$S_{teorica} = \frac{Q_{aire}}{V_{aire}} = \frac{2,155}{1,173} = 1,841 \text{ m}^2$$

Debido a la forma constructiva de las rejillas de ventilación, se tiene que aplicar un coeficiente de ocupación de las rejillas, para calcular con precisión la superficie mínima que deben tener las rejillas de ventilación, para estos cálculos el factor de corrección a utilizar es de k=0,5; obteniéndose una superficie mínima:

$$S_{total} = \frac{S_{teorica}}{1 - k} = \frac{1,841}{1 - 0,5} = 3,682 \text{ m}^2$$

En el Centro de Seccionamiento seleccionado para el presente proyecto técnico, la superficie que ocupan las rejillas de ventilación sobrepasan en gran medida este valor mínimo calculado, por lo que se puede afirmar que la ventilación es correcta.

6.7. PUESTA A TIERRA

Para realizar un cálculo correcto de la instalación de puesta a tierra del centro de seccionamiento, se ha utilizado el método de UNESA, recogido en el Manual Técnico “Método de cálculo y proyecto de instalaciones de puesta a tierra para centros de transformación conectados a redes de tercera categoría”.

En las instalaciones de alta tensión de tercera categoría de intensidad de cortocircuito a tierra inferior o igual a 16 kA, como es nuestro caso, no es imprescindible realizar una investigación previa de la resistividad del suelo.

Es necesario conocer el valor numérico de la resistividad del terreno, pues de ella dependen tanto la Resistencia de Difusión a Tierra como la distribución de potenciales en el terreno, y como consecuencia, las Tensiones de Paso y Contacto resultantes en la instalación. Se determina la resistividad según el tipo de terreno donde se instala el centro de transformación, según la tabla siguiente, donde la resistividad media superficial en este caso es igual a 500 $\Omega\cdot m$ (terreno arcilloso y poco fértil):

Naturaleza del terreno	Valor medio de la resistividad de Ohm·m
Terrenos cultivables y fértiles, terraplenes compactos y húmedos	50
Terrenos cultivables poco fértiles, terraplenes	500
Suelos pedregosos desnudos, arenas secas permeables	3000

Los neutros de la red de distribución de la empresa están unidos a tierra mediante resistencias de 40 Ω , por lo que en este caso también se une los neutros de los transformadores a tierra mediante resistencia similar, esto limita las corrientes de falta a tierra.

6.7.1. TIERRA DE PROTECCIÓN

Según el “Reglamento sobre condiciones técnica y garantías de seguridad en instalaciones eléctricas de alta tensión”, se conectan a este sistema las partes metálicas de la instalación que no estén en tensión normalmente, pero puedan estarlo a consecuencia de averías o causas fortuitas, tales como los chasis y los bastidores de los aparatos de maniobra, envolventes metálicas de las cabinas prefabricadas y carcasas de los transformadores.

Como ya se ha dicho, para los cálculos a realizar se emplean las expresiones y procedimientos según el "Método de cálculo y proyecto de instalaciones de puesta a tierra para centros de transformación de tercera categoría", editado por UNESA, conforme a las características del centro de transformación objeto del presente cálculo.

Datos de partida:

- Tensión de servicio:13,2 kV
- Régimen de neutro:A tierra
- Nivel de aislamiento de las instalaciones de BT del CT:..... 6.000 V
- Resistividad del terreno:500 $\Omega\cdot\text{m}$

6.7.2. CÁLCULO DE LA RESISTENCIA A TIERRA DE LAS MASAS DEL CENTRO DE SECCIONAMIENTO

En este punto se va a determinar el valor máximo de la resistencia de puesta a tierra, que permita circular una intensidad defecto tal que actúen las protecciones. Por otro lado, se va a calcular la tensión de defecto U_d , que se produzca para que no dañe la instalación.

Para evitar que la sobretensión producida por un defecto en el aislamiento del circuito de alta tensión deteriore los elementos de baja tensión del centro de seccionamiento, el electrodo de puesta a tierra debe tener un efecto limitador, de forma que la tensión de defecto sea inferior a la que soportan dichas instalaciones $U_{bt} = 6 \text{ kV}$.

Para el cálculo de la intensidad de defecto se hace uso de la siguiente expresión:

$$I_d = \frac{U}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(R_n + R_t)^2 + (X_n)^2}}$$

Donde:

- I_d = corriente de defecto (A)
- U = tensión compuesta de la red (V)
- R_t = resistencia de la puesta a tierra de protección del centro de transformación (Ω)
- R_n = Resistencia de la puesta a tierra del neutro de la red, en Ω
- X_n = Reactancia de la puesta a tierra del neutro de red, en Ω

La tensión de defecto se puede calcular mediante la siguiente expresión:

$$R_t \cdot I_d = U_d$$

Donde:

- R_t : Resistencia de la puesta a tierra de protección (Ω)
- I_d : Intensidad de defecto a tierra (A)

- U_d : Tensión de defecto (V)

La resistencia a tierra se obtiene:

$$R_t = \frac{U_d}{I_d}$$

La tensión de defecto debe de ser menor que el nivel de aislamiento en baja tensión:

$$U_d \leq U_{bt}$$

Sustituyendo la expresión de U_d se obtiene:

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

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

Sustituyendo I_d por la expresión vista anteriormente se obtiene:

$$\frac{U}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(R_n + R_t)^2 + (X_n)^2}} \leq \frac{U_{bt}}{R_t}$$

Sustituyendo valores se obtiene el valor mínimo que debe tener la resistencia de la puesta a tierra de protección:

$$\frac{13.200}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(40 + R_t)^2 + (0)^2}} \leq \frac{6.000}{R_t}$$

$$R_t I_d \leq U_{bt}$$

Esto quiere decir que la Resistencia máxima de difusión a tierra es igual a 148 Ω .

Sustituyendo valores se obtiene el valor mínimo de la intensidad de defecto.

$$I_d = \frac{U}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(R_n + R_t)^2 + (X_n)^2}} = \frac{13.200}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(40 + 148)^2 + (0)^2}} = 40,537 \text{ A}$$

El valor de la Intensidad de defecto mínima es igual a $I_d = 40,537 \text{ A}$.

Por cada configuración tipo de electrodos, el método UNESA proporciona una relación de parámetros, expresados en valores unitarios.

- Coeficiente de resistencia de puesta a tierra, K_r ($\Omega / \Omega \text{ m}$)

- Coeficiente de tensión de paso máxima, K_p (V / Ω m) (A)
- Coeficiente de tensión de contacto exterior máxima, K_c (V / Ω m) (A)

A partir del valor de la resistencia de la puesta a tierra de protección calculada anteriormente y de la resistividad del terreno, que es igual a 500 Ω ·m, se obtiene el valor de K_r máximo:

$$R_t = K_r \cdot \rho$$

Donde:

- R_t : Resistencia del sistema de puesta a tierra (Ω)
- K_r : Coeficiente de Resistencia de puesta a tierra (Ω / (Ω ·m))
- ρ : Resistividad del terreno (Ω ·m)

Sustituyendo valores se obtiene:

$$K_r = \frac{148}{500} = 0,296 \Omega / \Omega \cdot m$$

Por lo tanto se necesita un electrodo cuyo Coeficiente de Resistencia no supere 0,296 (Ω / (Ω ·m)).

Seleccionando un valor de K_r inmediatamente inferior al máximo, se tendrá la configuración tipo más económica para la instalación, por lo que se busca en las tablas de UNESA la primera configuración, dentro de las dimensiones 8 m x 3 m que cumple la condición $K_r < 0,296 \Omega / \Omega \cdot m$.

Las características del sistema de tierras de servicio son las siguientes:

Identificación	80-30/5/42
Geometría	Bucle
Nº de picas	Cuatro
Sección de los conductores	50 mm ²
Díámetro de las picas	14 mm
K_r	0,077
K_p	0,0165
K_c	0,0364

6.7.3. CÁLCULO DE LA RESISTENCIA A TIERRA

Con el valor de $K_r = 0,077 \Omega / \Omega$ m que corresponde al electrodo de la configuración elegida y multiplicando por la resistividad del terreno, se obtiene el valor de la resistencia de tierra.

$$R_t = K_r \cdot \rho$$

$$R_t = 0,077 \cdot 500 = 38,50 \Omega$$

6.7.4. CÁLCULO DE LA INTENSIDAD DE DEFECTO

Conocido el valor de la resistencia de puesta a tierra, se puede obtener el valor de la intensidad de defecto real:

$$I_d = \frac{13.200}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(40 + 38,50)^2 + (0)^2}} = 97,08 A$$

6.7.5. CÁLCULO DE LA TENSIÓN DE DEFECTO

Se determina la tensión que aparece al producirse un defecto, multiplicando la resistencia de tierra por la intensidad de defecto:

$$U_d = R_t \cdot I_d$$

$$U_d = 38,50 \cdot 97,08 = 3.737,58 V$$

6.7.6. CÁLCULO DE LA SEPARACIÓN ENTRE LAS TIERRAS DE PROTECCIÓN Y SERVICIO DEL CENTRO DE SECCIONAMIENTO

Para garantizar que el sistema de tierras de protección no transfiera tensiones peligrosas al sistema de tierra de servicio, evitando así que afecten a los usuarios en BT, se establece una separación entre los electrodos de ambos sistemas, de manera que la tensión transferida al neutro de BT no supere los 1000 V, por lo que la tensión de defecto no debe superar los 1.000 V.

En este caso es imprescindible mantener esta separación, al ser la tensión de defecto superior a los 1.000 V indicados.

$$U_d = 5.284,93 > 1.000 V$$

La distancia mínima de separación entre los sistemas de tierras viene dada por la expresión:

$$D \geq \frac{\rho \cdot I_d}{2.000 \cdot \pi}$$

$$D \geq \frac{500 \cdot 97,08}{2.000 \cdot \pi}$$

$$D \geq 7,725 \text{ m}$$

6.7.7. CÁLCULO DE LAS TENSIONES DE PASO EXTERIOR DE PASO DE ACCESO Y CONTACTO EXTERIOR ADMISIBLES

La tensión de paso resultante en el exterior, se obtiene multiplicando el coeficiente de tensión de paso por la resistividad del terreno y la intensidad de defecto:

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

Sustituyendo se obtiene:

$$V_p = 0,0165 \cdot 500 \cdot 97,08 = 800,91 \text{ V}$$

En el piso del Centro de Seccionamiento, se instalará un mallazo electrosoldado, con redondos de diámetro no inferior a 4 mm formando una retícula no superior a 0,30x0,30 m. Este mallazo se conectará como mínimo en dos puntos opuestos de la puesta a tierra de protección del Centro. Dicho mallazo estará cubierto por una capa de hormigón de 10 cm como mínimo. Con esta medida se consigue que la persona que deba acceder a una parte que pueda quedar en tensión, de forma eventual, estará sobre una superficie equipotencial, con lo que desaparece el riesgo por tensión de contacto y de paso interior. De esta forma no será necesario el cálculo de las tensiones de contacto y de paso en el interior, ya que su valor será prácticamente cero.

Asimismo, la existencia de una superficie equipotencial conectada al electrodo de tierra hace que la tensión de paso en el acceso sea equivalente al valor de la tensión de contacto resultante en el exterior.

$$V_p'(acc) = K_C \cdot \rho \cdot I_d = 0,0364 \cdot 500 \cdot 97,08 = 1.766,8 \text{ V}$$

6.7.8. COMPROBACIÓN DE LAS TENSIONES ADMISIBLES

A continuación, se debe comprobar que la tensión de paso calculada es inferior a los valores máximos admisibles definidos en la instrucción ITC-RAT-13. Según indica esta misma norma y teniendo en cuenta la naturaleza de esta instalación (neutro a tierra), el tiempo de defecto se considera infinito, por lo que la tensión de contacto aplicada admisible es de 50V.

La tensión de paso exterior admisible según la instrucción ITC-RAT-13 es igual a:

$$V_p = 10V_{ca} \left[1 + \frac{2 \cdot R_{ac} + 6 \cdot \rho}{1.000} \right]$$

Donde:

- V_p : tensión de paso admisible en el exterior, en Voltios
- V_{ca} : tensión de contacto aplicada admisible según ITC-RAT-13, en Voltios
- R_{a1} : Resistencia adicional del calzado, se estima en 2.000 Ω
- ρ : resistividad del terreno, en $\Omega \cdot m$

Sustituyendo valores se obtiene el valor de la tensión de paso máxima admisible:

$$V_{pa} = 10V_{ca} \left[1 + \frac{2 \cdot R_{ac} + 6 \cdot \rho_s}{1.000} \right] = 10 \cdot 50 \left[1 + \frac{2 \cdot 2.000 + 6 \cdot 500}{1.000} \right] = 4.000 \text{ V}$$

La tensión de paso en el acceso admisible según la instrucción ITC-RAT-13 es igual a:

$$V_p(\text{acc}) = 10V_{ca} \left[1 + \frac{2 \cdot R_{ac} + 3 \cdot \rho + 3 \cdot \rho_H}{1.000} \right]$$

Donde:

- $V_p(\text{acc})$: tensión en el acceso admisible, en Voltio
- V_{ca} : tensión de contacto aplicada admisible según ITC-RAT-13, en Voltios
- R_{a1} : Resistencia adicional del calzado, se estima en 2.000 Ω
- ρ : resistividad del terreno, en $\Omega \cdot m$
- ρ_s : resistividad de la capa superficial, en $\Omega \cdot m$
- $\rho_{s, \text{ corregido}}$: resistividad de la capa superficial corregida siendo ρ_H la resistividad del hormigón, que se estima en 3.000 $\Omega \cdot m$
- h_s : espesor de la capa superficial del hormigón, 0,6 m

Para el cálculo de ρ_s se utiliza un factor de corrección mediante la siguiente fórmula:

$$\begin{aligned}\rho_{s,\text{corregido}} &= C_s \cdot \rho_H = \left(1 - 0,106 \left(\frac{1 - \frac{\rho}{\rho_s}}{2h_s + 1,106} \right) \right) \cdot \rho_H \\ &= \left(1 - 0,106 \left(\frac{1 - \frac{500}{3000}}{2 \cdot 0,6 + 1,106} \right) \right) \cdot 3000 = 0,96 \cdot 3000 \\ &= 2.885,08 \Omega \cdot \text{m}\end{aligned}$$

Sustituyendo valores se obtiene el valor de la tensión de paso máxima admisible:

$$\begin{aligned}V_p(\text{acc}) &= 10V_{ca} \left[1 + \frac{2 \cdot R_{ac} + 3 \cdot \rho + 3 \cdot \rho_{s,\text{corregido}}}{1.000} \right] \\ &= 10 \cdot 50 \left[1 + \frac{2 \cdot 2.000 + 3 \cdot 500 + 3 \cdot 2.885,08}{1.000} \right] = 7.577,62 \text{ V}\end{aligned}$$

A continuación, se comparan los valores calculados con los admisibles para ver si la configuración elegida cumple con los requisitos de seguridad:

Concepto	Valor resultante	Condición	Valor admisible
Tensión de paso resultante en el exterior	$V_p = 800,91 \text{ V}$	\leq	$V_{pa} = 4.000 \text{ V}$
Tensión de paso resultante en el acceso	$V_p(\text{acc}) = 1.766,8 \text{ V}$	\leq	$V_{pa}(\text{acc}) = 7.577,62 \text{ V}$

Respecto a la tensión y la intensidad de defecto:

Concepto	Valor resultante	Condición	Valor admisible
Tensión de defecto	$U_d = 3.737,58 \text{ V}$	\leq	$V_{bt} = 6.000 \text{ V}$
Intensidad de defecto	$I_d = 97,08 \text{ A}$	\leq	$I_d = 1.000 \text{ A}$

6.7.9. TIERRA DE SERVICIO

Debido a que la tensión de defecto es superior a 1.000 V, la tierra de servicio no puede estar unida con la de protección.

La distancia de separación de los sistemas de puesta a tierra de protección y servicio vienen determinados por la siguiente formula:

$$D \geq \frac{\rho \cdot I_d}{2.000 \cdot \pi} = \frac{500 \cdot 97,8}{2.000 \cdot \pi} = 7,78 \text{ m}$$

La resistencia límite de la puesta a tierra de servicio y su coeficiente de resistencia son:

$$R_B = \frac{24}{0,650} = 37 \Omega$$

$$K_{rB} = \frac{R_B}{\rho} = \frac{37}{500} = 0,074 \frac{\Omega}{\Omega \cdot m}$$

Por lo tanto, se necesita un electrodo cuyo Coeficiente de Resistencia no supere 0,074 ($\Omega / (\Omega \cdot m)$).

Seleccionando un valor de K_r inmediatamente inferior al máximo, se tendrá la configuración tipo más económica para la instalación, por lo que se busca en las tablas de UNESA la primera configuración, que cumple la condición $K_r < 0,074 \Omega / \Omega \cdot m$.

Las características del sistema de tierras de servicio son las siguientes:

Identificación	5/62
Geometría	Picas alineadas
Nº de picas	Seis
Sección de los conductores	50 mm ²
Diámetro de las picas	14 mm
K_r	0,073
K_p	0,0120

Con los datos de la puesta a tierra seleccionada, obtenemos una resistencia de tierra de:

$$R_B = \rho \cdot K_{rB} = 500 \cdot 0,073 = 36,5 \Omega$$

6.7.10. CORRECCIÓN DEL DISEÑO INICIAL

No se considera necesario la corrección del sistema proyectado según se pone de manifiesto en las tablas del punto anterior.

6.8. INSTALACIONES SECUNDARIAS

6.8.1. Alumbrado

En el interior del centro de seccionamiento se instalarán un mínimo de dos puntos de luz capaces de proporcionar un nivel de iluminación suficiente para la comprobación y maniobra de los elementos de este. El nivel medio será como mínimo de 150 lux.

Los focos luminosos estarán colocados sobre soportes rígidos y dispuestos de tal forma que se mantenga la máxima uniformidad posible en la iluminación. Además, se deberá poder efectuar la sustitución de lámparas sin peligro de contacto con otros elementos en tensión.

Se dispondrá también un punto de luz de emergencia de carácter autónomo que señalará los accesos al centro de transformación.

6.8.2. Baterías de Condensadores

No se instalarán baterías de condensadores.

6.8.3. Protección contra Incendios

De acuerdo con la instrucción ITC-RAT-14, se dispondrá como mínimo de un extintor de eficacia equivalente 89 B.

6.8.4. Ventilación

La ventilación del centro de seccionamiento se realizará mediante rejillas de entrada y salida de aire dispuestas para tal efecto.

Estas rejillas se construirán de modo que impidan el paso de pequeños animales, la entrada de agua de lluvia y los contactos accidentales con partes en tensión si se introdujeran elementos metálicos por las mismas.

6.8.5. Medidas de Seguridad

Seguridad en celdas de MT:

Las celdas tipo Normafix y tipo Fluofix GC dispondrán de una serie de enclavamientos funcionales que responden a los definidos por la Norma UNE-EN 62271-200:2012, siendo los siguientes:

- Sólo será posible cerrar el interruptor con el seccionador de tierra abierto y con el panel de acceso cerrado.
- El cierre del seccionador de puesta a tierra sólo será posible con el interruptor abierto.
- La apertura del panel de acceso al compartimento de cables sólo será posible con el seccionador de puesta a tierra cerrado.
- Con el panel delantero retirado, será posible abrir el seccionador de puesta a tierra para realizar el ensayo de cables, pero no será posible cerrar el interruptor.
- Permite la condenación de maniobras por candado, tanto del interruptor como del seccionador de puesta a tierra.

Además de los enclavamientos funcionales ya definidos, algunas de las distintas funciones se enclavarán entre ellas mediante cerraduras según se indica en anteriores apartados.

7. POWERBLOCK ELEVADOR

7.1. OBJETO

Este apartado tiene por objeto definir las características del Powerblock en su faceta de Centro de Transformación, que contendrá un Transformador elevador dispuesto en la parcela con referencia catastral 37070A504000490000AW.

7.2. CARACTERISTICAS GENERALES

El inversor - Centro de Transformación objeto de la presente Dirección de Obra es de tipo compacto Powerblock, empleando para su aparellaje celdas prefabricadas bajo envolvente metálica según norma UNE-EN 62271-200:2012.

La acometida al mismo es subterránea, recibiendo la totalidad de la energía procedente del campo fotovoltaico proyectado (2,30 MW de potencia).

El Powerblock contendrá una celda de línea (de salida de la totalidad de la energía hacia el Centro de Seccionamiento), otra celda de línea de reserva, una celda de protección de transformador y un transformador elevador de 2.500 kVA de potencia nominal.

7.2.1. CARACTERISTICAS CELDAS FSMVES

Las celdas a emplear son de la serie FSMVES, celdas modulares de aislamiento en aire equipadas de aparellaje fijo que utiliza el hexafluoruro de azufre como elemento de corte y extinción de arco.

Las celdas FSMVES forman un sistema de equipos modulares de reducidas dimensiones para Media tensión. Cada función dispone de su propia envolvente metálica que alberga una cuba llena de gas SF6, en la cual se encuentran los aparatos de maniobra y embarrado.

La prefabricación de estos elementos, y los ensayos realizados sobre cada celda fabricada, garantizan su funcionamiento en diversas condiciones de temperatura y presión.

Responderán en su concepción y fabricación a la definición de apartamento bajo envolvente metálica compartimentada de acuerdo con las normas:

- UNE-EN 62271-102:2005
- UNE-EN 60255-1:2010
- UNE-EN 62271-103:2012
- UNE-EN 62271-200:2012
- UNE-EN 62271-105:2013
- UNE-EN 62271-1:2009
- UNE-EN 61000-4-5:2015/A1:2018

7.3. DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACIÓN

7.3.1. INSTALACIÓN ELÉCTRICA

7.3.1.1. CARACTERÍSTICAS DE LA RED DE MEDIA TENSIÓN

La red de conexión al Powerblock es de tipo subterráneo a una tensión de 13,2 kV y 50 Hz de frecuencia.

7.3.1.2. CARACTERÍSTICAS DE LA APARAMENTA DE MEDIA TENSIÓN

7.3.1.2.1. CARACTERÍSTICAS GENERALES CELDAS FSMVES

- Tensión nominal:.....24 kV
- Tensión soportada entre fases, y entre fases y tierra:
 - a frecuencia industrial (50 Hz), 1 minuto:.....50 kV ef.
 - a impulso tipo rayo:.....125 kV cresta
- Intensidad nominal en funciones de línea:400-630 A
- Intensidad asignada en interruptor automático:400-630 A
- Intensidad nominal admisible durante un segundo:16/20 kA ef.
- Valor de cresta de la intensidad nominal admisible:40 kA cresta
es decir, 2,5 veces la intensidad nominal admisible de corta duración.
- Puesta a tierra.

El conductor de puesta a tierra estará dispuesto a todo lo largo de las celdas según UNE-EN-62271-200:2012, y estará dimensionado para soportar la intensidad admisible de corta duración.

7.3.1.2.2. EMBARRADO

El embarrado estará sobredimensionado para soportar, sin deformaciones permanentes, los esfuerzos dinámicos que en un cortocircuito se puedan presentar y que se detallan en el apartado de cálculos.

7.3.1.2.3. CELDA DE LÍNEA

Celda modular, función de línea o acometida, provista de un interruptor-seccionador de tres posiciones (conectado, seccionado y puesto a tierra). Se utiliza para la acometida de entrada o salida de los cables de M.T., permitiendo comunicar con el embarrado del conjunto de celdas generales.

Está equipada con:

- Juego de barras interior tripolar de 400 A, tensión de 24 kV y 16 kA
- Remonte de barras de 400 A para conexión superior con otra celda
- Preparación para conexión inferior con cable seco unipolar

7.3.1.2.4. CELDA DE PROTECCIÓN CON INTERRUPTOR – FUSIBLE COMBINADOS

Celda modular, función de protección con fusibles, provista de interruptor-seccionador de tres posiciones (conectado, seccionado y puesta a tierra, antes y después de los fusibles) y protección con fusibles limitadora. Se utiliza para la interrupción en carga del embarrado principal de C.T., conteniendo:

- Interruptor-seccionador de tres posiciones, permite comunicar el embarrado del conjunto de celdas con los cables, cortar la corriente asignada, seccionar esta unión o poner a tierra simultáneamente en las tres bornas de los cables de Media Tensión.

- Protección con fusibles, permitiendo su asociación o combinación con el interruptor.
- Tres cortacircuitos fusibles de alto poder de ruptura con baja disipación térmica, de 24kV, y calibre 160 A.
- Cierre y Apertura del seccionador / seccionador de puesta a tierra
- Cierre y Apertura del interruptor.
- Señalización de posición del seccionador / interruptor.
- Apertura del interruptor.
- Señalización de la fusión de fusibles

7.3.1.2.5. TRANSFORMADOR

- Es una máquina trifásica elevadora de tensión de 2.500 kVA de potencia nominal, siendo la tensión entre fases a la salida en vacío de 13,2 kV y la tensión a la entrada en vacío de 645V entre fases.
- El transformador a instalar tendrá el neutro accesible en baja tensión y refrigeración natural (ONAN), en baño de aceite mineral.

La tecnología empleada es la de llenado integral, a fin de conseguir una mínima degradación del aceite por oxidación y absorción de humedad, así como unas dimensiones reducidas de la máquina y un mantenimiento mínimo.

Sus características mecánicas y eléctricas se ajustarán a la Norma IEC 60076, siendo las siguientes:

- Potencia nominal:.....2.500 kVA
- Tensión nominal primaria:645 V
- Tensión nominal secundaria en vacío:13,2 kV
- Tipo de refrigeración:ONAN (aceite)
- Temperatura exterior:-10 °C ... 50 °C
- Frecuencia de red:50 Hz
- Grupo de conexión:Dy11
- Nivel de aislamiento:
 - Tensión de ensayo a onda de choque 1,2/50 s 125 kV.
 - Tensión de ensayo a 50 Hz, 1 min, 50 kV.

7.3.1.3. CARACTERISTICAS MATERIAL VARIO DE ALTA TENSIÓN

Embarrado general celdas FSMVES:

El embarrado general de las celdas FSMVES está incluido en las propias celdas, pudiendo conectarse fácilmente entre ellas.

Piezas de conexión celdas FSMVES:

El elemento empleado para realizar la conexión eléctrica y mecánica entre celdas permite la unión del embarrado de las celdas del sistema FSMVES, fácilmente y sin necesidad de reponer gas SF₆.

Conectores para las celdas FSMVES:

Para la conexión directa a los pasatapas situados en el compartimento de cables, así como para los ubicados en el lateral, se dispondrá de los conectores atornillables. En las salidas a transformador de las funciones de protección con fusibles, se utilizarán conectores enchufables de 400 A. Para la celda de protección con interruptor automático se deberán utilizar conectores apantallados.

7.3.1.4. CARACTERISTICAS DE LA APARAMEMNTA DE BAJA TENSIÓN

Los aparatos de protección en las salidas de Baja Tensión del Centro de Transformación se tratarán en un apartados posteriores.

7.3.2. MEDIDA DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA

La medida de la energía eléctrica generada por el campo fotovoltaico se realizará en Media Tensión, mediante una celda de medida dispuesta en la zona de cliente del Centro de Seccionamiento.

Esta celda de medida contendrá los transformadores de tensión e intensidad necesarios para la contabilización de la totalidad de la energía generada en el parque solar fotovoltaico de 2,30 MW, objeto del presente proyecto.

7.3.3. PUESTA A TIERRA

7.3.3.1. TIERRA DE PROTECCIÓN

Se conectarán a tierra los elementos metálicos de la instalación que no estén en tensión normalmente, pero que puedan estarlo a causa de averías o circunstancias externas.

Las celdas dispondrán de una pletina de tierra que las interconectará, constituyendo el colector de tierras de protección.

7.3.3.2. TIERRA DE SERVICIO

Se conectará a tierra el neutro del transformador elevador, según se indica en el posterior apartado de "Cálculo de la instalación de puesta a tierra" de este proyecto.

7.3.3.3. TIERRAS INTERIORES

Las tierras interiores del centro de transformación tendrán la misión de poner en continuidad eléctrica todos los elementos que deban estar conectados a tierra con sus correspondientes tierras exteriores.

La tierra interior de protección se realizará con cable de 35 mm² de cobre desnudo formando un anillo. Este cable conectará a tierra los elementos indicados en el apartado anterior e irá sujeto a las paredes mediante bridas de sujeción y conexión, conectando el anillo al final a una caja de seccionamiento con un grado de protección IP54.

La tierra interior de servicio se realizará con cable de 35 mm² de cobre aislado formando un anillo. Este cable conectará a tierra los elementos indicados en el apartado anterior e irá sujeto a las paredes mediante bridas de sujeción y conexión, conectando el anillo al final a una caja de seccionamiento con un grado de protección IP54.

Las cajas de seccionamiento de la tierra de servicio y protección estarán separadas por una distancia mínima de 1 m.

7.3.4. INSTALACIONES SECUNDARIAS

7.3.4.1. ALUMBRADO

En el perímetro del Powerblock se instalarán un mínimo de dos puntos de luz capaces de proporcionar un nivel de iluminación suficiente para la comprobación y maniobra de los elementos de este. El nivel medio es como mínimo de 150 lux.

Los focos luminosos estarán colocados sobre soportes rígidos y dispuestos de tal forma que se mantenga la máxima uniformidad posible en la iluminación. Además, se deberá poder efectuar la sustitución de lámparas sin peligro de contacto con otros elementos en tensión.

7.3.4.2. BATERIAS DE CONDENSADORES

No se instalarán baterías de condensadores.

7.3.4.3. PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS

De acuerdo con la instrucción ITC-RAT 14, se dispondrá como mínimo de un extintor de eficacia equivalente 89 B.

7.3.4.4. MEDIDAS DE SEGURIDAD

Las celdas tipo FSMVES dispondrán de una serie de enclavamientos funcionales que responden a los definidos por la Norma UNE-EN 62271-200:2012, y que son los siguientes:

- Sólo es posible cerrar el interruptor con el seccionador de tierra abierto y con el panel de acceso cerrado.
- El cierre del seccionador de puesta a tierra sólo es posible con el interruptor abierto.
- La apertura del panel de acceso al compartimento de cables sólo es posible con el seccionador de puesta a tierra cerrado.

- Con el panel delantero retirado, es posible abrir el seccionador de puesta a tierra para realizar el ensayo de cables, pero no es posible cerrar el interruptor.
- Permite la condenación de maniobras por candado, tanto del interruptor como del seccionador de puesta a tierra.

Además de los enclavamientos funcionales ya definidos, algunas de las distintas funciones se enclavarán entre ellas mediante cerraduras según se indica en anteriores apartados.

7.4. CÁLCULOS

7.4.1. INTENSIDAD DE MEDIA TENSIÓN

Transformador de 2.500 kVA

En un sistema trifásico, la intensidad primaria I_p viene determinada por la expresión:

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

Siendo:

- S = Potencia del transformador en kVA.
- U = Tensión compuesta primaria en kV = 13,2 kV.

Sustituyendo valores, tendremos:

$$I_p = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U} = \frac{2.500}{\sqrt{3} \cdot 13,2} = 109,346 \text{ A}$$

Siendo, por tanto, la intensidad máxima total primaria de 109,346 Amperios.

7.4.2. INTENSIDAD DE BAJA TENSIÓN

Transformador de 2.500 kVA

En un sistema trifásico la intensidad secundaria I_s viene determinada por la expresión:

$$I_s = \frac{S - W_{Fe} - W_{Cu}}{\sqrt{3} \cdot U}$$

Siendo:

S = Potencia del transformador en kVA.

W_{Fe} = Pérdidas en el hierro. Se estiman en 2,60 kW.

W_{Cu} = Pérdidas en los arrollamientos. Se estiman en 17,00 kW.

U = Tensión compuesta del secundario en kilovoltios = 0,645 kV.

Sustituyendo valores, tendremos:

$$I_s = \frac{S - W_v - W_c}{\sqrt{3} \cdot U} = \frac{2.500 - 2,60 - 17,00}{\sqrt{3} \cdot 0,645} = 2.220,25 \text{ A}$$

Siendo, por tanto, la intensidad máxima total secundaria de 2.220,25 A.

7.4.3. SELECCIÓN DE LAS PROTECCIONES DE ALTA TENSIÓN

Los fusibles son los limitadores de corriente, produciéndose su fusión, para una intensidad determinada, antes de que la corriente haya alcanzado su valor máximo. De todas formas, esta protección debe permitir el paso de la punta de corriente producida en la conexión del transformador en vacío, soportar la intensidad en servicio continuo y sobrecargas eventuales y cortar las intensidades de defecto en los bornes del secundario del transformador.

Como regla práctica, simple y comprobada, que tiene en cuenta la conexión en vacío del transformador y evita el envejecimiento del fusible, se puede verificar que la intensidad que hace fundir al fusible en 0,1 segundo es siempre superior o igual a 14 veces la intensidad nominal del transformador.

La intensidad nominal de los fusibles se escogerá, por tanto, en función de la potencia del transformador a proteger.

Potencia del transformador = 2.500 kVA
Intensidad nominal del fusible de M.T. = 160 A

Dicha protección viene incluida en el centro Powerblock.

7.4.4. CÁLCULO DE LAS INSTALACIONES DE PUESTA A TIERRA

Para realizar un cálculo correcto de la instalación de puesta a tierra del centro de seccionamiento, se ha utilizado el método de UNESA, recogido en el Manual Técnico “*Método de cálculo y proyecto de instalaciones de puesta a tierra para centros de transformación conectados a redes de tercera categoría*”.

En las instalaciones de alta tensión de tercera categoría de intensidad de cortocircuito a tierra inferior o igual a 16 kA, como es nuestro caso, no es imprescindible realizar una investigación previa de la resistividad del suelo.

Es necesario conocer el valor numérico de la resistividad del terreno, pues de ella dependen tanto la Resistencia de Difusión a Tierra como la distribución de potenciales en el terreno, y como consecuencia, las Tensiones de Paso y Contacto resultantes en la instalación. Se determina la resistividad según el tipo de terreno donde se instala el centro de transformación, según la tabla siguiente, donde la resistividad media superficial en este caso es igual a 500 $\Omega\cdot m$ (terreno arcilloso y poco fértil):

Naturaleza del terreno	Valor medio de la resistividad de Ohm·m
Terrenos cultivables y fértiles, terraplenes compactos y húmedos	50
Terrenos cultivables poco fértiles, terraplenes	500
Suelos pedregosos desnudos, arenas secas permeables	3000

Los neutros de la red de distribución de la empresa están unidos a tierra mediante resistencias de 40 Ω , por lo que en este caso también se une los neutros de los transformadores a tierra mediante resistencia similar, esto limita las corrientes de falta a tierra.

7.4.4.1. TIERRA DE PROTECCIÓN

Según el “Reglamento sobre condiciones técnica y garantías de seguridad en instalaciones eléctricas de alta tensión”, se conectan a este sistema las partes metálicas de la instalación que no estén en tensión normalmente, pero puedan estarlo a consecuencia de averías o causas fortuitas, tales como los chasis y los bastidores de los aparatos de maniobra, envolventes metálicas de las cabinas prefabricadas y carcasas de los transformadores.

Como ya se ha dicho, para los cálculos a realizar se emplean las expresiones y procedimientos según el "Método de cálculo y proyecto de instalaciones de puesta a tierra para centros de transformación de tercera categoría", editado por UNESA, conforme a las características del centro de transformación objeto del presente cálculo.

Datos de partida:

- Tensión de servicio:13,2 kV
- Régimen de neutro:A tierra
- Nivel de aislamiento de las instalaciones de BT del CT:6.000 V
- Resistividad del terreno:500 Ω -m

7.4.4.2. CÁLCULO DE LA RESISTENCIA A TIERRA DE LAS MASAS DEL CENTRO DE SECCIONAMIENTO

En este punto se va a determinar el valor máximo de la resistencia de puesta a tierra, que permita circular una intensidad defecto tal que actúen las protecciones. Por otro lado, se va a calcular la tensión de defecto U_d , que se produzca para que no dañe la instalación.

Para evitar que la sobretensión producida por un defecto en el aislamiento del circuito de alta tensión deteriore los elementos de baja tensión del centro de seccionamiento, el electrodo de puesta a tierra debe tener un efecto limitador, de forma que la tensión de defecto sea inferior a la que soportan dichas instalaciones $U_{bt} = 6$ kV.

Para el cálculo de la intensidad de defecto se hace uso de la siguiente expresión:

$$I_d = \frac{U}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(R_n + R_t)^2 + (X_n)^2}}$$

Donde:

- I_d = corriente de defecto (A)
- U = tensión compuesta de la red (V)
- R_t = resistencia de la puesta a tierra de protección del centro de transformación (Ω)
- R_n = Resistencia de la puesta a tierra del neutro de la red, en Ω
- X_n = Reactancia de la puesta a tierra del neutro de red, en Ω

La tensión de defecto se puede calcular mediante la siguiente expresión:

$$R_t \cdot I_d = U_d$$

Donde:

- R_t Resistencia de la puesta a tierra de protección (Ω)
- I_d : Intensidad de defecto a tierra (A)
- U_d : Tensión de defecto (V)

La resistencia a tierra se obtiene:

$$R_t = \frac{U_d}{I_d}$$

La tensión de defecto debe de ser menor que el nivel de aislamiento en baja tensión:

$$U_d \leq U_{bt}$$

Sustituyendo la expresión de U_d se obtiene:

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

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

Sustituyendo I_d por la expresión vista anteriormente se obtiene:

$$\frac{U}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(R_n + R_t)^2 + (X_n)^2}} \leq \frac{U_{bt}}{R_t}$$

Sustituyendo valores se obtiene el valor mínimo que debe tener la resistencia de la puesta a tierra de protección:

$$\frac{13.200}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(40 + R_t)^2 + (0)^2}} \leq \frac{6.000}{R_t}$$

$$R_t I_d \leq U_{bt}$$

Esto quiere decir que la Resistencia máxima de difusión a tierra es igual a 148 Ω .

Sustituyendo valores se obtiene el valor mínimo de la intensidad de defecto.

$$I_d = \frac{U}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(Rn + Rt)^2 + (Xn)^2}} = \frac{13.200}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(40 + 148)^2 + (0)^2}} = 40,537 \text{ A}$$

El valor de la Intensidad de defecto mínima es igual a $I_d = 40,537 \text{ A}$.

Por cada configuración tipo de electrodos, el método UNESA proporciona una relación de parámetros, expresados en valores unitarios.

- Coeficiente de resistencia de puesta a tierra, K_r ($\Omega / \Omega \text{ m}$)
- Coeficiente de tensión de paso máxima, K_p ($V / \Omega \text{ m}$) (A)
- Coeficiente de tensión de contacto exterior máxima, K_c ($V / \Omega \text{ m}$) (A)

A partir del valor de la resistencia de la puesta a tierra de protección calculada anteriormente y de la resistividad del terreno, que es igual a 500 $\Omega \cdot \text{m}$, se obtiene el valor de K_r máximo:

$$R_t = K_r \cdot \rho$$

Donde:

- R_t : Resistencia del sistema de puesta a tierra (Ω)
- K_r : Coeficiente de Resistencia de puesta a tierra ($\Omega / (\Omega \cdot \text{m})$)
- ρ : Resistividad del terreno ($\Omega \cdot \text{m}$)

Sustituyendo valores se obtiene:

$$K_r = \frac{148}{500} = 0,296 \Omega / \Omega \cdot \text{m}$$

Por lo tanto se necesita un electrodo cuyo Coeficiente de Resistencia no supere 0,296 ($\Omega / (\Omega \cdot \text{m})$).

Seleccionando un valor de K_r inmediatamente inferior al máximo, se tendrá la configuración tipo más económica para la instalación, por lo que se busca en las tablas de UNESA la primera configuración, dentro de las dimensiones 8 m x 2,5 m que cumple la condición $K_r < 0,296 \Omega / \Omega \cdot \text{m}$.

Las características del sistema de tierras de servicio son las siguientes:

Identificación	80-25/5/42
Geometría	Bucle
Nº de picas	Cuatro
Sección de los conductores	50 mm ²
Diámetro de las picas	14 mm
K _r	0,067
K _p	0,0139
K _c	0.0587

7.4.4.3. CÁLCULO DE LA RESISTENCIA A TIERRA

Con el valor de $K_r = 0,067 \Omega / \Omega \text{ m}$ que corresponde al electrodo de la configuración elegida y multiplicando por la resistividad del terreno, se obtiene el valor de la resistencia de tierra.

$$R_t = K_r \cdot \rho$$

$$R_t = 0,067 \cdot 500 = 33,50 \Omega$$

7.4.4.4. CÁLCULO DE LA INTENSIDAD DE DEFECTO

Conocido el valor de la resistencia a tierra, se puede obtener el valor de la intensidad de defecto real:

$$I_d = \frac{13.200}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(40 + 33,50)^2 + (0)^2}} = 103,68 \text{ A}$$

7.4.4.5. CÁLCULO DE LA TENSIÓN DE DEFECTO

Se determina la sobretensión que aparece al producirse un defecto, multiplicando la resistencia de tierra por la intensidad de defecto:

$$U_d = R_t \cdot I_d$$

$$U_d = 33,50 \cdot 103,68 = 3.473,53 \text{ V}$$

7.4.4.6. CÁLCULO DE LA SEPARACIÓN ENTRE LAS TIERRAS DE PROTECCIÓN Y SERVICIO DEL CENTRO DE SECCIONAMIENTO

Para garantizar que el sistema de tierras de protección no transfiera tensiones peligrosas al sistema de tierra de servicio, evitando así que afecten a los usuarios en BT, se establece una separación entre los electrodos de ambos sistemas, de manera que la tensión transferida al neutro de BT no supere los 1000 V, por lo que la tensión de defecto no debe superar los 1.000 V.

En este caso es imprescindible mantener esta separación, al ser la tensión de defecto superior a los 1.000 V indicados.

$$U_d = 3.473,53 > 1.000 V$$

La distancia mínima de separación entre los sistemas de tierras viene dada por la expresión:

$$D \geq \frac{\rho \cdot I_d}{2.000 \cdot \pi}$$

$$D \geq \frac{500 \cdot 103,68}{2.000 \cdot \pi}$$

$$D \geq 8,25 m$$

7.4.4.7. CÁLCULO DE LA TENSION DE PASO EXTERIOR Y LA TENSION DE PASO DE ACCESO

La tensión de paso resultante en el exterior, se obtiene multiplicando el coeficiente de tensión de paso por la resistividad del terreno y la intensidad de defecto:

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

Sustituyendo se obtiene:

$$V_p = 0,0139 \cdot 500 \cdot 103,68 = 720,57 V$$

En el piso del Centro de Transformación, se instalará un mallazo electrosoldado, con redondos de diámetro no inferior a 4 mm formando una retícula no superior a 0,30x0,30 m. Este mallazo se conectará como mínimo en dos puntos opuestos de la puesta a tierra de protección del Centro. Dicho

mallazo estará cubierto por una capa de hormigón de 10 cm como mínimo. Con esta medida se consigue que la persona que deba acceder a una parte que pueda quedar en tensión, de forma eventual, estará sobre una superficie equipotencial, con lo que desaparece el riesgo por tensión de contacto y de paso interior. De esta forma no será necesario el cálculo de las tensiones de contacto y de paso en el interior, ya que su valor será prácticamente cero.

Asimismo, la existencia de una superficie equipotencial conectada al electrodo de tierra, hace que la tensión de paso en el acceso sea equivalente al valor de la tensión de contacto resultante en el exterior.

$$V_p'(acc) = K_C \cdot \rho \cdot I_d = 0,0587 \cdot 500 \cdot 103,68 = 3.043 V$$

7.4.4.8. COMPROBACIÓN DE LAS TENSIONES ADMISIBLES

A continuación, se debe comprobar que la tensión de paso calculada es inferior a los valores máximos admisibles definidos en la instrucción ITC-RAT-13. Según indica esta misma norma y teniendo en cuenta la naturaleza de esta instalación (neutro a tierra), el tiempo de defecto se considera infinito, por lo que la tensión de contacto aplicada admisible es de 50 V.

La tensión de paso exterior admisible según la instrucción ITC-RAT-13 es igual a:

$$V_p = 10V_{ca} \left[1 + \frac{2 \cdot R_{ac} + 6 \cdot \rho}{1.000} \right]$$

Donde:

- V_p : tensión de paso admisible en el exterior, en Voltios
- V_{ca} : tensión de contacto aplicada admisible según ITC-RAT-13, en Voltios
- R_{a1} : Resistencias adicionales del calzado, se estima en 2.000 Ω
- ρ : resistividad del terreno, en $\Omega\cdot m$

Sustituyendo valores se obtiene el valor de la tensión de paso máxima admisible:

$$V_{pa} = 10V_{ca} \left[1 + \frac{2 \cdot R_{ac} + 6 \cdot \rho_S}{1.000} \right] = 10 \cdot 50 \left[1 + \frac{2 \cdot 2.000 + 6 \cdot 500}{1.000} \right] = 4.000 V$$

La tensión de paso en el acceso admisible según la instrucción ITC-RAT-13 es igual a:

$$V_p(acc) = 10V_{ca} \left[1 + \frac{2 \cdot R_{ac} + 3 \cdot \rho + 3 \cdot \rho_H}{1.000} \right]$$

Donde:

- $V_p(acc)$: tensión en el acceso admisible, en Voltios
- V_{ca} : tensión de contacto aplicada admisible según ITC-RAT-13, en Voltios
- R_{a1} : Resistencia adicional del calzado, se estima en 2.000 Ω
- ρ : resistividad del terreno, en $\Omega \cdot m$
- ρ_s : resistividad de la capa superficial, en $\Omega \cdot m$
- $\rho_{s, corregido}$: resistividad de la capa superficial corregida siendo ρ_H la resistividad del hormigón, que se estima en 3.000 $\Omega \cdot m$
- h_s : espesor de la capa superficial del hormigón, 0,6 m

Para el cálculo de ρ_s se utiliza un factor de corrección mediante la siguiente formula:

$$\begin{aligned} \rho_{s, corregido} &= C_s \cdot \rho_H = \left(1 - 0,106 \left(\frac{1 - \frac{\rho}{\rho_s}}{2h_s + 1,106} \right) \right) \cdot \rho_H \\ &= \left(1 - 0,106 \left(\frac{1 - \frac{500}{3000}}{2 * 0,6 + 1,106} \right) \right) \cdot 3000 = 0,96 \cdot 3000 \\ &= 2.885,08 \Omega \cdot m \end{aligned}$$

Sustituyendo valores se obtiene el valor de la tensión de paso máxima admisible:

$$\begin{aligned} V_p(acc) &= 10V_{ca} \left[1 + \frac{2 \cdot R_{ac} + 3 \cdot \rho + 3 \cdot \rho_{s, corregido}}{1.000} \right] \\ &= 10 \cdot 50 \left[1 + \frac{2 \cdot 2.000 + 3 \cdot 500 + 3 \cdot 2.885,08}{1.000} \right] = 7.577,62 V \end{aligned}$$

A continuación, se comparan los valores calculados con los admisibles para ver si la configuración elegida cumple con los requisitos de seguridad:

Concepto	Valor resultante	Condición	Valor admisible
Tensión de paso resultante en el exterior	$V_p = 720,57 \text{ V}$	\leq	$V_{pa} = 4.000 \text{ V}$
Tensión de paso resultante en el acceso	$V_p (\text{acc}) = 3.0343 \text{ V}$	\leq	$V_{pa} (\text{acc}) = 7.577,62 \text{ V}$

Respecto a la tensión y la intensidad de defecto:

Concepto	Valor resultante	Condición	Valor admisible
Tensión de defecto	$U_d = 3.473,53 \text{ V}$	\leq	$V_{bt} = 6.000 \text{ V}$
Intensidad de defecto	$I_d = 103,68 \text{ A}$	\leq	$I_d = 1.000 \text{ A}$

7.4.4.9. PUESTA A TIERRA DE SERVICIO

Debido a que la tensión de defecto es superior a 1.000 V, la tierra de servicio no puede estar unida con la de protección.

La distancia de separación de los sistemas de puesta a tierra de protección y servicio vienen determinados por la siguiente formula:

$$D \geq \frac{\rho \cdot I_d}{2.000 \cdot \pi} = \frac{500 \cdot 97,8}{2.000 \cdot \pi} = 7,78 \text{ m}$$

La resistencia límite de nuestro sistema de tierra y su coeficiente de resistencia son:

$$R_B = \frac{24}{0,650} = 37 \Omega$$

$$K_{r_B} = \frac{R_B}{\rho} = \frac{37}{500} = 0,074 \frac{\Omega}{\Omega \cdot m}$$

Por lo tanto, se necesita un electrodo cuyo Coeficiente de Resistencia no supere 0,074 ($\Omega / (\Omega \cdot m)$).

Seleccionando un valor de K_r inmediatamente inferior al máximo, se tendrá la configuración tipo más económica para la instalación, por lo que se busca en las tablas de UNESA la primera configuración, que cumple la condición $K_r < 0,074 \Omega / \Omega \cdot m$.

Las características del sistema de tierras de servicio son las siguientes:

Identificación	5/62
Geometría	Picas alineadas
Nº de picas	Seis
Sección de los conductores	50 mm ²
Diámetro de las picas	14 mm
K_r	0,073
K_p	0,0120

Con los datos de la puesta a tierra seleccionada, obtenemos una resistencia de tierra de:

$$R_B = \rho \cdot K_{r_B} = 500 \cdot 0,073 = 36,5 \Omega$$

7.4.4.10. CORRECCIÓN DL DISEÑO INICIAL

No se considera necesario la corrección del sistema proyectado según se pone de manifiesto en las tablas del punto anterior.

8. GENERADOR SOLAR FOTOVOLTAICO

8.1. INTRODUCCIÓN

8.1.1. REGLAMENTACIÓN Y NORMATIVA VIGENTE

Para la ejecución de esta instalación solar fotovoltaica son de aplicación las siguientes normativas:

- Ley 24/2013 del Sector Eléctrico.
- Real Decreto - Ley 15/2018, de 5 de octubre, de medidas urgentes para la transición energética y la protección de los consumidores.
- Real Decreto 1955/2000, por el que se regulan las actividades de transporte, distribución, comercialización, suministro y procedimientos de autorización de instalaciones de energía eléctrica.
- Real Decreto 413/2014, por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica a partir de fuentes de energía renovables, cogeneración y residuos.
- Decreto 127/2003, por el que se regulan los procedimientos de autorizaciones administrativas de instalaciones de energía eléctrica en Castilla y León.
- Real Decreto 842/2002, Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión.

8.1.2. SITUACIÓN Y CLIMATOLOGÍA

La instalación se haya ubicada en Polígono 504, Parcela 49, La Saturnina, Calvarrasa de Arriba (Salamanca) y cuya referencia catastral es 37070A504000490000AW.

La parcela tiene una superficie total de 51.554 m², de la cual la instalación solar fotovoltaica relacionada con este proyecto ocupará una superficie aproximada de 15.000 m².

Por su situación, cuenta con los siguientes parámetros geográficos:

Latitud: 40° 53' 29" Norte
Longitud: 05° 35' 41" Oeste
Altitud: 860 metros

La provincia de Salamanca tiene un clima mediterráneo caracterizado por la ausencia de lluvias en los meses estivales y fuertemente condicionado por su continentalidad, que se refleja en los largos y fríos inviernos (5 meses). Por el contrario, los veranos son cortos (2 meses) y sus temperaturas no son muy elevadas, así podemos observar temperaturas medias en el mes de agosto en torno a los 20°C.

8.2. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO CONECTADO A RED

Una central solar fotovoltaica con estructura fija conectada a red está formada por los siguientes elementos: placas solares, estructura soporte, diodos de “by-pass”, diodos de bloqueo, inversores, fusibles, cables, terminales y otros dispositivos de protección contra sobretensiones (varistores, seccionadores, interruptores automáticos), cajas de conexión, así como la instalación de toma de tierra y protecciones contra contactos indirectos.

Los módulos o placas solares pueden tener, en principio, cualquier tipo de asociación entre ellas. En este proyecto se ha adoptado la configuración de 248 grupos de 30 módulos en serie cada uno, distribuidos de forma equitativa entre los 7 cuadros de corriente continua (5 cuadros con 37 grupos de paneles cada uno, 1 cuadro con 38 grupos de paneles y 1 cuadro con 25 grupos de paneles). Estos cuadros de CC se conectarán directamente al inversor ubicado en la parte central de la parcela que alberga la instalación fotovoltaica proyectada en el presente documento técnico. De esta forma, se consiguen la tensión e intensidad deseadas para la instalación.

Para los grupos de módulos conectados en serie con tensiones en circuito abierto superiores a 30 voltios, es necesario instalar, en paralelo con cada uno, diodos de “by-pass” que permiten un camino alternativo a la corriente alrededor de una serie de células cuando alguna de las que conforman dicha hilera está parcialmente destruida o sombreada. Normalmente los fabricantes incorporan uno o dos de estos componentes.

Los diodos de bloqueo se conectan en serie con cada grupo serie principalmente en el caso de grandes instalaciones, como es nuestro caso. Cuando existen muchas ramas en paralelo, es conveniente disponer en serie con cada rama de un diodo de bloqueo para impedir que las ramas menos iluminadas actúen como cargas de las más iluminadas, en situaciones de cielo parcialmente nublado, como puede ser nuestro caso.

Los fusibles protegen a los conductores de sobreintensidades, instalándose cuando el generador fotovoltaico está compuesto de varias ramas en paralelo, en los conductores que conectan la intensidad generada en dichas ramas. No obstante, en un diseño adecuado del cableado de un generador fotovoltaico, los cables o conductores que lo forman deberán tener la suficiente sección para permitir el paso de la máxima corriente generada (intensidad de la rama o suma de las intensidades de cortocircuito de las ramas en paralelo asociadas) sin sobrecalentarse y/o sin presentar caídas de tensión según la normativa actual vigente (Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión).

Por todo ello, la mayoría de las veces que se utilizan fusibles en serie con las ramas de un generador fotovoltaico, van asociados a seccionadores que permitirán aislar dicho generador fotovoltaico del equipo o equipos a él conectados (por ejemplo, para mantenimiento).

Las cajas de conexión son también muy importantes y numerosas en el generador fotovoltaico. Una mala conexión debida a un mal apriete del terminal o corrosión de éste por una inadecuada estanqueidad de la caja, puede inutilizar una o varias ramas.

Otros componentes fundamentales de un generador fotovoltaico son los varistores, o dispositivos de protección contra sobretensiones producidas por descargas atmosféricas. Estos actúan como verdaderos fusibles de tensión y se instalan, en general, entre los terminales positivo y negativo de una rama o asociación de ramas y entre cada uno de dichos terminales y la tierra de todas las masas metálicas del generador y/o sistema fotovoltaico: Estructura y marcos metálicos de módulos, carcasas de cuadros eléctricos, inversores, etc. Van tarados a una determinada tensión y son aislantes hasta que se llega a dicha tensión momento en el que pasan a conducir, quedando inutilizados después de su actuación por lo que es necesaria su sustitución.

Finalmente, la estructura soporte del generador fotovoltaico, la cual sirve para unir y hacer rígida la asociación serie/paralelo de los módulos que la componen. Deberá estar diseñada para soportar todas las cargas mecánicas que pudieran presentarse en cada caso: viento, nieve, contracciones y dilataciones por cambios de temperaturas, etc. La estructura soporte deberá garantizar la estanqueidad, permitiendo fácilmente, en todo caso la reposición o sustitución de cualquier módulo.

La estructura a instalar se caracteriza por disponer los paneles fotovoltaicos en una lámina, sin contacto entre ellos, favoreciendo su ventilación, permitiéndoles dilatarse libremente y minimizando su resistencia estructural al viento.

Cabe destacar que la localización exacta de los paneles fotovoltaicos se respeta un retranqueo mínimo de 10 metros al límite de las parcelas adyacentes, y de 15 metros con el eje de la carretera que circula al este de la parcela (Carretera comarcal "CL-510") y una distancia mínima de 6 metros al eje de las líneas aéreas de media tensión que transcurren por la parcela.

8.2.1. MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

Los módulos solares fotovoltaicos son los elementos básicos de los que se compone un sistema fotovoltaico. Su función es captar la energía procedente del sol y transformarla en energía eléctrica. Están formados por un conjunto de células de silicio interconectadas entre ellas, capaces de transformar en electricidad esa energía procedente del sol.

La producción depende directamente de la cantidad de fotones que inciden en su superficie (irradiancia), por lo que cuanto mayor sea la capacidad de captación de esos fotones, mayor será la producción.

Habitualmente podemos encontrar esas células solares encapsuladas y montadas sobre una estructura metálica. Dependiendo de la manera en la que se fabrican las células, serán de un tipo u otro; podemos diferenciar dos tipos de módulos en función de la disposición de sus átomos.

- Células Cristalinas: Se diferencian dos modelos de células cristalinas, las células de silicio monocristalinas y las células de silicio policristalinas. Las células monocristalinas están constituidas por un solo cristal de grandes dimensiones que es cortado en laminas finas; las células policristalinas se constituyen mediante varios cristales.

- Células Amorfas: Se fabrican dejando una película de silicio en forma de vapor encima de una superficie de acero, se consiguen células de menor densidad energética que las células cristalinas; su uso está reducido a situaciones muy específicas.

En nuestro caso las células de las que se componen los paneles solares de los que se compone la instalación son policristalinas, actualmente el coste de los paneles constituidos con células policristalinas es más barato a igual potencia con respecto a los paneles con células monocristalinas aunque la tendencia está cambiando.

8.2.2. UNIDAD DE ACONDICIONAMIENTO DE POTENCIA: INVERSOR

El dispositivo fundamental de un sistema fotovoltaico conectado a red es el inversor. Funciona como interfase entre el generador fotovoltaico y la red eléctrica. De este modo, el sistema fotovoltaico conectado a red forma parte de los sistemas de generación que alimentan dicha red. En esta instalación se dispondrá un inversor centralizado de 2.300 kW de potencia nominal.

El inversor debe seguir la frecuencia a la tensión correspondiente de la red a la que se encuentre conectado. La forma de onda de la corriente de salida del inversor deberá ser lo más senoidal posible para minimizar el contenido de armónicos inyectados a la red. A este respecto, se recomiendan los valores incluidos en la norma CEI 555/1/2/3 (Comité Electrotécnico Internacional) equivalente a la norma CENELEC EN 60 555/1/2/3 (Comité Europeo de Normalización Electrotécnica) y equivalente a su vez a la norma AENOR UNE-806-90/1/2/3 (Asociación Española de Normalización). El contenido de estas normas incluye la distorsión armónica máxima en corriente, en tanto por ciento sobre la fundamental, dependiendo del número de orden del armónico, producida por un receptor conectado a la red.

Por supuesto, estos valores se consideran válidos cuando no existe distorsión armónica en la onda de tensión proveniente de la red.

Los inversores deberán extraer la máxima potencia posible del generador fotovoltaico. Esto se consigue con un dispositivo que normalmente suelen incorporar este tipo de equipos, denominado “seguidor del punto de máxima potencia”. Se trata de un dispositivo electrónico incorporado en el inversor y que varía cada determinado tiempo (de uno a varios minutos) la tensión de entrada del inversor (o tensión de salida del generador fotovoltaico), hasta que el punto de V-I de salida (Potencia de salida) del generador se hace máximo.

En resumen, los inversores a utilizar en sistemas fotovoltaicos conectados a red deben reunir las siguientes características generales: Alta eficiencia en condiciones nominales (>90%), así como en condiciones de baja insolación (>80% para valores de irradiancia $\geq 1,50 \text{ MW/C m}^2$); bajo contenido de armónicos de intensidad (THD < 5%), gran fiabilidad, peso reducido, bajo nivel de emisión acústica, etc.

8.2.3. PROTECCIONES

Además de las protecciones ya comentadas, un sistema fotovoltaico conectado a red debe incluir una serie de protecciones, tanto en la parte de continua como en la parte de alterna, que garanticen su buen funcionamiento a la par que un buen nivel de seguridad para el usuario y/o del personal de mantenimiento, semejante a los sistemas eléctricos de generación/consumo convencionales.

Así, en la zona de continua y desde el punto de vista de funcionamiento del sistema, una buena toma de tierra de la estructura soporte, asegura un buen camino para la corriente causada por una descarga atmosférica que se produzca accidentalmente sobre ella. Por tanto, en la mayoría de los casos y sobre todo en las zonas de riesgo de este tipo de fenómenos, la estructura soporte y/o los marcos metálicos de los módulos, así como todas las carcasas metálicas del equipamiento eléctrico incluido en un sistema de estas características, han de ponerse a tierra, a menos que exista o se instale un pararrayos que proteja el área en el que dicha estructura soporte fuera instalada, debido a la posibilidad de acoplamiento vía tierra.

Sobre la puesta a tierra de las partes activas del generador fotovoltaico, existe controversia. En el artículo 690-41 del Reglamento Electrotécnico de EEUU (NEC- National Electrical Code) se explicita que uno de los polos activos de un generador fotovoltaico ha de ponerse a tierra. Sin embargo, en Europa, es práctica común dejar el circuito en flotación, instalando varistores para protección contra sobretensiones.

Asimismo, desde el punto de vista de la seguridad personal, para prevenir choques eléctricos en usuarios y/o personal de mantenimiento cuando la tensión del sistema sea igual o superior a 100 V_{DC}, se instalará un dispositivo suficientemente sensible (100 mA, 25 °C, 1.000 W/m²) que detecte corrientes de fuga del sistema a través de tierra y, en caso de contacto, actúe, cortocircuitando el sistema a tierra. Además, dicho mecanismo deberá poder actuarse manualmente con el mismo fin, evitando así cualquier riesgo de accidente durante las labores de mantenimiento correspondientes.

En la zona de alterna a la salida del inversor, deberá disponerse un transformador para suministro trifásico, en el que su neutro irá también conectado a tierra. Por supuesto, en todos los casos es imprescindible una protección diferencial contra los contactos indirectos. También es necesaria la instalación de dos relés, uno de máxima y otro de mínima tensión que actúen sobre un interruptor automático de desconexión. Dichos relés están ya incluidos en el propio inversor.

Además, en la zona de alterna se instalará un interruptor magnetotérmico de intensidad nominal adecuada para la protección de la instalación.

Se resumen a continuación las características técnicas generales en cuanto a funcionamiento, que deben reunir los sistemas fotovoltaicos conectados a la red, incluyendo los límites en la fluctuación de tensión y frecuencia que la propia red pueda tener.

- Fluctuación de Tensión: la tensión debe mantenerse entre el 85% y el 110% de su valor nominal.
- Fluctuaciones de frecuencia: La frecuencia debe mantenerse entre 49 y 51 Hz para el adecuado funcionamiento del sistema fotovoltaico.
- Compensación del factor de potencia: $\cos\phi > 0,86$ (inductivo).
- Caída de tensión máxima permitida: $\Delta V = 5\%$ V nominal.
- Distorsión total armónica máxima: THD < 5%.

8.3. DISEÑO DE LA INSTALACIÓN

8.3.1. DATOS INICIALES

El proyecto consiste en la generación y posterior evacuación de energía eléctrica a la tensión de 13,2 kV, en un punto de conexión dado. Mediante este sistema venderemos la totalidad de la energía generada por la instalación.

La potencia total del campo generador es de 2.455.200 W_p a 1.119,80 V_{CC}, en corriente continua, siendo convertida posteriormente en corriente alterna trifásica mediante un inversor Powerblock de 2.285.000 W, siendo ésta la potencia nominal de la instalación (2.285.000 W).

Como el rendimiento del inversor es mayor cuanto más próximos estamos a su potencia nominal y con el fin de optimizar el balance energético, es primordial que la potencia pico del campo fotovoltaico sea mayor a la potencia nominal del inversor. Para evitar en la medida de lo posible la operación del inversor a media carga, la potencia pico del campo fotovoltaico nunca debe ser menor que la potencia nominal del inversor.

De esta forma vemos que la potencia fotovoltaica instalada es de 2.455.200 W_p, mientras que la potencia en inversor es de 2.285.000 W, resultando un ratio de 1,075.

8.3.2. UBICACIÓN DE LOS INVERSORES Y LOS CUADROS ELÉCTRICOS

Los cuadros de corriente continua estarán distribuidos uniformemente por toda la zona de paneles, situados bajo la estructura metálica junto a los grupos fotovoltaicos que recogen, de forma que se minimice al máximo el cableado necesario y se consiga una mejor eficiencia en la instalación.

Por otra parte, el inversor forma parte del conjunto Powerblock, situándose en la zona central de la parcela. En dicho Powerblock también se dispondrá el transformador elevador (645V/13,2kV), así como las protecciones necesarias en Media Tensión a través de la celda de protección.

La medida de la energía eléctrica se realizará en Media Tensión mediante la correspondiente celda de medida ubicada en la zona de cliente del Centro de Seccionamiento, ubicado en la zona Oeste de la parcela.

La ubicación exacta de todos los equipos puede verse en el plano nº 3.

8.3.3. ESTRUCTURA SOPORTE

Para fijar las placas al suelo, se opta por utilizar una estructura soporte modular, variable y ampliable para la instalación de módulos fotovoltaicos.

La estructura portante es de acero galvanizado, las conexiones (tornillos, tuercas y placas de sujeción) de acero V2A.

El dimensionado de los perfiles de montaje como correas articuladas permite una carga de viento de **90 km/h**, y una carga de nieve de 1,2 kN/m² (lo equivalente a una capa de nieve de 1,20 m de espesor).

Los módulos quedarán anclados al suelo mediante estructura fija con una inclinación de 30° y una orientación perfectamente Sur, según estudio topográfico.

Los módulos se enclavan sobre los perfiles de soporte. Los componentes de las conexiones de apriete son de acero V2A.

8.3.4. DISEÑO DE LA CENTRAL FOTOVOLTAICA

En un sistema fotovoltaico conectado a red, como ya se ha indicado, se tienen los siguientes elementos: módulos, estructura soporte, diodos de “by-

pass”, diodos de bloqueo, inversores, fusibles, cables, terminales y otros dispositivos de protección contra sobretensiones, así como cajas de conexión, etc.

8.3.4.1. MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

Según se ha indicado anteriormente, se dispondrán un total de 7.440 módulos solares fotovoltaicos de 330 W_P, conformando una potencia total del campo generador de 2.455.200 W_P.

El modelo de panel fotovoltaico escogido será el IBS72P-330, de Iberian Solar.

Sus características en condiciones estándar son las siguientes:

Características del módulo a 1.000 W/m², 25°C	
Modelo	IBS72P-330
Potencia nominal P _{max}	330 W
Tolerancia	<5 %
Tipo de célula	Policristalina
Células por modulo	72
Tensión punto de máxima potencia M _{pp} , V _{mp}	37,30 V
Corriente punto de máxima potencia M _{pp} , I _{mp}	8,74 A
Tensión de circuito abierto V _{oc}	45,80 V
Corriente de cortocircuito I _{cc}	9,15 A
Máximo voltaje del sistema	1.500 V
Longitud	1.956 mm
Características del módulo a 1.000 W/m², 25°C	
Anchura	992 mm
Espesor (sin caja)	35 mm
Peso	22,5 kg
Tipo de marco	Aluminio anodizado
Coeficiente de temperatura de corriente I _{cc}	+0,050 %/°C
Coeficiente de temperatura de voltaje V _{oc}	-0,310 %/°C
Coeficiente de temperatura de potencia P _{max}	-0,410 %/°C

8.3.4.2. CONFIGURACIÓN DEL CAMPO GENERADOR

Como se ha indicado anteriormente, el campo generador consta de un total de 7.440 módulos solares de 330 W_P.

En cuanto a su distribución eléctrica, el campo generador se compone de 248 grupos de 30 módulos en serie cada uno, siendo la tensión a máxima potencia de cada grupo de 1.119,00 V_{CC} y la corriente de máxima potencia de 8,74 A_{CC}, en condiciones estándar.

La distribución del cableado es a través de polos separados recogidos en el cuadro de corriente continua correspondiente (siete en total), en los que se situarán los polos positivo y negativo separados para evitar los posibles contactos de los dos polos a la vez, mediante unos separadores de material aislante.

Esta instalación fotovoltaica está compuesta por siete cuadros de corriente continua y un inversor; los cuadros de corriente continua se conectan directamente al inversor. Para la conversión de la corriente continua del campo fotovoltaico en alterna para su inyección a la red, se ha dispuesto un inversor Powerblock de 2.300 kW.

Las series de paneles se conectarán al cuadro de corriente continua correspondiente mediante líneas canalizadas al aire bajo la estructura metálica, salvo cuando sea necesario salvar la distancia entre dos filas de paneles, que pasará a canalizarse en zanja subterránea.

De cada cuadro de corriente continua saldrá una línea que, canalizada en subterráneo, llegará al inversor. En dichas líneas los polos positivos y negativos se dispondrán separados mediante material aislante para evitar el contacto entre sus partes activas.

Posteriormente, a la salida del inversor se dispondrá de un transformador de 2.500 kVA para aumentar la tensión del sistema a 13,2 kV, la necesaria para la conexión a la red de distribución de la zona, propiedad de “i-DE Redes Inteligentes, S.A.U.” El propio transformador se ubicará junto al inversor, conformando el conjunto Powerblock.

Finalmente, tal y como se describe en anteriores apartados, del Powerblock parte una nueva línea subterránea, con conductor HEPR-Z1 Al de 95 mm² por fase canalizado en zanja subterránea, que se conecta en el Centro de Seccionamiento ubicado al Oeste de la parcela objeto del proyecto, el Centro de Seccionamiento se conecta al Punto de Entronque (apoyo a sustituir) mediante una línea de entrada y salida al mismo.

Con anterioridad a la conexión, y en la zona de cliente del propio Centro de Seccionamiento, se medirá la energía generada en el campo fotovoltaico mediante la correspondiente celda de medida, descrita en el apartado dedicado a la Media Tensión.

La localización de los equipos, así como el trazado de las líneas eléctricas puede verse en el plano nº3.

Los conductores utilizados en Baja Tensión para la realización del cableado que une los distintos elementos de la instalación son unipolares con las siguientes características:

Exterior (grupos de paneles hasta cuadros de corriente continua):

- Denominación técnica: RV-K 0,6/1 kV
- No propagador de la llama: UNE 60332-1-2:2005/A11:2016
- Conductor de cobre: Clase 5
- Aislamiento: XLPE (Polietileno reticulado)
- Cubierta: PVC tipo DMV-18
- Temperatura máxima: 90°
- Construcción (Cu) según: UNE 21123-2:2017
- Utilización: Distribución de energía en Baja Tensión, en exterior para instalaciones fijas.

Exterior subterráneo (resto de la instalación hasta Powerblock):

- Denominación técnica: XZ1-Al 0,6/1 kV
- No propagador de la llama: UNE 60332-1-2:2005/A11:2016
- Conductor de aluminio: Clase 5
- Aislamiento: XLPE (Polietileno reticulado)
- Cubierta: PVC tipo DMV-18
- Temperatura máxima: 90°
- Construcción (Al) según: UNE 21123:2017
- Utilización: Distribución de energía en Baja Tensión, en exterior para instalaciones fijas.

La sección de estos conductores está calculada para que no se produzcan caídas de tensión superiores al 1,5% en la parte de corriente continua ni al 1.5% en la parte de corriente alterna.

Los positivos y negativos de cada grupo de módulos se conducirán separados y debidamente protegidos.

Las secciones empleadas, según se justifica en el capítulo de cálculos, son las siguientes:

Parte de corriente continua:

- *Cableado de todos los grupos de paneles:* dos conductores unipolares de cobre de 4 mm² de sección.
- *Cableado desde extremos de los grupos de paneles a cuadros de corriente continua:* dos conductores unipolares de cobre de 6 mm² de sección.
- *Cableado desde los cuadros de corriente continua hasta los inversores:* dos conductores tripolares de aluminio de 3x150 mm² de sección en los 6 primeros cuadros y dos conductores tripolares de aluminio de 2x185 mm² de sección para el cuadro 7.

Parte de corriente alterna:

- *Cableado desde el Powerblock al Centro de Seccionamiento (punto de conexión):* una terna de cables unipolares de aluminio aislado de 95 mm² de sección para las fases directamente enterrado.
- *Cableado desde el Centro de Seccionamiento al apoyo de celosía a sustituir (punto de conexión):* una terna de cables unipolares de aluminio aislado de 240 mm² de sección para las fases instalado bajo tubo corrugado.

La forma de instalación de los conductores entre paneles se realizará al aire, abrazados a la estructura mediante elementos de sujeción adecuados que no dañen el conductor ni debiliten la estructura (bridas de sujeción, etc.).

A partir de entonces, el cableado alternará fases al aire bajo la estructura de paneles y subterráneo cuando tenga que cruzar el pasillo existente entre dos filas de paneles, hasta ser íntegramente subterráneo en los tramos que unen los cuadros de corriente continua con el Powerblock.

También es totalmente subterráneo el tramo que une el Powerblock con el Centro de Seccionamiento, canalizándose los conductores directamente enterrados en zanja subterránea.

El trazado de las líneas eléctricas puede verse en el plano nº 11.

8.3.4.3. SISTEMA DE CONVERSIÓN

Para la conversión de la potencia eléctrica en corriente continua proveniente del campo generador y su posterior ondulación para satisfacer los requerimientos de inyección a red, se empleará un inversor centralizado modelo HEMK FS2285K de 2.285.000 W de potencia nominal.

HEMK es un inversor solar modular que ofrece las ventajas tanto de los inversores centrales como los de strings. Alcanzando una potencia de salida de 2.365 MW como máximo a 50°C, a una tensión de salida de 645 V.

Su etapa de potencia se basa en el inversor HEC V1500, incluye un optimizado diseño mecánico que permite reemplazar módulos fácilmente en campo sin la necesidad de personal especializado.

El sistema de refrigeración "Cyclone drive" permite instalar el inversor HEMK en los ambientes más agresivos y a la vez mantener la más alta eficiencia con la estación más compacta.

8.3.4.4. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS INVERSOR

Características eléctricas	
Salida máxima de CA	2.365.000 W
Potencia nominal CA	2.285.000 kVA
Rango de voltaje de entrada CC de MPPT	913 a 1310 Vcc
Distorsión de corriente CA (THD)	< 3%
Eficiencia máxima del inversor	98,81%
Euro eficiencia	98,43%
Máxima corriente CC	2.645 Acc
Máxima corriente CA	2.117 Aca

Características mecánicas	
Rango de temperatura en funcionamiento	-35°C a 60°C (sin reducción de potencia)
Peso de la unidad	5.500 kg
Dimensiones de la unidad (AxPxL)	3.700 x 2.200 x 2.200 mm
Ruido acústico	< 79 dBA
Nivel de protección	IP55
Características y opciones	
Refrigeración	Ventilación forzada
Pantalla	LCD a color táctil
Comunicaciones	Ethernet, USB, 2 x RS232, 2 entradas para control remoto (desconexión y EPO del inversor) y 3 relés de señales de estado operativo. RS485 (versión de ranura)
Normativa y seguridad	
EMC	EN61000-6-4, EN61000-6-2, EN61000-3-11, EN61000-3-12
Seguridad	UL1741, CSA 22.2 No.107.1-16, UL62109-1, IEC62109-1, IEC62109-2
Directiva	Directiva de baja tensión: 2006/95/EC, EMC Directiva: 2004/108/EC
Criterios de enlace a la red eléctrica	CEI 0-16, A70, PO12.3

8.3.5. PROTECCIONES Y PUESTA A TIERRA

En este apartado se indican las protecciones requeridas para salvaguardar tanto a los equipos que forman parte de la instalación, como a las personas que en un momento dado puedan entrar en contacto con ella.

8.3.5.1. PROTECCIONES DEL CAMPO FOTOVOLTAICO

El principal inconveniente que presenta la protección del generador fotovoltaico es que, debido a la curva de funcionamiento de los paneles, una situación de cortocircuito entre bornes no presenta unas condiciones de funcionamiento especialmente anormales, de ahí que este hecho sea difícil de detectar.

La detección a partir de sobreintensidades presenta el problema de que, dependiendo de la radiación, la curva de funcionamiento del panel se desplaza y puede darse el caso de que un cortocircuito en situaciones de baja radiación presente menos intensidad que las condiciones de funcionamiento normal a mayor radiación. De hecho, el dimensionado de los conductores y demás equipos en continua se realiza para las condiciones de cortocircuito nominal, que presentará la corriente máxima que pueda establecerse.

Debido al tipo de conexión de los polos aislados de tierra, cualquier pérdida de aislamiento en una de las fases o contacto accidental con alguna parte metálica o personas, no presenta peligro alguno para las instalaciones, ni frente a intensidades pasantes ni frente a tensiones de contacto excesivas (>24 V), por lo tanto, la opción de protección que nos queda es emplear cables con un elevado nivel de aislamiento, y la distribución con los polos de los circuitos de manera separada. Asimismo, de manera periódica se harán comprobaciones del nivel de aislamiento de la instalación con un equipo de detección de corrientes de fuga.

Las protecciones empleadas en la instalación se detallan a continuación:

- Diodos de by-pass: Permiten un camino alternativo a la corriente alrededor de una asociación en serie de células cuando alguna está parcialmente sombreada o defectuosa, evitando la formación de puntos calientes que puedan destruir el panel. En este caso los propios paneles traen incorporados los diodos de by-pass.
- Diodos de bloqueo: Instalamos diodos en el terminal positivo de cada hilera en serie para evitar posibles circulaciones de corriente desde las filas más productivas hacia otras que generen menos, debido a dispersión, a sobrecalentamientos parciales o avería de alguna célula.
- Fusibles: Se disponen en el polo positivo de la asociación en serie con funciones de seccionamiento del circuito, sobre todo en caso de realizar labores de mantenimiento. Estarán calibrados en 12 A.
- Varistor: Se instalan a la entrada de cada cuadro de corriente continua entre los terminales positivo, negativo y la tierra de todas las masas, para proteger frente a las sobretensiones producidas principalmente por descargas atmosféricas.
- Interruptor-Seccionador de corte en carga: Su misión principal es de corte y seccionamiento del circuito generador, permitiendo aislarlo del sistema de conversión. En nuestro caso, para la parte de continua

utilizaremos un interruptor-seccionador de 30 kA de poder de corte y curva C, especial para circuitos alimentados por corriente continua. Se dispondrá un interruptor-seccionador de 400 A para los 6 primeros cuadros y de 315 A para el cuadro 7, ubicados todos ellos en la cabecera de cada cuadro de corriente continua.

8.3.5.2. PROTECCIONES EN CORRIENTE ALTERNA B.T.

Nótese que la protección ha de ser en ambos sentidos: por un lado, se debe proteger a la red de distribución de perturbaciones provenientes del sistema de generación solar, y por otro hay que proteger la instalación solar fotovoltaica de las posibles incidencias existentes en la red de distribución de Baja Tensión. Se instalarán las siguientes protecciones:

- Relés: Estos actuarán de forma que separen el campo fotovoltaico de la red de distribución en Baja Tensión:
 - 1) Un relé de mínima y máxima tensión, de forma que las fluctuaciones de ésta se mantengan en torno a un 10 %.
 - 2) Un relé de frecuencia que la mantenga entre 49 y 51 Hz.

Estos relés vienen incluidos dentro del módulo de los inversores. Además, los inversores también disponen de protecciones térmicas automáticas adecuadas a su potencia, no siendo necesaria la instalación de un cuadro de protecciones anexo.

8.3.5.3. MEDIDA DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA

La medida de la energía eléctrica generada en el campo fotovoltaico se realiza en Media Tensión mediante la celda de medida ubicada en el Centro de Seccionamiento, habiendo sido descrita en el apartado correspondiente.

8.3.5.4. PUESTA A TIERRA

8.3.5.4.1. RESISTENCIA MÁXIMA DE PUESTA A TIERRA

El sistema de puesta a tierra se dimensiona de forma que su resistencia de tierra, en cualquier circunstancia previsible, no sea superior al valor especificado para ella en cada caso.

Este valor de resistencia de tierra es tal que cualquier masa no pueda dar lugar según la instrucción ITC-BT-18 “referente a instalaciones de puesta a tierra” a tensiones de contacto superiores a:

- 24 V en local o emplazamiento conductor.
- 50 V en los demás casos.

La configuración de la instalación que se ha establecido en la parte de continua es la “configuración flotante o aislada de tierra” del generador, tipo IT, esto es, sus dos polos se encuentran aislados de tierra. La baja probabilidad de un fallo permanente, unida a la muy baja probabilidad de un segundo fallo consecutivo, son justificantes suficientes para elegir la configuración IT para el circuito de continua.

En términos de seguridad, esta situación es equivalente a la que se logra con el interruptor diferencial. Para la implantación de este sistema, se exige como requisito que la resistencia de aislamiento entre generador y tierra anterior a la ocurrencia de la derivación sea tan alta como para limitar la corriente de derivación a un máximo de 100 mA. Esta condición se cumple normalmente ya que las resistencias de los generadores son del orden de megaohmios.

No obstante, lo anterior, la propiedad de ser red aislada sólo se puede asegurar si se realiza una vigilancia del aislamiento, circunstancia que así se efectúa mediante un dispositivo capaz de medir la tensión de aislamiento: vigilante de aislamiento o controlador permanente de aislamiento, en este caso ya se instala un vigilante de aislamiento permanente integrado en el inversor.

Para determinar la resistencia máxima de puesta a tierra se hace uso de las condiciones antes mencionadas. Sustituyendo valores en la siguiente expresión se obtiene:

$$R_{Tmax} = \frac{V}{I} = \frac{24}{0,1} = 240\Omega$$

Cálculo de la resistencia a tierra:

$$K_r = \frac{R}{\rho} = \frac{240}{500} = \frac{0,48 \Omega}{\Omega} \cdot m$$

Se elige una configuración similar a la geometría de la instalación a proteger cuya resistencia máxima a tierra sea inferior a K_r . No obstante, no hay ninguna configuración estándar según el método UNESA que coincida con dicha geometría, por tanto, se adopta la siguiente configuración que coincide con esas dimensiones y se estudia su viabilidad.

Datos de la configuración:

- Configuración: picas en hilera
- Numero de picas: 55 (Distribuidas equitativamente en la instalación)
- Longitud de picas: 2 m
- Profundidad de picas: 0,5 m

Las picas se unen entre sí con conductor desnudo de cobre 50 mm², y una longitud total de 600 m.

8.3.5.4.2. CÁLCULO DE RESISTENCIA DE CADA PICA

$$R_p = \frac{\rho}{L}$$

- R_p : Resistencia de una pica.
- ρ : Resistividad que presenta el terreno, iguala a 500 $\Omega \cdot m$
- L : longitud de la pica [m]

Sustituyendo valores en la expresión se obtiene:

$$R_p = \frac{500}{2} = 250 \Omega$$

8.3.5.4.3. CÁLCULO DE LA RESISTENCIA DEL CONJUNTO DE PICAS

$$R_{55p} = \frac{1}{55 \cdot \frac{1}{R_p}}$$

Donde:

- R_{49p} : Resistencia del conjunto de las 49 picas.
- R_p : Resistencia de una pica

Sustituyendo valores en la expresión se obtiene:

$$R_{55p} = \frac{1}{55 \cdot \frac{1}{250}} = 4,54 \Omega$$

8.3.5.4.4. CÁLCULO DE LA RESISTENCIA DEL CONDUCTOR DESNUDO

$$R_C = \frac{2 \cdot \rho}{L}$$

Donde:

- R_C : Resistencia del conductor de cobre desnudo.
- ρ : Resistividad que presenta el terreno, iguala a $500 \Omega \cdot m$
- L : longitud del conductor [m]

$$R_C = \frac{2 \cdot 500}{600} = 1,666 \Omega$$

8.3.5.4.5. RESISTENCIA DEL CONJUNTO DE PICAS MÁS CONDUCTOR DESNUDO

$$R_{Total} = \frac{1}{\frac{1}{R_{55p}} + \frac{1}{R_C}}$$

Sustituyendo valores en la expresión se obtiene:

$$R_{Total} = \frac{1}{\frac{1}{4,54} + \frac{1}{1,666}} = 1,219 \Omega$$

$$R_{Total} \leq R_{tmax}$$

La resistencia total es inferior a la máxima admisible, por lo que se concluye que esta configuración es correcta.

Todas las partes metálicas de los elementos de corriente continua se unen a esta tierra de protección, como son la estructura metálica soporte, marco de los paneles, envolventes de los cuadros de corriente continua, borne de tierra de protección de corriente continua del inversor, etc.

8.4. CÁLCULOS Y RESULTADOS

En el presente capítulo se pretende dar justificación de los cálculos necesarios para la realización de la instalación.

8.4.1. CÁLCULOS DE LA INSTALACIÓN

8.4.1.1. CÁLCULO DE LA SECCIÓN DE LOS CONDUCTORES

La sección de los conductores, según indica la ITC-BT-40 debe ser tal que se cumplan tres condiciones:

- La caída de tensión total sea inferior al 3% (máximos de 1,5% en la parte de continua y 1.5% en la parte de alterna).
- Los conductores deberán ser dimensionados para una intensidad no inferior al 125% de la máxima intensidad del generador.
- En caso de cortocircuito, la energía pasante durante el tiempo de defecto debe ser inferior al límite máximo.

Se utilizará cable con doble aislamiento de polietileno reticulado (XLPE) con tensión de aislamiento 1.000 V.

Como ya se ha indicado, el campo fotovoltaico está formado por 248 grupos de 30 módulos en serie cada uno, ubicados sobre suelo.

De cada grupo de paneles saldrá un polo positivo y otro negativo, canalizándose por separado hasta llegar al cuadro de corriente continua correspondiente (siete en total).

Los cuadros de corriente continua se conectarán directamente al inversor (PowerBlock), según la tabla mostrada en el apartado de Configuración del Campo Fotovoltaico, y este al Transformador del propio conjunto PowerBlock.

Según estas distribuciones, se han realizado los cálculos de las secciones de los conductores teniendo en cuenta las caídas de tensión máximas permitidas, que para la parte de continua son del 1,5%, y para la parte de alterna del 1,50%.

La conexión del inversor con el Transformador viene preinstalada y diseñada como conjunto, por lo que no se tienen en cuenta las caídas procedentes de esta conexión.

Las siguientes expresiones nos dan las secciones a instalar en función de las caídas de tensión fijadas:

- En corriente continua:

$$e = \frac{2 \cdot P \cdot l}{\gamma \cdot V \cdot S} \qquad P = I \cdot V$$

- En corriente alterna:

-

Monofásica: $e = \frac{2 \cdot P \cdot l}{\gamma \cdot V \cdot S} \qquad P = I \cdot V \cdot \cos\phi$

Trifásica: $e = \frac{P \cdot l}{\gamma \cdot V \cdot S} \qquad P = \sqrt{3} \cdot I \cdot V \cdot \cos\phi$

Donde:

- e = Caída de tensión en Voltios
- P = Potencia en Watios
- V = Tensión en Voltios
- I = Intensidad en Amperios
- l = Longitud en Metros
- γ = Conductividad cobre en función de la temperatura que soportará el conductor, según las siguientes expresiones:

$$T = 40 + (T_{\text{máx}} - 40) \left(\frac{I_n}{I_{\text{máx}}} \right)^2$$

$$\gamma = \gamma_{20} [1 + \alpha(T - 20)]$$

Donde:

- T es la temperatura que deberá soportar el conductor, en °C
- $T_{\text{máx}}$ es la máxima temperatura del aislamiento (XLPE = 90°C)
- I_n es la corriente nominal que circulará por el conductor, en A
- $I_{\text{máx}}$ es la máxima corriente que soporta el conductor, en A

- γ_{20} es la conductividad a 20°C del Cu ($56 \frac{m}{\Omega \cdot mm^2}$) ó Al ($35,70 \frac{m}{\Omega \cdot mm^2}$)
- α es el coeficiente de temperatura del conductor ($3,90 \cdot 10^{-3} K^{-1}$)

La siguiente tabla nos refleja, empleando las expresiones anteriores, la caída de tensión en los diferentes tramos de la instalación, junto a la longitud de dicho tramo y la corriente que circula por él. A partir del Powerblock, la instalación es en corriente alterna en Media Tensión a 13.200 V.

En el tramo 2 (series a cuadros de CC), se resalta la serie más desfavorable para cada uno de los 7 cuadros de CC.

Tramo 1: Común	Long. (m)	Imáx. (A)	Caída Tensión (%)	Tensión Trabajo (V)	Secc. a emplear por fase (mm ²)
Cableado series de paneles	30	8,85	0,230%	1119,0	4 mm ² Cu

DISEÑO Y CÁLCULO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA DE 2,3 MW Y
SU CONEXIÓN A LA RED DE MEDIA ENSIÓN

Tramo 2: Series-CC	Long. (m)	Imáx. (A)	Caída Tensión (%)	Tensión Trabajo (V)	Secc. a emplear por fase (mm ²)
1001 a CC1	55	8,85	0,288%	1119,0	6 mm ² Cu
1002 a CC1	50	8,85	0,262%	1119,0	6 mm ² Cu
1003 a CC1	50	8,85	0,262%	1119,0	6 mm ² Cu
1004 a CC1	45	8,85	0,236%	1119,0	6 mm ² Cu
1005 a CC1	45	8,85	0,236%	1119,0	6 mm ² Cu
1006 a CC1	50	8,85	0,262%	1119,0	6 mm ² Cu
1007 a CC1	65	8,85	0,341%	1119,0	6 mm ² Cu
1008 a CC1	40	8,85	0,210%	1119,0	6 mm ² Cu
1009 a CC1	30	8,85	0,157%	1119,0	6 mm ² Cu
1010 a CC1	40	8,85	0,210%	1119,0	6 mm ² Cu
1011 a CC1	50	8,85	0,262%	1119,0	6 mm ² Cu
1012 a CC1	65	8,85	0,341%	1119,0	6 mm ² Cu
1013 a CC1	35	8,85	0,184%	1119,0	6 mm ² Cu
1014 a CC1	30	8,85	0,157%	1119,0	6 mm ² Cu
1015 a CC1	30	8,85	0,157%	1119,0	6 mm ² Cu
1016 a CC1	60	8,85	0,315%	1119,0	6 mm ² Cu
1017 a CC1	60	8,85	0,315%	1119,0	6 mm ² Cu
1018 a CC1	90	8,85	0,472%	1119,0	6 mm ² Cu
1019 a CC1	90	8,85	0,472%	1119,0	6 mm ² Cu
1020 a CC1	50	8,85	0,262%	1119,0	6 mm ² Cu
1021 a CC1	40	8,85	0,210%	1119,0	6 mm ² Cu
1022 a CC1	20	8,85	0,105%	1119,0	6 mm ² Cu
1023 a CC1	50	8,85	0,262%	1119,0	6 mm ² Cu
1024 a CC1	65	8,85	0,341%	1119,0	6 mm ² Cu
1025 a CC1	85	8,85	0,446%	1119,0	6 mm ² Cu
1026 a CC1	100	8,85	0,524%	1119,0	6 mm ² Cu
1027 a CC1	60	8,85	0,315%	1119,0	6 mm ² Cu
1028 a CC1	45	8,85	0,236%	1119,0	6 mm ² Cu
1029 a CC1	40	8,85	0,210%	1119,0	6 mm ² Cu
1030 a CC1	55	8,85	0,288%	1119,0	6 mm ² Cu
1031 a CC1	70	8,85	0,367%	1119,0	6 mm ² Cu
1032 a CC1	85	8,85	0,446%	1119,0	6 mm ² Cu
1033 a CC1	100	8,85	0,524%	1119,0	6 mm ² Cu

Tramo 2: Series-CC	Long. (m)	Imáx. (A)	Caída Tensión (%)	Tensión Trabajo (V)	Secc. a emplear por fase (mm²)
1034 a CC1	70	8,85	0,367%	1119,0	6 mm ² Cu
1035 a CC1	55	8,85	0,288%	1119,0	6 mm ² Cu
1036 a CC1	40	8,85	0,210%	1119,0	6 mm ² Cu
1037 a CC1	55	8,85	0,288%	1119,0	6 mm ² Cu
2038 a CC2	70	8,85	0,367%	1119,0	6 mm ² Cu
2039 a CC2	85	8,85	0,446%	1119,0	6 mm ² Cu
2040 a CC2	100	8,85	0,524%	1119,0	6 mm ² Cu
2041 a CC2	60	8,85	0,315%	1119,0	6 mm ² Cu
2042 a CC2	45	8,85	0,236%	1119,0	6 mm ² Cu
2043 a CC2	30	8,85	0,157%	1119,0	6 mm ² Cu
2044 a CC2	45	8,85	0,236%	1119,0	6 mm ² Cu
2045 a CC2	60	8,85	0,315%	1119,0	6 mm ² Cu
2046 a CC2	75	8,85	0,393%	1119,0	6 mm ² Cu
2047 a CC2	90	8,85	0,472%	1119,0	6 mm ² Cu
2048 a CC2	50	8,85	0,262%	1119,0	6 mm ² Cu
2049 a CC2	35	8,85	0,184%	1119,0	6 mm ² Cu
2050 a CC2	15	8,85	0,079%	1119,0	6 mm ² Cu
2051 a CC2	20	8,85	0,105%	1119,0	6 mm ² Cu
2052 a CC2	35	8,85	0,184%	1119,0	6 mm ² Cu
2053 a CC2	50	8,85	0,262%	1119,0	6 mm ² Cu
2054 a CC2	65	8,85	0,341%	1119,0	6 mm ² Cu
2055 a CC2	50	8,85	0,262%	1119,0	6 mm ² Cu
2056 a CC2	35	8,85	0,184%	1119,0	6 mm ² Cu
2057 a CC2	35	8,85	0,184%	1119,0	6 mm ² Cu
2058 a CC2	50	8,85	0,262%	1119,0	6 mm ² Cu
2059 a CC2	65	8,85	0,341%	1119,0	6 mm ² Cu
2060 a CC2	80	8,85	0,420%	1119,0	6 mm ² Cu
2061 a CC2	65	8,85	0,341%	1119,0	6 mm ² Cu
2062 a CC2	50	8,85	0,262%	1119,0	6 mm ² Cu
2063 a CC2	50	8,85	0,262%	1119,0	6 mm ² Cu
2064 a CC2	65	8,85	0,341%	1119,0	6 mm ² Cu
2065 a CC2	80	8,85	0,420%	1119,0	6 mm ² Cu
2066 a CC2	95	8,85	0,498%	1119,0	6 mm ² Cu

DISEÑO Y CÁLCULO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA DE 2,3 MW Y
SU CONEXIÓN A LA RED DE MEDIA ENSIÓN

Tramo 2: Series-CC	Long. (m)	Imáx. (A)	Caída Tensión (%)	Tensión Trabajo (V)	Secc. a emplear por fase (mm ²)
2067 a CC2	80	8,85	0,420%	1119,0	6 mm ² Cu
2068 a CC2	65	8,85	0,341%	1119,0	6 mm ² Cu
2069 a CC2	65	8,85	0,341%	1119,0	6 mm ² Cu
2070 a CC2	80	8,85	0,420%	1119,0	6 mm ² Cu
2071 a CC2	95	8,85	0,498%	1119,0	6 mm ² Cu
2072 a CC2	100	8,85	0,524%	1119,0	6 mm ² Cu
2073 a CC2	85	8,85	0,446%	1119,0	6 mm ² Cu
2074 a CC2	70	8,85	0,367%	1119,0	6 mm ² Cu
3075 a CC3	40	8,85	0,210%	1119,0	6 mm ² Cu
3076 a CC3	50	8,85	0,262%	1119,0	6 mm ² Cu
3077 a CC3	65	8,85	0,341%	1119,0	6 mm ² Cu
3078 a CC3	85	8,85	0,446%	1119,0	6 mm ² Cu
3079 a CC3	70	8,85	0,367%	1119,0	6 mm ² Cu
3080 a CC3	55	8,85	0,288%	1119,0	6 mm ² Cu
3081 a CC3	30	8,85	0,157%	1119,0	6 mm ² Cu
3082 a CC3	30	8,85	0,157%	1119,0	6 mm ² Cu
3083 a CC3	45	8,85	0,236%	1119,0	6 mm ² Cu
3084 a CC3	80	8,85	0,420%	1119,0	6 mm ² Cu
3085 a CC3	65	8,85	0,341%	1119,0	6 mm ² Cu
3086 a CC3	50	8,85	0,262%	1119,0	6 mm ² Cu
3087 a CC3	35	8,85	0,184%	1119,0	6 mm ² Cu
3088 a CC3	30	8,85	0,157%	1119,0	6 mm ² Cu
3089 a CC3	45	8,85	0,236%	1119,0	6 mm ² Cu
3090 a CC3	75	8,85	0,393%	1119,0	6 mm ² Cu
3091 a CC3	60	8,85	0,315%	1119,0	6 mm ² Cu
3092 a CC3	45	8,85	0,236%	1119,0	6 mm ² Cu
3093 a CC3	30	8,85	0,157%	1119,0	6 mm ² Cu
3094 a CC3	15	8,85	0,079%	1119,0	6 mm ² Cu
3095 a CC3	30	8,85	0,157%	1119,0	6 mm ² Cu
3096 a CC3	90	8,85	0,472%	1119,0	6 mm ² Cu
3097 a CC3	75	8,85	0,393%	1119,0	6 mm ² Cu
3098 a CC3	60	8,85	0,315%	1119,0	6 mm ² Cu
3099 a CC3	45	8,85	0,236%	1119,0	6 mm ² Cu
3100 a CC3	30	8,85	0,157%	1119,0	6 mm ² Cu
3101 a CC3	45	8,85	0,236%	1119,0	6 mm ² Cu

Tramo 2: Series-CC	Long. (m)	Imáx. (A)	Caída Tensión (%)	Tensión Trabajo (V)	Secc. a emplear por fase (mm²)
3102 a CC3	90	8,85	0,472%	1119,0	6 mm ² Cu
3103 a CC3	75	8,85	0,393%	1119,0	6 mm ² Cu
3104 a CC3	60	8,85	0,315%	1119,0	6 mm ² Cu
3105 a CC3	45	8,85	0,236%	1119,0	6 mm ² Cu
3106 a CC3	45	8,85	0,236%	1119,0	6 mm ² Cu
3107 a CC3	75	8,85	0,393%	1119,0	6 mm ² Cu
3108 a CC3	60	8,85	0,315%	1119,0	6 mm ² Cu
3109 a CC3	45	8,85	0,236%	1119,0	6 mm ² Cu
3110 a CC3	70	8,85	0,367%	1119,0	6 mm ² Cu
3111 a CC3	70	8,85	0,367%	1119,0	6 mm ² Cu
4112 a CC4	70	8,85	0,367%	1119,0	6 mm ² Cu
4113 a CC4	55	8,85	0,288%	1119,0	6 mm ² Cu
4114 a CC4	70	8,85	0,367%	1119,0	6 mm ² Cu
4115 a CC4	55	8,85	0,288%	1119,0	6 mm ² Cu
4116 a CC4	50	8,85	0,262%	1119,0	6 mm ² Cu
4117 a CC4	60	8,85	0,315%	1119,0	6 mm ² Cu
4118 a CC4	55	8,85	0,288%	1119,0	6 mm ² Cu
4119 a CC4	40	8,85	0,210%	1119,0	6 mm ² Cu
4120 a CC4	35	8,85	0,184%	1119,0	6 mm ² Cu
4121 a CC4	50	8,85	0,262%	1119,0	6 mm ² Cu
4122 a CC4	65	8,85	0,341%	1119,0	6 mm ² Cu
4123 a CC4	55	8,85	0,288%	1119,0	6 mm ² Cu
4124 a CC4	40	8,85	0,210%	1119,0	6 mm ² Cu
4125 a CC4	25	8,85	0,131%	1119,0	6 mm ² Cu
4126 a CC4	25	8,85	0,131%	1119,0	6 mm ² Cu
4127 a CC4	40	8,85	0,210%	1119,0	6 mm ² Cu
4128 a CC4	55	8,85	0,288%	1119,0	6 mm ² Cu
4129 a CC4	70	8,85	0,367%	1119,0	6 mm ² Cu
4130 a CC4	70	8,85	0,367%	1119,0	6 mm ² Cu
4131 a CC4	55	8,85	0,288%	1119,0	6 mm ² Cu
4132 a CC4	40	8,85	0,210%	1119,0	6 mm ² Cu
4133 a CC4	25	8,85	0,131%	1119,0	6 mm ² Cu
4134 a CC4	40	8,85	0,210%	1119,0	6 mm ² Cu
4135 a CC4	55	8,85	0,288%	1119,0	6 mm ² Cu

DISEÑO Y CÁLCULO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA DE 2,3 MW Y
SU CONEXIÓN A LA RED DE MEDIA ENSIÓN

Tramo 2: Series-CC	Long. (m)	Imáx. (A)	Caída Tensión (%)	Tensión Trabajo (V)	Secc. a emplear por fase (mm ²)
4136 a CC4	70	8,85	0,367%	1119,0	6 mm ² Cu
4137 a CC4	80	8,85	0,420%	1119,0	6 mm ² Cu
4138 a CC4	65	8,85	0,341%	1119,0	6 mm ² Cu
4139 a CC4	50	8,85	0,262%	1119,0	6 mm ² Cu
4140 a CC4	35	8,85	0,184%	1119,0	6 mm ² Cu
4141 a CC4	50	8,85	0,262%	1119,0	6 mm ² Cu
4142 a CC4	65	8,85	0,341%	1119,0	6 mm ² Cu
4143 a CC4	80	8,85	0,420%	1119,0	6 mm ² Cu
4144 a CC4	95	8,85	0,498%	1119,0	6 mm ² Cu
4145 a CC4	80	8,85	0,420%	1119,0	6 mm ² Cu
4146 a CC4	65	8,85	0,341%	1119,0	6 mm ² Cu
4147 a CC4	50	8,85	0,262%	1119,0	6 mm ² Cu
4148 a CC4	50	8,85	0,262%	1119,0	6 mm ² Cu
5149 a CC5	95	8,85	0,498%	1119,0	6 mm ² Cu
5150 a CC5	110	8,85	0,577%	1119,0	6 mm ² Cu
5151 a CC5	65	8,85	0,341%	1119,0	6 mm ² Cu
5152 a CC5	50	8,85	0,262%	1119,0	6 mm ² Cu
5153 a CC5	35	8,85	0,184%	1119,0	6 mm ² Cu
5154 a CC5	55	8,85	0,288%	1119,0	6 mm ² Cu
5155 a CC5	70	8,85	0,367%	1119,0	6 mm ² Cu
5156 a CC5	85	8,85	0,446%	1119,0	6 mm ² Cu
5157 a CC5	100	8,85	0,524%	1119,0	6 mm ² Cu
5158 a CC5	60	8,85	0,315%	1119,0	6 mm ² Cu
5159 a CC5	45	8,85	0,236%	1119,0	6 mm ² Cu
5160 a CC5	30	8,85	0,157%	1119,0	6 mm ² Cu
5161 a CC5	30	8,85	0,157%	1119,0	6 mm ² Cu
5162 a CC5	55	8,85	0,288%	1119,0	6 mm ² Cu
5163 a CC5	70	8,85	0,367%	1119,0	6 mm ² Cu
5164 a CC5	85	8,85	0,446%	1119,0	6 mm ² Cu
5165 a CC5	60	8,85	0,315%	1119,0	6 mm ² Cu
5166 a CC5	45	8,85	0,236%	1119,0	6 mm ² Cu
5167 a CC5	30	8,85	0,157%	1119,0	6 mm ² Cu

Tramo 2: Series-CC	Long. (m)	Imáx. (A)	Caída Tensión (%)	Tensión Trabajo (V)	Secc. a emplear por fase (mm²)
5168 a CC5	20	8,85	0,105%	1119,0	6 mm ² Cu
5169 a CC5	35	8,85	0,184%	1119,0	6 mm ² Cu
5170 a CC5	50	8,85	0,262%	1119,0	6 mm ² Cu
5171 a CC5	65	8,85	0,341%	1119,0	6 mm ² Cu
5172 a CC5	70	8,85	0,367%	1119,0	6 mm ² Cu
5173 a CC5	55	8,85	0,288%	1119,0	6 mm ² Cu
5174 a CC5	30	8,85	0,157%	1119,0	6 mm ² Cu
5175 a CC5	15	8,85	0,079%	1119,0	6 mm ² Cu
5176 a CC5	30	8,85	0,157%	1119,0	6 mm ² Cu
5177 a CC5	55	8,85	0,288%	1119,0	6 mm ² Cu
5178 a CC5	70	8,85	0,367%	1119,0	6 mm ² Cu
5179 a CC5	85	8,85	0,446%	1119,0	6 mm ² Cu
5180 a CC5	70	8,85	0,367%	1119,0	6 mm ² Cu
5181 a CC5	55	8,85	0,288%	1119,0	6 mm ² Cu
5182 a CC5	40	8,85	0,210%	1119,0	6 mm ² Cu
5183 a CC5	40	8,85	0,210%	1119,0	6 mm ² Cu
5184 a CC5	55	8,85	0,288%	1119,0	6 mm ² Cu
5185 a CC5	70	8,85	0,367%	1119,0	6 mm ² Cu
6186 a CC6	100	8,85	0,524%	1119,0	6 mm ² Cu
6187 a CC6	85	8,85	0,446%	1119,0	6 mm ² Cu
6188 a CC6	70	8,85	0,367%	1119,0	6 mm ² Cu
6189 a CC6	55	8,85	0,288%	1119,0	6 mm ² Cu
6190 a CC6	40	8,85	0,210%	1119,0	6 mm ² Cu
6191 a CC6	55	8,85	0,288%	1119,0	6 mm ² Cu
6192 a CC6	70	8,85	0,367%	1119,0	6 mm ² Cu
6193 a CC6	75	8,85	0,393%	1119,0	6 mm ² Cu
6194 a CC6	60	8,85	0,315%	1119,0	6 mm ² Cu
6195 a CC6	45	8,85	0,236%	1119,0	6 mm ² Cu
6196 a CC6	30	8,85	0,157%	1119,0	6 mm ² Cu
6197 a CC6	55	8,85	0,288%	1119,0	6 mm ² Cu
6198 a CC6	70	8,85	0,367%	1119,0	6 mm ² Cu
6199 a CC6	70	8,85	0,367%	1119,0	6 mm ² Cu

DISEÑO Y CÁLCULO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA DE 2,3 MW Y
SU CONEXIÓN A LA RED DE MEDIA ENSIÓN

Tramo 2: Series-CC	Long. (m)	Imáx. (A)	Caída Tensión (%)	Tensión Trabajo (V)	Secc. a emplear por fase (mm ²)
6200 a CC6	55	8,85	0,288%	1119,0	6 mm ² Cu
6201 a CC6	40	8,85	0,210%	1119,0	6 mm ² Cu
6202 a CC6	25	8,85	0,131%	1119,0	6 mm ² Cu
6203 a CC6	25	8,85	0,131%	1119,0	6 mm ² Cu
6204 a CC6	40	8,85	0,210%	1119,0	6 mm ² Cu
6205 a CC6	85	8,85	0,446%	1119,0	6 mm ² Cu
6206 a CC6	70	8,85	0,367%	1119,0	6 mm ² Cu
6207 a CC6	55	8,85	0,288%	1119,0	6 mm ² Cu
6208 a CC6	40	8,85	0,210%	1119,0	6 mm ² Cu
6209 a CC6	35	8,85	0,184%	1119,0	6 mm ² Cu
6210 a CC6	50	8,85	0,262%	1119,0	6 mm ² Cu
6211 a CC6	100	8,85	0,524%	1119,0	6 mm ² Cu
6212 a CC6	85	8,85	0,446%	1119,0	6 mm ² Cu
6213 a CC6	70	8,85	0,367%	1119,0	6 mm ² Cu
6214 a CC6	55	8,85	0,288%	1119,0	6 mm ² Cu
6215 a CC6	40	8,85	0,210%	1119,0	6 mm ² Cu
6216 a CC6	50	8,85	0,262%	1119,0	6 mm ² Cu
6217 a CC6	85	8,85	0,446%	1119,0	6 mm ² Cu
6218 a CC6	70	8,85	0,367%	1119,0	6 mm ² Cu
6219 a CC6	55	8,85	0,288%	1119,0	6 mm ² Cu
6220 a CC6	55	8,85	0,288%	1119,0	6 mm ² Cu
6221 a CC6	70	8,85	0,367%	1119,0	6 mm ² Cu
6222 a CC6	55	8,85	0,288%	1119,0	6 mm ² Cu
6223 a CC6	70	8,85	0,367%	1119,0	6 mm ² Cu
7224 a CC7	100	8,85	0,524%	1119,0	6 mm ² Cu
7225 a CC7	90	8,85	0,472%	1119,0	6 mm ² Cu
7226 a CC7	80	8,85	0,420%	1119,0	6 mm ² Cu
7227 a CC7	70	8,85	0,367%	1119,0	6 mm ² Cu
7228 a CC7	60	8,85	0,315%	1119,0	6 mm ² Cu
7229 a CC7	50	8,85	0,262%	1119,0	6 mm ² Cu
7230 a CC7	40	8,85	0,210%	1119,0	6 mm ² Cu
7231 a CC7	40	8,85	0,210%	1119,0	6 mm ² Cu

Tramo 2: Series-CC	Long. (m)	Imáx. (A)	Caída Tensión (%)	Tensión Trabajo (V)	Secc. a emplear por fase (mm²)
7232 a CC7	30	8,85	0,157%	1119,0	6 mm ² Cu
7233 a CC7	30	8,85	0,157%	1119,0	6 mm ² Cu
7234 a CC7	20	8,85	0,105%	1119,0	6 mm ² Cu
7235 a CC7	20	8,85	0,105%	1119,0	6 mm ² Cu
7236 a CC7	30	8,85	0,157%	1119,0	6 mm ² Cu
7237 a CC7	30	8,85	0,157%	1119,0	6 mm ² Cu
7238 a CC7	40	8,85	0,210%	1119,0	6 mm ² Cu
7239 a CC7	40	8,85	0,210%	1119,0	6 mm ² Cu
7240 a CC7	50	8,85	0,262%	1119,0	6 mm ² Cu
7241 a CC7	50	8,85	0,262%	1119,0	6 mm ² Cu
7242 a CC7	60	8,85	0,315%	1119,0	6 mm ² Cu
7243 a CC7	60	8,85	0,315%	1119,0	6 mm ² Cu
7244 a CC7	80	8,85	0,420%	1119,0	6 mm ² Cu
7245 a CC7	75	8,85	0,393%	1119,0	6 mm ² Cu
7246 a CC7	80	8,85	0,420%	1119,0	6 mm ² Cu
7247 a CC7	80	8,85	0,420%	1119,0	6 mm ² Cu
7248 a CC7	90	8,85	0,472%	1119,0	6 mm ² Cu

DISEÑO Y CÁLCULO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA DE 2,3 MW Y SU CONEXIÓN A LA RED DE MEDIA ENSIÓN

Tramo 3: CC-PowerBlock	Long. (m)	Imáx. (A)	Caída Tensión (%)	Tensión Trabajo (V)	Secc. a emplear por fase (mm²)
Cuadro CC1 a PWB	130	327,45	0,542%	1119,0	3x150 mm ² Al
Cuadro CC2 a PWB	90	327,45	0,375%	1119,0	3x150 mm ² Al
Cuadro CC3 a PWB	130	327,45	0,542%	1119,0	3x150 mm ² Al
Cuadro CC4 a PWB	110	327,45	0,459%	1119,0	3x150 mm ² Al
Cuadro CC5 a PWB	110	327,45	0,459%	1119,0	3x150 mm ² Al
Cuadro CC6 a PWB	150	336,3	0,646%	1119,0	3x150 mm ² Al
Cuadro CC7 a PWB	210	221,25	0,706%	1119,0	2x185 mm ² Al

Tramo 4: PowerBlock-CS	Long. (m)	Imáx. (A)	Caída Tensión (%)	Tensión Trabajo (V)	Secc. a emplear por fase (mm²)
PWB a C.S.	160	111,78	0,040	13.200,00	3x95 mm ² Al

Tramo 5: CS-Punto de Conexión	Long. (m)	Imáx. (A)	Caída Tensión (%)	Tensión Trabajo (V)	Secc. a emplear por fase (mm²)
C.S. a Punto de Conexión	30	111,78	0,003	13.200,00	3x240 mm ² Al

Así mismo, la sección mínima que se ha empleado en el cableado desde los cuadros de CC al inversor es de 3x150 mm² Al por fase para los 6 primeros cuadros y de 2x185 mm² Al por fase para el CC7, ya que es la mínima sección que da cumplimiento al criterio térmico en todos los casos.

Se resalta que, para el cálculo de la intensidad máxima en cada conductor para las líneas de Corriente Continua, se ha escogido un aislamiento de polietileno reticulado (XLPE) de 0,6/1 kV en todos los casos. Además, el coeficiente de reducción a aplicar en los tramos al aire (todos los grupos) es de

0,40 por la agrupación múltiple de conductores, mientras que los coeficientes de reducción a aplicar en los tramos subterráneos (resto de la instalación) son de 0,47 por agrupación de conductores en contacto entre sí dentro de la canalización subterránea y 0,92 por temperatura.

La referencia empleada para el cálculo de estas intensidades máximas admisibles son las tablas N°4, N°5, N°6, N°8, N°11 y N°12 de la ITC-BT-07.

Según estos cálculos, las caídas de tensión máximas por tramos serán:

En la parte de continua, para el caso más desfavorable:

- Zona enlace de series de paneles:

$$e = \frac{2 \cdot V \cdot I \cdot l}{\gamma \cdot V \cdot S} = \frac{2 \cdot 1119,0 \cdot 8,85 \cdot 30}{51,58 \cdot 1119 \cdot 4} = 2,574 V = 0,230 \%$$

- Zona enlace extremo grupos con cuadro de corriente continua CC-1, para el caso más desfavorable (serie 1026):

$$e = \frac{2 \cdot V \cdot I \cdot l}{\gamma \cdot V \cdot S} = \frac{2 \cdot 1119,0 \cdot 8,85 \cdot 100}{50,27 \cdot 1119,0 \cdot 6} = 5,868 V = 0,524 \%$$

- Zona enlace extremo grupos con cuadro de corriente continua CC-2, para el caso más desfavorable (serie 2040):

$$e = \frac{2 \cdot V \cdot I \cdot l}{\gamma \cdot V \cdot S} = \frac{2 \cdot 1119,0 \cdot 8,85 \cdot 100}{50,27 \cdot 1119,0 \cdot 6} = 5,868 V = 0,524 \%$$

- Zona enlace extremo grupos con cuadro de corriente continua CC-3, para el caso más desfavorable (serie 3096):

$$e = \frac{2 \cdot V \cdot I \cdot l}{\gamma \cdot V \cdot S} = \frac{2 \cdot 1119,0 \cdot 8,85 \cdot 90}{50,27 \cdot 1119,0 \cdot 6} = 5,281 V = 0,472 \%$$

- Zona enlace extremo grupos con cuadro de corriente continua CC-4, para el caso más desfavorable (serie 4144):

$$e = \frac{2 \cdot V \cdot I \cdot l}{\gamma \cdot V \cdot S} = \frac{2 \cdot 1119,0 \cdot 8,85 \cdot 95}{50,27 \cdot 1119,0 \cdot 6} = 5,574 V = 0,498 \%$$

- Zona enlace extremo grupos con cuadro de corriente continua CC-5, para el caso más desfavorable (serie 5150):

$$e = \frac{2 \cdot V \cdot I \cdot l}{\gamma \cdot V \cdot S} = \frac{2 \cdot 1119,0 \cdot 8,85 \cdot 110}{50,27 \cdot 1119,0 \cdot 6} = 6,455 V = 0,577 \%$$

- Zona enlace extremo grupos con cuadro de corriente continua CC-6, para el caso más desfavorable (serie 6186):

$$e = \frac{2 \cdot V \cdot I \cdot l}{\gamma \cdot V \cdot S} = \frac{2 \cdot 1119,0 \cdot 8,85 \cdot 100}{50,27 \cdot 1119,0 \cdot 6} = 5,868 V = 0,524 \%$$

- Zona enlace extremo grupos con cuadro de corriente continua CC-7, para el caso más desfavorable (serie 7224):

$$e = \frac{2 \cdot V \cdot I \cdot l}{\gamma \cdot V \cdot S} = \frac{2 \cdot 1119,0 \cdot 8,85 \cdot 100}{50,27 \cdot 1119,0 \cdot 6} = 5,868 V = 0,524 \%$$

- Zona enlace cuadro de corriente continua CC1 con PowerBlock:

$$e = \frac{2 \cdot V \cdot I \cdot l}{\gamma \cdot V \cdot S} = \frac{2 \cdot 1119,0 \cdot 327,45 \cdot 130}{31,41 \cdot 1119,0 \cdot 3 \cdot 150} = 6,067 V = 0,542 \%$$

- Zona enlace cuadro de corriente continua CC2 con PowerBlock:

$$e = \frac{2 \cdot V \cdot I \cdot l}{\gamma \cdot V \cdot S} = \frac{2 \cdot 1119,0 \cdot 327,45 \cdot 90}{31,41 \cdot 1119,0 \cdot 3 \cdot 150} = 4,200 V = 0,375 \%$$

- Zona enlace cuadro de corriente continua CC3 con PowerBlock:

$$e = \frac{2 \cdot V \cdot I \cdot l}{\gamma \cdot V \cdot S} = \frac{2 \cdot 1119,0 \cdot 327,45 \cdot 130}{31,41 \cdot 1119,0 \cdot 3 \cdot 150} = 6,067 V = 0,542 \%$$

- Zona enlace cuadro de corriente continua CC4 con PowerBlock:

$$e = \frac{2 \cdot V \cdot I \cdot l}{\gamma \cdot V \cdot S} = \frac{2 \cdot 1119,0 \cdot 327,45 \cdot 110}{31,41 \cdot 1119,0 \cdot 3 \cdot 150} = 5,133 V = 0,459 \%$$

- Zona enlace cuadro de corriente continua CC5 con PowerBlock:

$$e = \frac{2 \cdot V \cdot I \cdot l}{\gamma \cdot V \cdot S} = \frac{2 \cdot 1119,0 \cdot 327,45 \cdot 110}{31,41 \cdot 1119,0 \cdot 3 \cdot 150} = 5,133 V = 0,459 \%$$

- Zona enlace cuadro de corriente continua CC6 con PowerBlock:

$$e = \frac{2 \cdot V \cdot I \cdot l}{\gamma \cdot V \cdot S} = \frac{2 \cdot 1119,0 \cdot 336,30 \cdot 150}{31,41 \cdot 1119,0 \cdot 3 \cdot 150} = 7,225 V = 0,646 \%$$

- Zona enlace cuadro de corriente continua CC7 con PowerBlock:

$$e = \frac{2 \cdot V \cdot I \cdot l}{\gamma \cdot V \cdot S} = \frac{2 \cdot 1119,0 \cdot 231,50 \cdot 210}{31,77 \cdot 1119,0 \cdot 2 \cdot 185} = 7,903 \text{ V} = 0,706 \%$$

La caída de tensión total en la parte de corriente continua, dividida por cuadros, será la suma de cada grupo + extremo de grupo a cuadro de CC + cuadro de CC a inversor:

$$\%_{CC1} = 0,230 + 0,524 + 0,542 = 1,297 \%$$

$$\%_{CC2} = 0,230 + 0,524 + 0,375 = 1,130 \%$$

$$\%_{CC3} = 0,230 + 0,472 + 0,542 = 1,244 \%$$

$$\%_{CC4} = 0,230 + 0,498 + 0,459 = 1,187 \%$$

$$\%_{CC5} = 0,230 + 0,577 + 0,459 = 1,266 \%$$

$$\%_{CC6} = 0,230 + 0,524 + 0,646 = 1,400 \%$$

$$\%_{CC7} = 0,230 + 0,524 + 0,706 = 1,461 \% \text{ (máx)}$$

Lo que supone una caída de tensión, en todos los casos, inferior a la permitida del 1,5%.

En la parte de alterna:

- Del PowerBlock al Centro de Seccionamiento:

$$P = 2.300.000 \text{ W (fijada por el inversor)}$$

$$e = \frac{P \cdot l}{\gamma \cdot V \cdot S} = \frac{2.300.000 \cdot 160}{3,03 \cdot 13200 \cdot 3 \cdot 95} = 5,310 \text{ V} = 0,040 \%$$

- Del Centro de Seccionamiento al Punto de Conexión:

$$P = 2.300.000 \text{ W (fijada por el inversor)}$$

$$e = \frac{P \cdot l}{\gamma \cdot V \cdot S} = \frac{2.300.000 \cdot 30}{7,65 \cdot 13200 \cdot 3 \cdot 240} = 0,394 \text{ V} = 0,003 \%$$

Por lo que la caída de tensión en la parte de alterna será:

$$\%_{CA} = 0,040 + 0,003 = 0,043 \%$$

Una caída de tensión inferior a la permitida del 1,50%.

De esta forma, tenemos que la caída de tensión máxima de la instalación será de:

$$\%_{TOTAL} = 1,461 + 0,043 = \mathbf{1,504\%}$$

Inferior al 3,00%, máximo establecido por el I.D.A.E.

8.4.1.2. INTENSIDAD DE CORTOCIRCUITO

Vamos a calcular la intensidad de cortocircuito que debe soportar el inversor. Este dato es importante, ya que nos dirá qué corriente se producirá en nuestra instalación si en un punto de ella se diera un cortocircuito. Como ya se ha indicado, los paneles han sido agrupados en 248 bloques en paralelo de 30 módulos en serie cada uno repartidos equitativamente entre los cuadros de corriente continua.

Partiremos de las características eléctricas de los módulos, resumidas a continuación:

Iberian Solar IBS72P -330 Policristalino

- Tensión en el punto de máxima potencia V_{mp} :37,30 V
- Tensión en circuito abierto V_{oc} :45,90 V
- Corriente de máxima potencia I_{mp} :8,85 A
- Corriente en cortocircuito I_{cc} :9,26 A

8.4.1.2.1. CÁLCULOS ELÉCTRICOS

- Intensidad de cortocircuito: Es la corriente que aparece si se cortocircuitan los terminales al comienzo de ella.

$$I_{CC} = 9,26 \text{ A} \times 248 \text{ (Ramas en paralelo)} = 2.296,48 \text{ A}$$

- Intensidad de máxima potencia.

$$I_{PMM} = 8,85 \text{ A} \times 248 \text{ (Ramas en paralelo)} = 2.194,80 \text{ A}$$

- Tensión de máxima potencia.

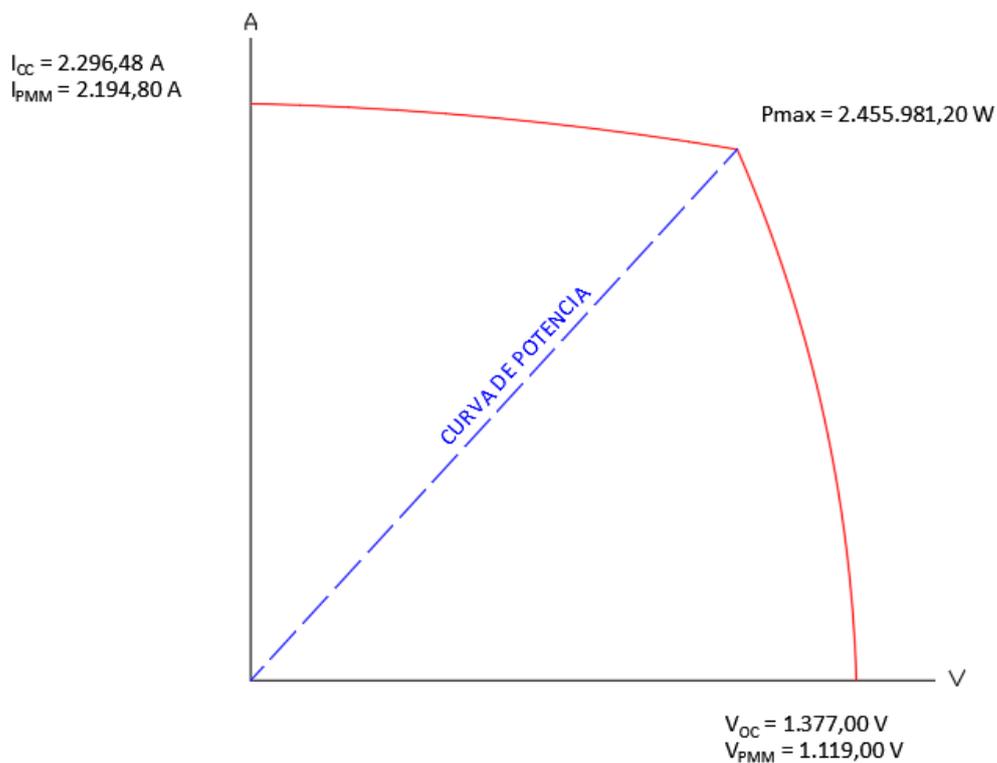
$$V_{PMM} = 37,30 \text{ V} \times 30 \text{ (Paneles en serie)} = 1.119,00 \text{ V}$$

- Tensión en circuito abierto.

$$V_{OC} = 45,90 \text{ V} \times 30 \text{ (Paneles en serie)} = 1.377,00 \text{ V}$$

8.4.1.2.2. CURVA CARACTERÍSTICAS ELECTRICAS DE LA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA

Vamos a representar los datos obtenidos en el apartado anterior en la gráfica característica de la instalación fotovoltaica. Esta gráfica va a ser similar a la curva característica de cada panel fotovoltaico dado por el fabricante, ya que lo único que hemos hecho es tratar a cada módulo como una pila, agrupándolas según nuestras necesidades.



Curva de características eléctricas

$P_{\max}: 2.194,80 \cdot 1.119,00 = 2.455.981,20 \text{ W}$, esto es igual que si hacemos 330 W_p de cada panel por los 7.440 paneles que llegan a los inversores (2.455.200 W_p).

8.4.1.3. RADIACIÓN Y ENERGÍA GENERADA

8.4.1.3.1. DATOS INICIALES

Como se ha indicado anteriormente, el campo generador del proyecto está constituido por 7.440 paneles de 330 W_p cada uno, obteniendo una potencia total de 2.455.200 W_p . La superficie ocupada por la instalación es de 15.000 m^2 aproximadamente.

Por su situación cuenta con los siguientes parámetros geográficos:

Latitud: 40° 53' 29" Norte
Longitud: 05° 35' 41" Oeste
Altitud: 860 metros

Sabiendo que la orientación más adecuada para estas instalaciones es la orientación sur, es decir, acimut 0°, colocaremos los paneles solares siguiendo perfectamente este criterio, ampliándolo a un ángulo de inclinación de $\beta = 30^\circ$, y de esta forma optimizar la instalación a ejecutar.

8.4.1.3.2. PÉRDIDAS DE RADIACIÓN POR SOMBRAS

Dado el emplazamiento de la instalación, se puede decir que durante las horas de máxima radiación las sombras de los posibles obstáculos no afectan a nuestra instalación.

No se van a considerar las sombras producidas por los árboles o posibles edificios, ya que no existen en las inmediaciones a una altura superior a la que nos concierne.

En el caso que nos ocupa, los paneles se colocan formando filas de, aproximadamente, 2 metros de altura. La distancia entre filas es de 5 metros, suficiente para que las filas no se produzcan sombras entre ellas en las horas

de mayor radiación, siendo únicamente significativas en las primeras y últimas horas del día, cuando la radiación es despreciable. Por ello, las pérdidas por este término se considerarán nulas.

8.4.2. ESTUDIO DE LA PRODUCCIÓN DE LA INSTALACIÓN MEDIANTE PROCESO TEÓRICO

Para calcular la producción anual, en kWh/año es necesario conocer cuál es la energía producida por nuestra instalación. Así, según el tratado publicado por E. Lorenzo “Electricidad Solar. Ingeniería de los sistemas fotovoltaicos” la energía producida por un sistema fotovoltaico conectado a red (E), se expresa como:

$$E = P \cdot \frac{G_{ef}}{I} \cdot F_s \cdot F_r$$

Donde:

- P = Potencia nominal de la instalación, o potencia máxima que entrega el generador en las condiciones estándar de medida (CEM).
- G_{ef} = Irradiación anual efectiva que incide sobre la superficie del generador.
- I = Iluminación a la que se determina la potencia nominal de las células y generadores fotovoltaicos (1.000 W/m²)
- F_s = Factor de rendimiento que considera pérdidas por sombreado.
- F_r = Factor de rendimiento que considera las pérdidas asociadas a la conversión DC/AC.

Potencia nominal.

Es la potencia pico que produce el panel en las condiciones estándar de medida (1.000 W/m² de iluminación y 25 °C de temperatura de la célula, así como una distribución espectral AM 1,5 G).

Radiación solar.

Se estima que la irradiación solar incidente sobre los paneles fotovoltaicos, se realiza en tres etapas:

La predicción de la irradiación anual incidente sobre la superficie horizontal, G(0).

Se supone que coincide con el valor medio, medido en el pasado, a lo largo de un histórico que contempla al menos 20 años.

En el caso de Calvarrasa de Arriba, la irradiación incidente anual sobre la superficie horizontal es de 1.752 kWh/m², correspondiendo a un valor medio diario de 4,8 kWh/m².

La estimación de la irradiación anual incidente sobre una superficie inclinada de tal manera que maximice la captación de la radiación solar G ($\beta_{\text{máx.}}$).

La inclinación de la superficie óptima $\beta_{\text{opt.}}$, orientada al sur, se relaciona con la latitud Φ mediante la expresión:

$$\beta_{\text{opt.}} = 3,7 + 0,69 \Phi$$

donde ambos ángulos se expresan en grados.

Para el caso de Calvarrasa de Arriba (Salamanca), cuya latitud es 40°53'29" (40,89), tenemos que:

$$\beta_{\text{opt.}} = 3,7 + 0,69 \times 40,89 = 31,9141 = 31^{\circ}54'51''$$

La irradiación anual sobre esta superficie óptima se estima como:

$$G(\beta_{\text{opt.}}) = G(0) \cdot [1 - 4,46 \cdot 10^{-4} \times \beta_{\text{opt.}} - 1,19 \cdot 10^{-4} \times \beta_{\text{opt.}}^2]^{-1}$$

Para el caso de Calvarrasa de Arriba, tomando como dato de referencia para la irradiación horizontal $G(0) = 1.752$ kWh/m², tenemos que la radiación sobre la superficie óptima es:

$$G(\beta_{\text{opt.}}) = 1,1566 G(0) = 2.026,46 \text{ kWh/m}^2$$

La estimación de la irradiación anual efectiva incidente sobre la superficie del generador $G_{\text{ef}}(\beta, \alpha)$.

A la hora de calcular esta irradiación hemos de considerar que, en una situación real, la cara frontal de los módulos fotovoltaicos es un simple cristal liso que, además, siempre tiene un cierto grado de suciedad. Lisura y suciedad suponen pérdidas significativas en la captación de la radiación que incide sobre los módulos con ángulos alejados de la perpendicular. Esta es la experiencia de todos, que los cristales se van comportando como espejos y van pareciendo más sucios cuanto más se los mira de lado.

Por tanto, podemos realizar la estimación de la irradiación anual efectiva incidente, con un ángulo de inclinación con respecto a la horizontal de $\beta = 30^{\circ}$, y un azimut o desviación con respecto al sur $\alpha = 0^{\circ}$.

Donde:

α = acimut (ángulo de desviación respecto al sur) de la superficie receptora (0°)
 β = inclinación respecto a la horizontal (30°)

$$\frac{G_{ef}(\beta, \alpha)}{G(\beta_{opt})} = g_1 \cdot (\beta - \beta_{opt})^2 + g_2 \cdot (\beta - \beta_{opt}) + g_3$$

siendo: $g_i = g_{i1} \cdot \alpha^2 + g_{i2} \cdot |\alpha| + g_{i3}$; $i = 1, 2, 3$

Los coeficientes para superficies con un grado mediano de suciedad, que se caracteriza por una pérdida de transparencia del 3% en la dirección normal de la superficie, son los reflejados en la siguiente tabla:

$T_{sucio(0)}/T_{limpio(0)} = 0,97$			
Coeficientes	$i = 1$	$i = 2$	$i = 3$
g_{i1}	$8 \cdot 10^{-9}$	$3 \cdot 10^{-7}$	$-1,218 \cdot 10^{-4}$
g_{i2}	$-4,27 \cdot 10^{-7}$	$8,2 \cdot 10^{-6}$	$8 \cdot 10^{-9}$
g_{i3}	$-2,5 \cdot 10^{-5}$	$-1,034 \cdot 10^{-4}$	$0,9314$

A continuación, se expone el cálculo realizado para nuestro caso:

$$g_i = g_{i1} \cdot \alpha^2 + g_{i2} \cdot |\alpha| + g_{i3}$$

$$i = 1 \rightarrow g_1 = g_{11} \cdot \alpha^2 + g_{12} \cdot |\alpha| + g_{13} = 0 + 0 + (-2,5 \cdot 10^{-5})$$

$$g_1 = -2,5 \cdot 10^{-5}$$

$$i = 2 \rightarrow g_2 = g_{21} \cdot \alpha^2 + g_{22} \cdot |\alpha| + g_{23} = 0 + 0 + (-1,034 \cdot 10^{-4})$$

$$g_2 = -1,034 \cdot 10^{-4}$$

$$i = 3 \rightarrow g_3 = g_{31} \cdot \alpha^2 + g_{32} \cdot |\alpha| + g_{33} = 0 + 0 + 0,9314$$

$$g_3 = 0,9314$$

$$\frac{G_{ef}(30^\circ, 0^\circ)}{G(31,91^\circ)} = g_1 \cdot (\beta - \beta_{opt})^2 + g_2 \cdot (\beta - \beta_{opt}) + g_3 =$$

$$= -0,9159 \cdot 10^{-4} + 1,979 \cdot 10^{-4} + 0,9314 \approx 0,9315$$

$$G_{ef}(30^\circ, 0^\circ) = 0,9315 \times G(31,91) = 0,9315 \times 2.026,46 = 1.887,66 \text{ kWh/m}^2$$

Sombras.

No se van a considerar las sombras producidas por los árboles o posibles edificios, ya que no existen en las inmediaciones, puesto que los terrenos colindantes no tienen ningún tipo de incidencia a este respecto.

Si se va a calcular la distancia de separación entre filas del campo, para evitar las posibles sombras que los propios paneles puedan ejercer entre ellos.

Existen dos métodos de cálculo para conseguir esa distancia que exponemos a continuación:

$$d = \frac{h}{\tan(61^\circ - \text{latitud})} = \frac{h}{\tan(61^\circ - 40,89^\circ)} = \frac{2,00}{\tan(20,11^\circ)} = 5,462 \text{ m}$$

La zona de Calvarrasa de Arriba tiene una latitud de 40,89° Norte

$$d = h \cdot k = h \cdot 2,090 = 2,00 \cdot 2,090 = 4,180 \text{ m}$$

Siendo k, un coeficiente que se saca de la siguiente tabla a partir de la latitud del lugar:

Latitud (°)	37	38	39	40	41	42	43	44
k	1,732	1,806	1,881	1,965	2,050	2,148	2,246	2,360

d=5 m mínimo entre todas las filas del campo.

Rendimiento global.

Este parámetro integra las pérdidas debidas a la temperatura de operación de las células solares y las debidas a la diversidad de fenómenos principalmente asociados al inversor. A estas pérdidas hay que añadir las debidas a la caída de tensión en el cableado entre el generador y el inversor, a la dispersión de parámetros, etc.

En definitiva, con los elementos instalados vamos a considerar un factor de rendimiento global para nuestra instalación de $Fr = 0,80$, ya que tenemos una superficie óptima y libre de sombras y asociamos un inversor de la mejor calidad.

Por tanto, con todos los datos anteriores, podemos obtener la energía producida por nuestra instalación es la siguiente:

$$\frac{I \cdot E}{P} = \text{Gef}(30^\circ, 0^\circ) \cdot F_s \cdot Fr = 1.887,66 \cdot 1 \cdot 0,8 = 1.510,13 \frac{\text{h}}{\text{año}}$$

$$E = 1.510,13 \cdot 2.455,2 = 3.707.659,14 \frac{\text{kWh}}{\text{año}}$$

8.4.3. ESTUDIO DE LA PRODUCCIÓN DE LA INSTALACIÓN MEDIANTE SOFTWARE INFORMÁTICO (NSol)

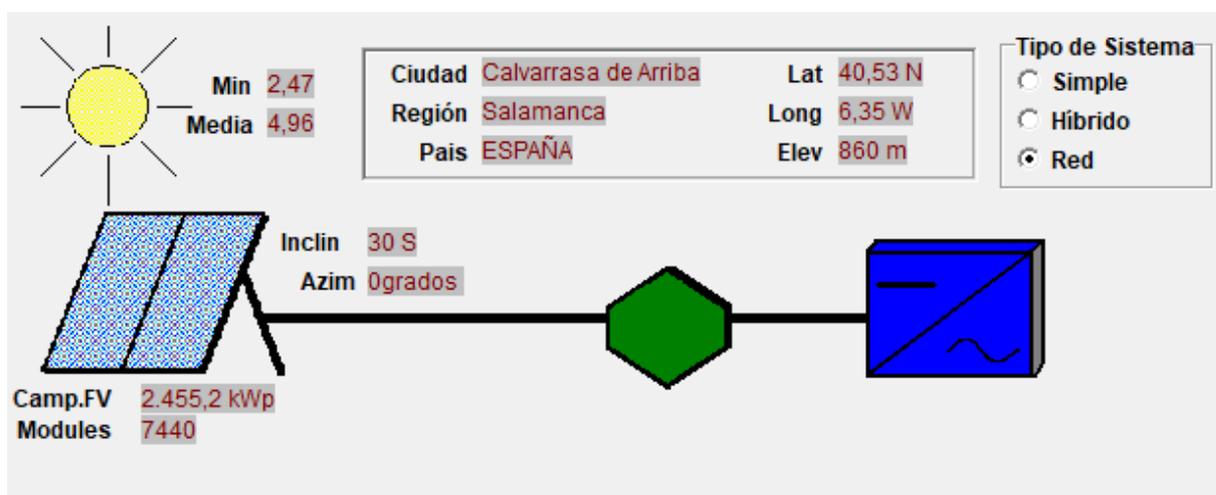
En este apartado se va a emplear un programa de cálculo para contrastar aún más los resultados, y así tener una mayor certeza a la hora de su valoración.

8.4.3.1. INTRODUCCIÓN

Utilizamos para ello “Nsol”. Este programa es americano y muy fiable a la hora de obtener datos, ya que son muy conservadores y poco optimistas, dando la realidad de la instalación con un sentido muy correcto.

En la figura se observa la página principal del programa en la que se introducen los datos como son: su situación (latitud, longitud, altitud), la potencia instalada, características del panel fotovoltaico, etc. El programa nos genera un análisis de la irradiación, así como los valores de energía producidos.

8.4.3.2. ANÁLISIS IRRADIACIÓN



DISEÑO Y CÁLCULO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA DE 2,3 MW Y SU CONEXIÓN A LA RED DE MEDIA ENSIÓN

El programa nos genera una tabla de resultados de la irradiación de la zona de estudio, que en este caso es Calvarrasa de Arriba, Salamanca.

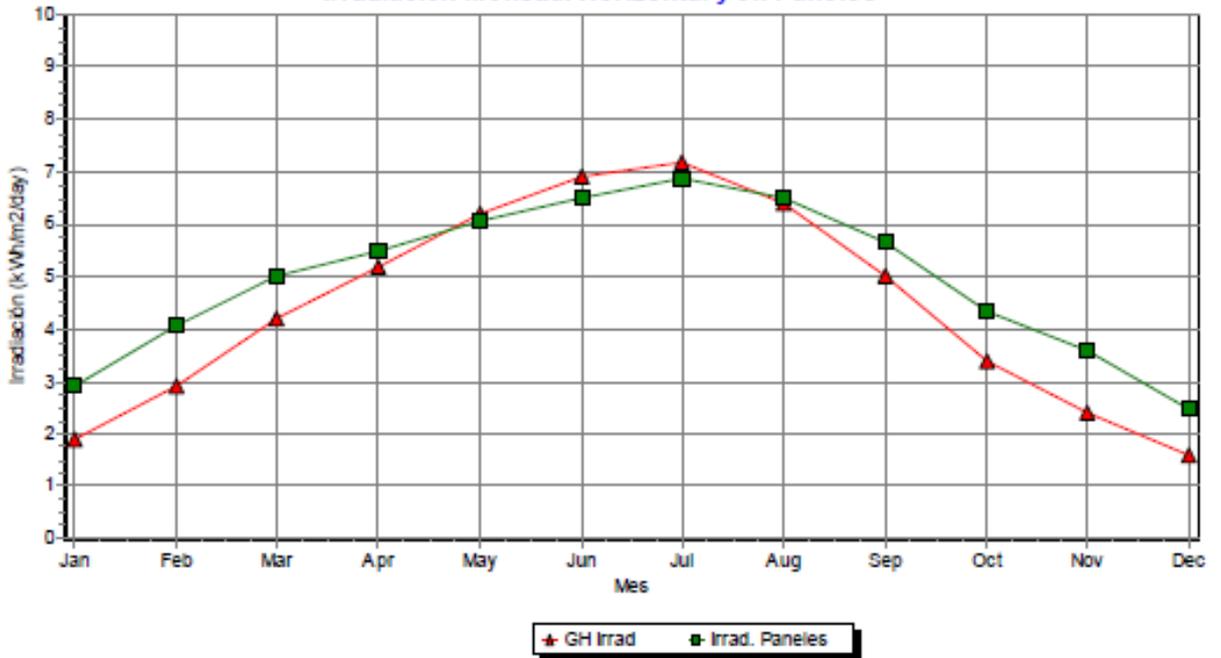
Inf. Local

Zona:	Calvarrasa de Arriba	Lugar:	SALAMANCA 1, Salamanca, ESPAÑA	
Latitud:	40,53 N	Longitud:	6,35 W	Altura: 860m
Inclin. FV:	30 S	Acimut:	0 E	Seguidor: Fijo
Coment:	BP Solar Espana, Madrid, Spain			

Análisis Irradiación

Mes	Irrad Horiz (kWh/m2/d)	T.Media (grad C)	Limpieza (KT_bar)	Inclin Factor	Irrad.Sup.FV (kWh/m2/d)
En	1,90	3,8	0,47	1,54	2,92
Feb	2,90	5,2	0,53	1,40	4,07
Mar	4,20	8,6	0,56	1,19	5,02
Abr	5,20	10,9	0,55	1,05	5,49
May	6,20	14,0	0,57	0,98	6,06
Jun	6,90	18,5	0,60	0,95	6,52
Jul	7,20	21,4	0,64	0,96	6,88
Ago	6,40	20,9	0,63	1,02	6,51
Sep	5,00	18,3	0,60	1,13	5,65
Oct	3,40	12,8	0,54	1,28	4,34
Nov	2,40	7,6	0,53	1,50	3,60
Dic	1,60	4,2	0,44	1,84	2,47
				Irrad. Min	2,47
				Irrad. Med	4,96

Análisis de Irradiación
Irradiación Mensual Horizontal y en Paneles



8.4.3.3. ANÁLISIS PRODUCCIÓN

El programa nos genera una tabla de resultados de producción de la zona de estudio para las características del sistema en cuestión, como son el tipo de placa, paneles en serie y en paralelo, número de paneles, potencia de los inversores, etc.

Resumen Sistema

Panel FV

Tipo: IBS72P Pot. Nom: 330
 Voc: 45,90 Vtip: 37,30
 Icc: 9,26 Itip: 8,65

Camp. FV

Paneles: 7.440 # Serie: 30
 Pot. Nom: 2.455,2kWp # Paralelo: 248
 Tens. MPP: 1.119

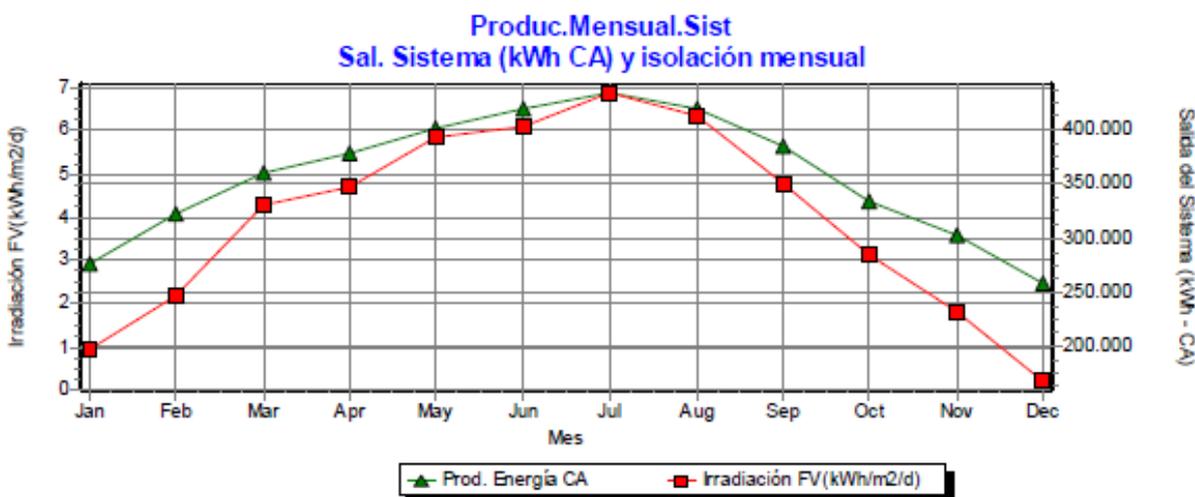
Inversor

Tipo: Power Electronics FS2340K
 Pot (kW): 2340,0 kW
 Tensión CA: 415AC / 3Fase

Sist. Con a Red, Análisis Energía Generada

Mes	Irrad.Sup.FV (kWh/m2/d)	T.Medía (grad C)	Sal. Paneles (WhDC/day)	Pérdidas (%)	Sal. Paneles (kWhCC/me)	Sal.Sistema (kWhCA/me)	Ef. Inversor (%)
En	2,92	3,8	983	11	201.780	197.744	98
Feb	4,07	5,2	1.353	11	250.871	245.854	98
Mar	5,02	8,6	1.647	11	338.083	331.322	98
Abr	5,49	10,9	1.786	11	354.872	347.774	98
May	6,06	14,0	1.955	11	401.374	393.347	98
Jun	6,52	18,5	2.071	11	411.383	403.155	98
Jul	6,88	21,4	2.160	11	443.396	434.528	98
Ago	6,51	20,9	2.052	11	421.239	412.814	98
Sep	5,65	18,3	1.799	11	357.297	350.151	98
Oct	4,34	12,8	1.416	11	290.684	284.870	98
Nov	3,60	7,6	1.194	11	237.120	232.378	98
Dic	2,47	4,2	833	11	170.918	167.500	98

kWh Anuales 3.801.437



Como se puede apreciar, la producción calculada mediante este software es de 3.801.437 kWh al año, obteniendo un rendimiento del 88,2%.

8.4.4. ESTUDIO DE LA PRODUCCIÓN DE LA INSTALACIÓN MEDIANTE SOFTWARE INFORMÁTICO (PVsyst)



Versión 7.1.7

PVsyst - Informe de simulación

Sistema conectado a la red

Trabajo Fin de Grado

Variante: DISEÑO Y CÁLCULO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA DE 2,3 MW Y
SU CONEXIÓN A LA RED DE MEDIA TENSIÓN

Generador solar fotovoltaico

Potencia del sistema: 2455 kWp

Calvarrasa de Arriba - Spain

Rubén Herrera Galiano

Pso. Prado de la Magdalena s/n

Valladolid / 47011

España

ruben.herrera@alumnos.uva.es



PVsyst V7.1.7
 VCO, Fecha de simulación:
 26/04/21 21:33
 con v7.1.7

Proyecto: Trabajo Fin de Grado
Variante: DISEÑO Y CÁLCULO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR
FOTOVOLTAICA DE 2,3 MW Y SU CONEXIÓN A LA RED DE MEDIA
TENSIÓN



Resumen del proyecto		
Sitio geográfico	Situación	Configuración del proyecto
Calvarrasa de Arriba	Latitud 40.89 °N	Albedo 0.20
España	Longitud -5.59 °W	
	Altitud 858 m	
	Zona horaria UTC+1	
Datos meteo		
Calvarrasa de Arriba		
Meteonorm 7.3 (2001-2010), Sat=51% - Sintético		

Resumen del sistema		
Sistema conectado a la red	Generador solar fotovoltaico	Necesidades del usuario
Orientación campo FV	Sombreados cercanos	Carga ilimitada (red)
Plano fijo	Sombreados lineales	
Inclinación/Azimut 30 / 0 °		
Información del sistema		
Conjunto FV	Inversores	
Núm. de módulos 7440 unidades	Núm. de unidades 1 Unidad	
Pnom total 2455 kWp	Pnom total 2285 kWca	
	Proporción Pnom 1.074	

Resumen de resultados					
Energía producida	3959 MWh/año	Producción específica	1613 kWh/kWp/año	Proporción rend. PR	82.50 %

Tabla de contenido	
Resumen de proyectos y resultados	2
Parámetros generales, Características del conjunto FV, Pérdidas del sistema.	3
Definición del sombreado cercano - Diagrama de iso-sombreados	4
Resultados principales	5
Diagrama de pérdida	6
Balance de emisiones de CO ₂	7

DISEÑO Y CÁLCULO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA DE 2,3 MW Y SU CONEXIÓN A LA RED DE MEDIA ENSIÓN



PVsyst V7.1.7

VC0. Fecha de simulación:
26/04/21 21:33
con v7.1.7

Proyecto: Trabajo Fin de Grado

Variante: DISEÑO Y CÁLCULO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR
FOTOVOLTAICA DE 2,3 MW Y SU CONEXIÓN A LA RED DE MEDIA
TENSIÓN



Parámetros generales	
Sistema conectado a la red Orientación campo FV Orientación Plano fijo Inclinación/Azmut 30 / 0 °	Generador solar fotovoltaico Configuración de cobertizos Núm. de cobertizos 56 unidades Tamaños Espaciamiento cobertizos 8.38 m Ancho de colector 3.93 m Proporc. cob. suelo (GCR) 46.9 % Ángulo límite de sombreado Ángulo límite de perfil 21.6 ° Sombreados cercanos Sombreados lineales
Horizonte Horizonte libre	Modelos usados Transposición Perez Difuso Perez, Meteonorm Circunsolar separado Necesidades del usuario Carga ilimitada (red)

Características del conjunto FV			
Módulo FV Fabricante Modelo (Definición de parámetros personalizados) Unidad Nom. Potencia Número de módulos FV Nominal (STC) Módulos En cond. de funcionam. (50°C) Pmpp U mpp I mpp	Iberian Solar IBS72P-330 330 Wp 7440 unidades 2455 kWp 248 Cadenas x 30 En series 2224 kWp 1028 V 2164 A	Inversor Fabricante Modelo (Definición de parámetros personalizados) Unidad Nom. Potencia Número de inversores Potencia total Voltaje de funcionamiento Proporción Pnom (CC:CA)	Power Electronics FreeSun FS2285 HES 645V 2285 kWca 1 Unidad 2285 kWca 913-1310 V 1.07
Potencia FV total Nominal (STC) Total Área del módulo	2455 kWp 7440 módulos 14436 m ²	Potencia total del inversor Potencia total Núm. de inversores Proporción Pnom	2285 kWca 1 Unidad 1.07

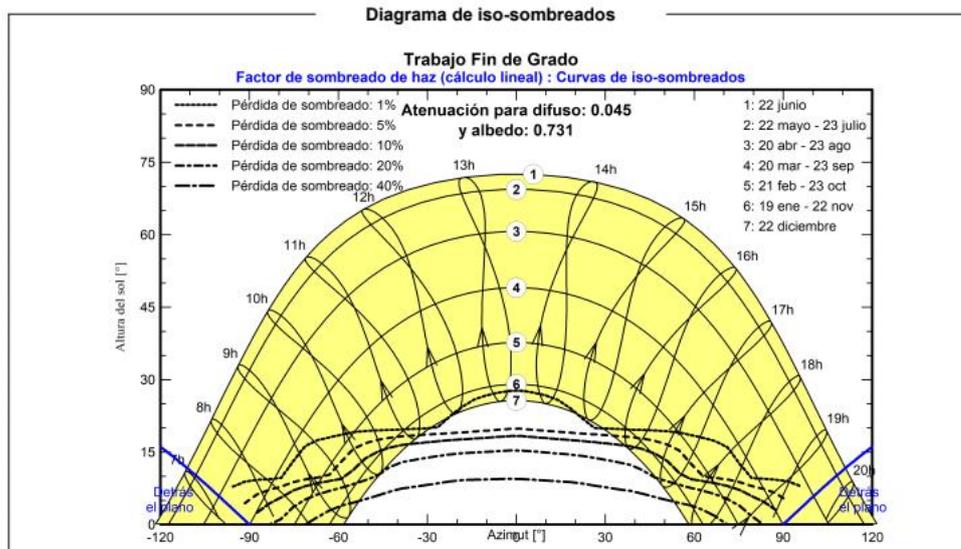
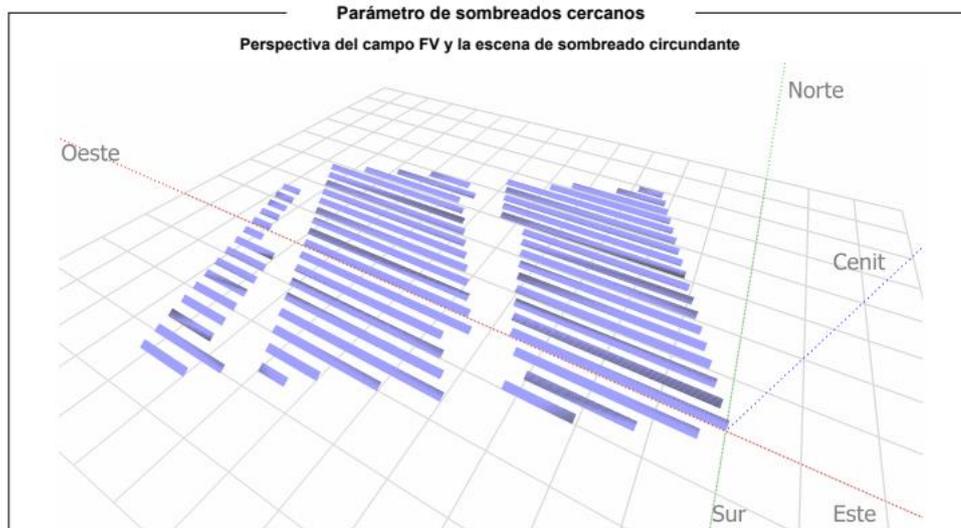
Pérdidas del conjunto			
Factor de pérdida térmica Temperatura módulo según irradiancia U _c (const) U _v (viento)	29.0 W/m ² K 0.0 W/m ² K/m/s	Pérdidas de cableado CC Res. conjunto global Fracción de pérdida	7.9 mΩ 1.5 % en STC
Pérdida de calidad módulo Fracción de pérdida	-0.4 %	Pérdidas de desajuste de módulo Fracción de pérdida	2.0 % en MPP
Factor de pérdida IAM Parám. ASHRAE: IAM = 1 - bo(1/cos i - 1) Parám. bo	0.05	Pérdidas de desajuste de cadenas Fracción de pérdida	0.1 %

Pérdidas del sistema.	
Indisponibilidad del sistema	
Frac. de tiempo	0.4 %
	1.3 días,
	4 períodos



PVsyst V7.1.7
 VCO, Fecha de simulación:
 26/04/21 21:33
 con v7.1.7

Proyecto: Trabajo Fin de Grado
Variante: DISEÑO Y CÁLCULO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR
FOTOVOLTAICA DE 2,3 MW Y SU CONEXIÓN A LA RED DE MEDIA
TENSIÓN



DISEÑO Y CÁLCULO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA DE 2,3 MW Y SU CONEXIÓN A LA RED DE MEDIA ENSIÓN



PVsyst V7.1.7

VC0. Fecha de simulación:
26/04/21 21:33
con v7.1.7

Proyecto: Trabajo Fin de Grado

Variante: DISEÑO Y CÁLCULO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR
FOTOVOLTAICA DE 2,3 MW Y SU CONEXIÓN A LA RED DE MEDIA
TENSIÓN

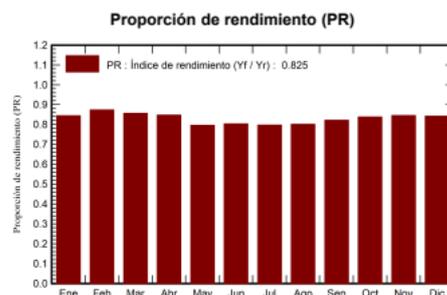
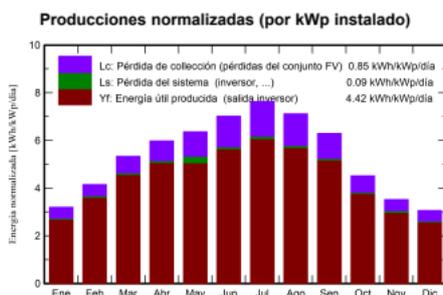


Universidad de Valladolid

Resultados principales

Producción del sistema
Energía producida 3959 MWh/año

Producción específica 1613 kWh/kWp/año
Proporción de rendimiento (PR) 82.50 %



Balances y resultados principales

	GlobHor	DiffHor	T_Amb	GlobInc	GlobEff	EArray	E_Grid	PR
	kWh/m ²	kWh/m ²	°C	kWh/m ²	kWh/m ²	MWh	MWh	proporción
Enero	60.1	25.85	2.92	99.1	91.6	208.8	205.5	0.845
Febrero	80.8	31.25	4.40	116.1	111.4	252.9	249.0	0.873
Marzo	131.6	51.06	7.81	165.4	158.5	353.0	347.9	0.857
Abril	163.1	57.52	9.64	179.5	171.7	379.3	373.5	0.848
Mayo	198.9	70.58	14.71	197.3	188.1	406.4	385.6	0.796
Junio	222.5	66.70	20.19	210.7	200.5	422.3	415.7	0.804
Julio	242.4	54.28	22.03	236.5	226.0	470.1	462.9	0.797
Agosto	206.6	56.00	21.42	220.6	211.2	440.6	434.2	0.802
Septiembre	156.2	47.72	16.92	188.9	181.5	387.0	381.3	0.822
Octubre	102.8	42.88	12.51	139.9	133.8	292.2	287.8	0.838
Noviembre	65.9	26.11	6.17	105.8	99.8	225.2	219.6	0.846
Diciembre	54.1	21.69	3.44	94.8	87.0	199.4	196.2	0.843
Año	1684.9	551.65	11.89	1954.7	1861.1	4037.2	3959.4	0.825

Leyendas

- | | |
|--|--|
| GlobHor Irradiación horizontal global | EArray Energía efectiva a la salida del conjunto |
| DiffHor Irradiación difusa horizontal | E_Grid Energía inyectada en la red |
| T_Amb Temperatura ambiente | PR Proporción de rendimiento |
| GlobInc Global incidente plano receptor | |
| GlobEff Global efectivo, corr. para IAM y sombreados | |

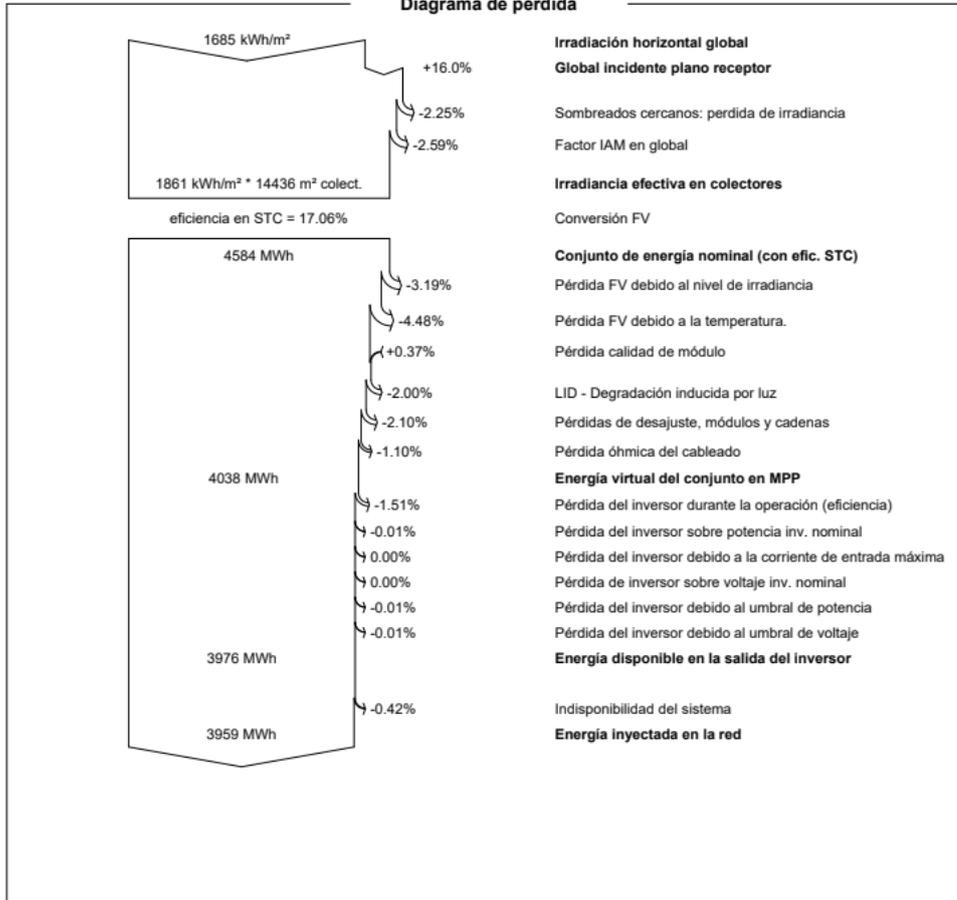


PVsyst V7.1.7
 VC0, Fecha de simulación:
 26/04/21 21:33
 con v7.1.7

Proyecto: Trabajo Fin de Grado
Variante: DISEÑO Y CÁLCULO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR
FOTOVOLTAICA DE 2,3 MW Y SU CONEXIÓN A LA RED DE MEDIA
TENSIÓN



Diagrama de pérdida



DISEÑO Y CÁLCULO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA DE 2,3 MW Y SU CONEXIÓN A LA RED DE MEDIA ENSIÓN

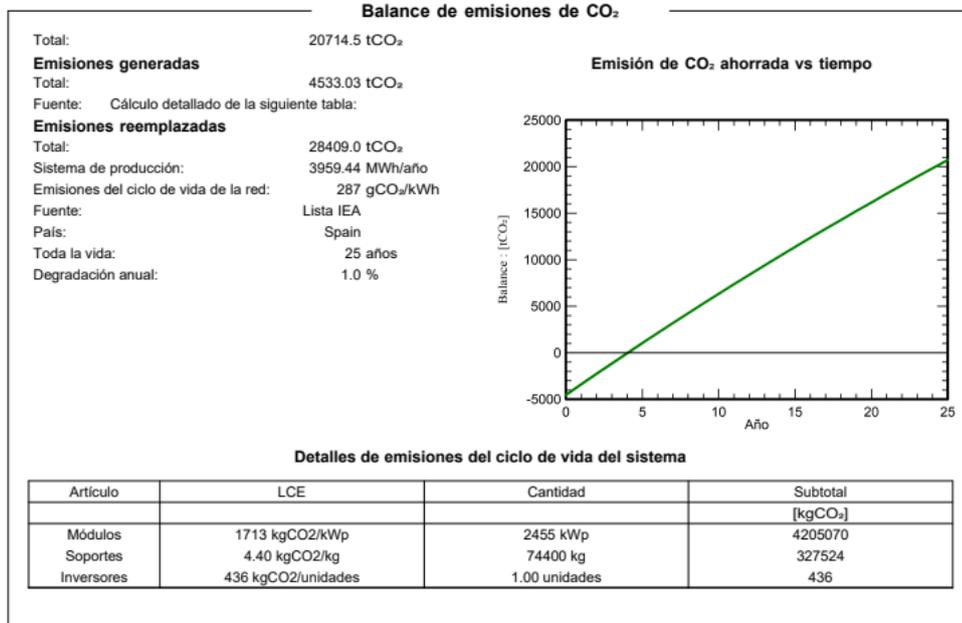


PVsyst V7.1.7

VC0. Fecha de simulación:
26/04/21 21:33
con v7.1.7

Proyecto: Trabajo Fin de Grado

Variante: DISEÑO Y CÁLCULO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR
FOTOVOLTAICA DE 2,3 MW Y SU CONEXIÓN A LA RED DE MEDIA
TENSIÓN



Como se puede apreciar, la producción calculada mediante este software es de 3.959.400 kWh al año, con un rendimiento del 86,35 %. El PVsyst ofrece otro dato muy interesante para las instalaciones fotovoltaicas, la proporción de rendimiento (PR), con un valor de 82,5 %.

8.4.5. RESUMEN DE RESULTADOS

Después del cálculo de la producción mediante tres métodos diferentes se procede a compararlos entre sí.

El estudio teórico desarrollado en el apartado 8.4.2 del presente documento, obteniéndose un resultado de 3.707.659,14 kWh/año, es una estimación en la que únicamente se tiene en cuenta la inclinación y orientación de los paneles fotovoltaicos, la separación entre filas y unas pérdidas por suciedad supuestas mediante unos coeficientes.

La predicción de producción anual obtenida mediante el software informativo “NSol” es de 3.801.437 kWh, se trata de un programa antiguo pero muy eficaz en las predicciones. Las pérdidas calculadas son únicamente a través de los rendimientos de las equipos que componen la instalación y por una base de datos interna en donde se recogen los datos de radiación y temperaturas medias por semanas a lo largo de un año en las diferentes provincias de España. El rendimiento que nos arroja es del 88,2 %.

El software “PVsyst” es uno de los más completos que hay en la actualidad, el estudio realizado nos estima una producción anual de 3.959.400 kWh, con una proporción de rendimiento de 82,5% y un rendimiento de 86,35%.

Podemos concluir, que debido a la precisión y a la gran variedad de parámetros con los que trabaja PVsyst, el resultado que arroja se puede considerar como el más ajustado a la realidad.

9. ESTUDIO DE VIABILIDAD ECONÓMICA

Teniendo en cuenta los datos de partida de la instalación:

- Potencia nominal: 2,3 MW
- Potencia pico: 2.455.200 W_p
- IPC: 1,5 %
- Degradación anual de paneles: 1 %
- Coste de mantenimiento anual: 5.000 €

El coste de mantenimiento anual aumenta según IPC.

La siguiente tabla recoge los parámetros económicos básicos de la instalación en base a una inversión 100 % con fondos propios con periodo de amortización de 25 años, con un coste de instalación de 1.384.155,93 €.

Energía generada el primer año	3.959.400 kWh
Beneficio del primer año	137.332,69 €
Beneficio medio en periodo de amortización	144.467,59 €
Rentabilidad anual en periodo de amortización	10,437 %
TIR (25 años)	16,076 %
Beneficio total en años de amortización	3.611.689,86 €

La ganancia obtenida será el resultado de la venta de la energía generada al precio que marque el mercado eléctrico en cada momento restándole el coste de instalación de la planta del primer año. Tomando como referencia el precio medio del mercado eléctrico de 0,055 €/kWh, se ha estimado un beneficio medio anual durante los años de amortización de **144.467,59 €**

A continuación, se muestra la tabla de amortización de la instalación, teniendo en cuenta la energía producida y el precio de la tarifa con el incremento del IPC año a año. Se inicia el periodo de amortización en base a la inversión realizada. En la energía producida anualmente se ha tenido en cuenta la degradación de los paneles solares y suponiendo una vida útil de la instalación de 25 años.

Año	Inversión (€)	Producción anual (kWh)	Precio Venta (€/kWh)	Facturación (€)	Mantenimiento (€)	Amortización	Beneficio antes de impuestos (€)	Impuestos (€)	Beneficio después de impuestos (€)	Flujo de Caja (€)
1	-1.384.155,93 €	3.959.400,00	0,0550 €	217.767,00 €	-14.731,20 €	-55.366,24 €	147.669,56 €	-10.336,87 €	137.332,69 €	-1.191.457,00 €
2		3.919.806,00	0,0558 €	218.823,17 €	-14.952,17 €	-55.366,24 €	148.504,76 €	-10.395,33 €	138.109,43 €	193.475,67 €
3		3.880.212,00	0,0567 €	219.862,03 €	-15.176,45 €	-55.366,24 €	149.319,34 €	-10.452,35 €	138.866,99 €	194.233,22 €
4		3.840.618,00	0,0575 €	220.882,82 €	-15.404,10 €	-55.366,24 €	150.112,48 €	-10.507,87 €	139.604,61 €	194.970,84 €
5		3.801.024,00	0,0584 €	221.884,76 €	-15.635,16 €	-55.366,24 €	150.883,36 €	-10.561,84 €	140.321,53 €	195.687,76 €
6		3.761.430,00	0,0593 €	222.867,06 €	-15.869,69 €	-55.366,24 €	151.631,14 €	-10.614,18 €	141.016,96 €	196.383,19 €
7		3.721.836,00	0,0601 €	223.828,91 €	-16.107,73 €	-55.366,24 €	152.354,94 €	-10.664,85 €	141.690,09 €	197.056,33 €
8		3.682.242,00	0,0610 €	224.769,47 €	-16.349,35 €	-55.366,24 €	153.053,88 €	-10.713,77 €	142.340,11 €	197.706,35 €
9		3.642.648,00	0,0620 €	225.687,88 €	-16.594,59 €	-55.366,24 €	153.727,05 €	-10.760,89 €	142.966,16 €	198.332,40 €
10		3.603.054,00	0,0629 €	226.583,27 €	-16.843,51 €	-55.366,24 €	154.373,53 €	-10.806,15 €	143.567,38 €	198.933,62 €
11		3.563.460,00	0,0638 €	227.454,74 €	-17.096,16 €	-55.366,24 €	154.992,35 €	-10.849,46 €	144.142,88 €	199.509,12 €
12		3.523.866,00	0,0648 €	228.301,38 €	-17.352,60 €	-55.366,24 €	155.582,54 €	-10.890,78 €	144.691,76 €	200.058,00 €
13		3.484.272,00	0,0658 €	229.122,24 €	-17.612,89 €	-55.366,24 €	156.143,11 €	-10.930,02 €	145.213,09 €	200.579,33 €
14		3.444.678,00	0,0667 €	229.916,36 €	-17.877,08 €	-55.366,24 €	156.673,04 €	-10.967,11 €	145.705,92 €	201.072,16 €
15		3.405.084,00	0,0677 €	230.682,75 €	-18.145,24 €	-55.366,24 €	157.171,27 €	-11.001,99 €	146.169,28 €	201.535,52 €
16		3.365.490,00	0,0688 €	231.420,39 €	-18.417,42 €	-55.366,24 €	157.636,74 €	-11.034,57 €	146.602,17 €	201.968,40 €
17		3.325.896,00	0,0698 €	232.128,27 €	-18.693,68 €	-55.366,24 €	158.068,35 €	-11.064,78 €	147.003,57 €	202.369,80 €
18		3.286.302,00	0,0708 €	232.805,31 €	-18.974,09 €	-55.366,24 €	158.464,99 €	-11.092,55 €	147.372,44 €	202.738,67 €
19		3.246.708,00	0,0719 €	233.450,43 €	-19.258,70 €	-55.366,24 €	158.825,50 €	-11.117,78 €	147.707,71 €	203.073,95 €
20		3.207.114,00	0,0730 €	234.062,53 €	-19.547,58 €	-55.366,24 €	159.148,71 €	-11.140,41 €	148.008,30 €	203.374,54 €
21		3.167.520,00	0,0741 €	234.640,46 €	-19.840,79 €	-55.366,24 €	159.433,43 €	-11.160,34 €	148.273,09 €	203.639,33 €
22		3.127.926,00	0,0752 €	235.183,07 €	-20.138,40 €	-55.366,24 €	159.678,43 €	-11.177,49 €	148.500,94 €	203.867,17 €
23		3.088.332,00	0,0763 €	235.689,16 €	-20.440,48 €	-55.366,24 €	159.882,44 €	-11.191,77 €	148.690,67 €	204.056,91 €
24		3.048.738,00	0,0775 €	236.157,51 €	-20.747,09 €	-55.366,24 €	160.044,19 €	-11.203,09 €	148.841,10 €	204.207,33 €
25		3.009.144,00	0,0786 €	236.586,89 €	-21.058,29 €	-55.366,24 €	160.162,36 €	-11.211,37 €	148.951,00 €	204.317,23 €
TOTAL	-1.384.155,93 €	87.106.800,00		5.710.557,83 €	-442.864,41 €	-1.384.155,93 €	3.883.537,49 €	-271.847,62 €	3.611.689,86 €	3.611.689,86 €

Un importante indicativo de la rentabilidad de una instalación es la TIR (Tasa Interna de Retorno), es el porcentaje de beneficio o pérdida que tendrá una instalación a lo largo de su vida útil; en la presente instalación obtenemos una TIR = 16,076 %, por lo que se puede afirmar que es una inversión muy rentable.



VALLADOLID, junio de 2021

Fdo: Rubén Herrera Galiano

Ingeniero Eléctrico

PRESUPUESTO

Presupuesto parcial nº 1 LÍNEA DE M.T.....	137
Presupuesto parcial nº 2 CENTRO DE SECCIONAMIENTO	139
Presupuesto parcial nº 3 CAMPO FOTOVOLTAICO....	141
PRESUPUESTO TOTAL DE EJECUCIÓN MATERIAL	146

Presupuesto parcial nº 1 LÍNEA DE M.T.

Nº	Ud	Descripción	Medición	Precio	Importe
1.1	MI.	Cable aislado de M.T. tipo HEPRZ1 de 18/30 kV. y de 3x95 m/m ² en Al., instalado en zanja subterránea bajo tubo corrugado de 140 mm de diámetro.			
		Total MI.	150,00	2,64 €	396,18 €
1.2	MI.	Zanja para un tubo de PVC de 140 m/m. Ø, en tierra de 0,4x0,4, colocación de tubo de PVC corrugado exterior y liso interior, excavación, protección de tubo con arena lavada de río, aportación de tierra sobrante, compactación y transporte de sobrantes a vertedero.			
		Total MI.	150,00	140,12 €	21.018,00 €
1.3	MI.	Apoyo metálico tipo C-3000 de 14 m. de altura para paso de aéreo a subterráneo, incluso montaje. Totalmente instalado y conexionado, con p.p. de mano de obra.			
		Total MI.	1,00	4.699,10 €	4.699,10 €
1.4	MI.	Cruceta recta tipo RC1-15/5, instalada sobre el apoyo metálico. Totalmente instalado y conexionado, con p.p. de mano de obra.			
		Total MI.	1,00	566,93 €	566,93 €
1.5	MI.	Soportes, abrazaderas, grapas y tornillos para herrajes y tubo. Totalmente instalado y conexionado, con p.p. de mano de obra.			
		Total MI.	1,00	2.074,92 €	2.074,92 €
1.6	MI.	Conjuntos antiescalo en chapa galvanizada instalados en apoyo metálico, hasta 2 m. de altura.			
		Total MI.	1,00	396,45 €	396,45 €
1.7	MI.	Cadenas de amarre, competas (conjunto de dos discos cada juego).			
		Total MI.	3,00	315,01 €	945,03 €

Presupuesto parcial nº 2 CENTRO DE SECCIONAMIENTO

Nº	Ud	Descripción	Medición	Precio	Importe
2.1	MI.	Excavación y hormigonado de las siguientes dimensiones: 8,00x3,00x0,60 m. para la ubicación del Centro de Seccionamiento, incluso lecho de arena lavada de río de 0,10 m. de alto en toda su superficie para proporcionar un mejor asentamiento y transporte de sobrantes a vertedero.			
		Total MI.	1,00	1.890,59 €	1.890,59 €
2.2	MI.	Celdas modulares NORMAFIX 24 kV, modelo IS, DC, M y TT con detectores capacitivos en cada una de las funciones. Incluye embarrado de conexión. Totalmente instalado y conexionado, con p.p. de mano de obra.			
		Total MI.	1,00	16.757,36 €	16.757,36 €
2.3	MI.	Conjunto de celdas compacto FLUOFIX GC 24 kV, modelo 3IS + CIS con interruptor-seccionador telemandado y portafusibles. Incluye embarrado de conexión. Totalmente instalado y conexionado, con p.p. de mano de obra.			
		Total MI.	1,00	19.496,52 €	19.496,52 €
2.4	MI.	Edificio prefabricado de hormigón monobloque Pucbet, modelo 7BA1T, con dos puertas de peatón, con espacio para un transformador. Con red de tierra interior y alumbrado interior, de dimensiones 7,500 x 2,520 x 2,600 mm			
		Total MI.	1,00	10.776,84 €	10.776,84 €
2.5	MI.	Toma de tierra de servicio, con cable de 0,6-1 kV. tipo RV-K de 1x50 m/m ² , según se describe en memoria y plano nº4. Totalmente instalado y conexionado, con p.p. de mano de obra.			
		Total MI.	1,00	403,00 €	403,00 €
2.6	MI.	Transformador en baño de aceite 250 kVA 15-20 kV, ZYn11, 50 Hz, con termómetro, según normas Iberdrola y UE 548/2014. Totalmente instalado y conexionado, con p.p. de mano de obra.			
		Total MI.	1,00	20.832,00 €	20.832,00 €

2.7	MI.	Comprobación de las tensiones de paso y contacto en el centro de transformación.				
			Total MI.	1,00	539,40 €	539,40 €
2.8	MI.	Modem GSM/GPRS para comunicación con contador. Totalmente instalado y conexionado, con p.p. de mano de obra.				
			Total MI.	1,00	344,72 €	344,72 €
2.9	MI.	Analizador de Red Power logic ION 7400. Totalmente instalado y conexionado, con p.p. de mano de obra.				
			Total MI.	1,00	2.132,80 €	2.132,80 €
2.10	MI.	Relé de Protección y control multifunción con parametrización. Totalmente instalado y conexionado, con p.p. de mano de obra.				
			Total MI.	1,00	10.050,20 €	10.050,20 €
2.11	MI.	Armario de medida Alta Tensión, según norma Iberdrola, PNZ-CMAT-PF (1-2) IB. Totalmente instalado y conexionado, con p.p. de mano de obra.				
			Total MI.	1,00	403,00 €	403,00 €
2.12	MI.	Ejecución de acera perimetral al centro de 1 m. de ancho con una longitud aproximada de 20 m. formada por hormigón en masa de 0,10 m. de espesor.				
			Total MI.	1,00	265,75 €	265,75 €
2.13	MI.	Cuadro de distribución para centro de seccionamiento del tipo CBTO AS8 de la marca PRONUTEC. Totalmente instalado y conexionado, con p.p. de mano de obra.				
			Total MI.	1,00	675,80 €	675,80 €
2.14	Ud.	Elementos de seguridad abonados, formado por: cartel de las cinco reglas de oro y primeros auxilios, dos guantes aislantes, dos banquetas aislantes, un extintor de CO ₂ y pértiga de salvamento.				
			Total Ud.	1,00	427,80 €	427,80 €

Total presupuesto parcial nº 2 CENTRO DE SECCIONAMIENTO: 84.995,78 €

Presupuesto parcial nº 3 CAMPO FOTOVOLTAICO

Nº	Ud	Descripción	Medición	Precio	Importe	
3.1	MI.	Cable de 0,6-1 RV-K, tipo polietileno reticulado de 2x6 m/m ² de sección, en bandeja portacables, instalado, incluso terminales. Para enlace entre grupos de paneles y cuadros de corriente continua. Totalmente instalado y conexionado, con p.p. de mano de obra.				
			Total MI.	28.300,00	0,48 €	13.676,21 €
3.2	MI.	Cable de 0,6-1 RZ1-AI, tipo polietileno reticulado de 2x150 m/m ² de sección, en zanja subterránea, instalado, incluso terminales. Para enlace entre Cuadros de Corriente Continua e Inversor. Totalmente instalado y conexionado, con p.p. de mano de obra.				
			Total MI.	4.320,00	2,22 €	9.588,67 €
3.3	MI.	Cable de 0,6-1 RZ1-AI, tipo polietileno reticulado de 2x185 m/m ² de sección, en zanja subterránea, instalado, incluso terminales. Para enlace entre Cuadros de Corriente Continua e Inversor. Totalmente instalado y conexionado, con p.p. de mano de obra.				
			Total MI.	840,00	2,60 €	2.187,36 €
3.4	MI.	Cuadro de Corriente Continua instalado en intemperie, compuesto de: borneros de llegada de cables desde el campo fotovoltaico, bornes de salida a Inversor, varistor de 1500 V, treinta fusibles calibrados de 12 A. Un interruptor automático magnetotérmico 315 A. II y 25 kA. de poder de corte. Totalmente instalado y conexionado, con p.p. de mano de obra.				
			Total MI.	1,00	2.641,20 €	2.641,20 €
3.5	MI.	Cuadro de Corriente Continua instalado en intemperie, compuesto de: borneros de llegada de cables desde el campo fotovoltaico, bornes de salida a Inversor, varistor de 1500 V, cuarenta fusibles calibrados de 12 A. Un interruptor automático magnetotérmico 400 A. II y 25 kA. de poder de corte. Totalmente instalado y conexionado, con p.p. de mano de obra.				
			Total MI.	6,00	2.994,60 €	17.967,60 €

- 3.6 MI. Zanja para cuatro tubos de PVC de 160 m/m. Ø y tres tubos de PVC de 200 m/m. Ø, en tierra de 0,8x0,8, colocación de tubo de PVC corrugado exterior y liso interior, excavación, protección de tubos con arena lavada de río, aportación de tierra sobrante, compactación y transporte de sobrantes a vertedero

Total MI. 700,00 104,71 € 73.293,92 €

- 3.7 MI. Zanja para conductor de cable de cobre desnudo para toma de tierra, de 0,5 m. de profundidad y 0,20 m. de ancho, en tierra, ejecutando apertura y tapado, compactación y transporte de sobrantes a vertedero

Total MI. 700,00 61,75 € 43.226,40 €

- 3.8 MI. Cable de cobre desnudo de 50 m/m² de sección, para red equipotencial de toda la estructura uniendo todos los elementos que la componen, utilizando abrazaderas o grapas adecuadas, tendido en subterráneo e instalado. Totalmente instalado y conexionado, con p.p. de mano de obra.

Total MI. 600,00 2,85 € 1.711,20 €

- 3.9 MI. Pica de cobre de 2 m de longitud, para red equipotencial de toda la estructura y puesta a tierra de Centro de transformación. Totalmente instalado y conexionado, con p.p. de mano de obra.

Total MI. 75,00 4,79 € 359,60 €

- 3.10 MI. Arqueta prefabricada de hormigón sin fondo de 1x1 m. Totalmente instalado y conexionado, con p.p. de mano de obra.

Total MI. 9,00 80,60 € 725,40 €

- 3.11 MI. Tapa para arqueta prefabricada de hormigón de 1x1 m. Totalmente instalado y conexionado, con p.p. de mano de obra.

Total MI. 9,00 93,00 € 837,00 €

3.12 MI. Módulos solares marca “Iberian Solar IBS72P” o similar de 330 Wp. Poli-cristalinos, compuestos de 72 células y las siguientes condiciones estándar:

- Tensión a potencia máxima 37,30 V.
- Corriente a potencia máxima 8,85 A.
- Tensión a circuito abierto 45,90 V.
- corriente de cortocircuito 9,26 A.

Sus dimensiones son. 1.956 m/m de largo, 992 m/m de ancho y 35 m/m de espesor. Instalados en estructura soporte.

Totalmente instalado y conexionado, con p.p. de mano de obra.

Total MI. 7.440,00 86,80 € 645.792,00 €

3.13 MI. Estructura soporte para placas solares de 330 Wp tipo Iberian Solar tipo “IBS72P” ó similares con todos sus accesorios, patas, travesaños, tornillería, etc., completamente instalada. Totalmente instalado y conexionado, con p.p. de mano de obra.

Total MI. 7.440,00 38,44 € 285.993,60 €

3.14 Ud. Grapa o abrazadera de enlace entre la estructura y el cable, donde se consigue el punto de conexión y derivación a tierra de cualquier posible corriente de fuga, instalada. Totalmente instalado y conexionado, con p.p. de mano de obra.

Total Ud. 7440,00 0,50 € 3.690,24 €

3.15 Ud. Inversor de 2.300 kW tipo “Freesun HEMK FS2285K” ó similar, para su instalación a la intemperie, grado de protección IP-54 con dimensiones ancho-3.700 m/m. alto-2.200 m/m y fondo-2.200 m/m, estando protegido frente a las situaciones siguientes:

- Fallo en red eléctrica.
- Tensión fuera de rango.
- Frecuencia fuera de límites.
- Temperatura elevada.
- Tensión del generador baja.
- Intensidad del generador insuficiente.

Totalmente instalado y conexionado, con p.p. de mano de obra

Total Ud. 1,00 93.887,84 € 93.887,84 €

- 3.16 MI. Excavación y hormigonado de las siguientes dimensiones: 10,50x2,50x0,60 m. para la ubicación del Centro de Transformación, incluso lecho de arena lavada de río de 0,10 m. de alto en toda su superficie para proporcionar un mejor asentamiento y transporte de sobrantes a vertedero. Totalmente instalado y conexionado, con p.p. de mano de obra.

Total MI.	1,00	2.152,64 €	2.152,64 €
-----------	------	------------	------------

- 3.17 Ud. Transformador trifásico, en baño de aceite de llenado integral de 2.300 kVA, 645/13.200 V, Dy11, 50 Hz. Con dos celdas de línea y una celda de protección. Totalmente instalado y conexionado, con p.p. de mano de obra.

Total Ud.	1,00	59.741,96 €	59.741,96 €
-----------	------	-------------	-------------

- 3.18 Ud. Pletina de 0,6-1 RV-K, de 3x2.000 mm² de sección, al aire, instalado, incluso terminales. Para enlace entre Inversor y Transformador. Totalmente instalado y conexionado, con p.p. de mano de obra.

Total Ud.	1,00	2.907,80 €	2.907,80 €
-----------	------	------------	------------

- 3.19 Ud. Terminal de aluminio tubular de compresión soldado al estaño con entrada de campana de 150 mm². Totalmente instalado, con p.p. de mano de obra.

Total Ud.	72,00	1,81 €	130,35 €
-----------	-------	--------	----------

- 3.20 Terminal de aluminio tubular de compresión soldado al estaño con entrada de campana de 185 mm². Totalmente instalado, con p.p. de mano de obra.

Total Ud.	8,00	2,23 €	17,86 €
-----------	------	--------	---------

- 3.21 Ud. Pequeño material necesario para la realización de la instalación: tornillería, bridas, conectores, etc.

Total Ud.	1,00	5.852,80 €	5.852,80 €
-----------	------	------------	------------

3.22 Ud. Unidades de uso preventivo:

- Equipos de Protección Individual.
- Sistemas de Protección Colectiva.
- Instalaciones provisionales de obra.
- Primeros auxilios y medicina preventiva.
- Señalización.
- Formación Preventiva.

Total Ud.	1,00	4.340,00 €	4.340,00 €
-----------	------	------------	------------

Total presupuesto parcial nº 3 CAMPO FOTOVOLTAICO: 1.266.381,64 €

PRESUPUESTO TOTAL DE EJECUCIÓN MATERIAL

1 LINEA DE MT	32.778,51 €
2 CENTRO DE TRANSFORMACION	84.995,78 €
3 CAMPO FOTOVOLTAICO	1.266.381,64 €
Total:	1.384.155,93 €

Asciende el presupuesto de ejecución material a la expresada cantidad de UN MILLÓN TRESCIENTOS OCHENTA Y CUATRO MIL CIENTO CINCUENTA Y CINCO EUROS CON NOVENTA Y TRES CÉNTIMOS.



VALLADOLID, junio de 2021

Fdo: Rubén Herrera Galiano

Ingeniero Eléctrico

PLIEGO DE CONDICIONES

1.	ANTECEDENTES	151
1.1.	OBJETIVO.....	151
1.2.	SITUACIÓN.....	151
2.	PLIEGO DE CONDICIONES LÍNEAS SUBTERRÁNEAS M.T.....	152
2.1.	OBJETIVO.....	152
2.2.	CAMPO DE APLICACIÓN.....	152
2.3.	EJECUCIÓN DEL TRABAJO	152
2.3.1.	TRAZADO	152
2.3.2.	APERTURA DE ZANJAS.....	153
2.3.3.	CANALIZACIÓN	153
2.3.4.	TRANSPORTE DE BOBINAS DE CABLES.....	158
2.3.5.	TENDIDO DE CABLES.....	159
2.3.6.	PROTECCIÓN MECÁNICA.....	161
2.3.7.	SEÑALIZACIÓN	161
2.3.8.	IDENTIFICACIÓN.....	161
2.3.9.	CIERRE DE ZANJAS.....	161
2.3.10.	REPOSICIÓN DE PAVIMENTOS	162
2.3.11.	PUESTA A TIERRA.....	162
2.3.12.	ARMARIO DE DISTRIBUCIÓN	162
2.4.	MATERIALES	163
2.5.	RECEPCIÓN DE LA OBRA.....	163
3.	PLIEGO DE CONDICIONES CENTRO DE TRANSFORMACIÓN/SECCIONAMIENTO ...	164
3.1.	CALIDAD DE LOS MATERIALES	164
3.1.1.	OBRA CIVIL	164
3.1.2.	APARAMENTA DE ALTA TENSIÓN.....	164
3.1.3.	TRANSFORMADORES	168
3.1.4.	EQUIPOS DE MEDIDA	168
3.2.	NORMAS DE EJECUCIÓN DE LAS INSTALACIONES .	169

3.3.	PRUEBAS REGLAMENTARIAS	170
3.4.	CONDICIONES DE USO, MANTENIMIENTO Y SEGURIDAD	170
3.4.1.	PREVENCIONES GENERALES.....	170
3.4.2.	PUESTA EN SERVICIO	171
3.4.3.	SEPARACION DE SERVICIO.....	171
3.4.4.	PREVENCIONES ESPECIALES.....	172
3.5.	CERTIFICADOS Y DOCUMENTACIÓN	172
4.	PLIEGO DE CONDICIONES DE UNA INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA.....	173
4.1.	RECONOCIMIENTO Y ADMISIÓN DE LOS MATERIALES	173
4.2.	NORMATIVA VIGENTE.....	174
4.2.1.	NORMAS ESPECIFICAS DE CARÁCTER GENERAL.....	176
4.2.2.	PRESCRIPCIONES Y NORMAS TÉCNICAS DE CARCATER GENERAL	176
4.2.3.	POTENCIA MÁXIMA DE LAS CENTRALES INTERCONECTADAS	176
4.2.4.	PUESTA A TIERRA DE LAS CENTRALES	177
4.2.5.	ARMÓNICOS	177
4.2.6.	PROTECCIONES.....	177
4.3.	CONDICIONES PARTICULARES	179
4.3.1.	MÓDULOS FOTOVOLTAICOS.....	179
4.3.2.	INVERSORES	180
4.3.3.	INSTALACIÓN ELÉCTRICA Y PROTECCIONES	181
4.3.4.	PUESTA A TIERRA.....	184
5.	MEDIDAS DE SEGURIDAD Y SEÑALIZACIÓN	186
5.1.	PRESCRIPCIONES ESPECÍFICAS EN ORDEN A LA SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO	186
5.2.	SEÑALIZACIÓN DE LAS OBRAS.....	187
5.3.	CONDICIONES DE LAS MEDIDAS DE PROTECCIÓN .	187
5.4.	PROTECCIONES PERSONALES	188

6.	MODIFICACIONES EN EL PROYECTO	189
7.	CONSERVACIÓN Y LIMPIEZA	190
8.	EJECUCIÓN DE LA INSTALACIONES	191
8.1.	CONDICIONES ECONÓMICAS DE LA EJECUCIÓN	191
8.2.	CRONOGRAMA	192
8.3.	OBRAS DEFECTUOSAS O INCOMPLETAS.....	194
8.4.	RESCISIÓN DE CONTRATOS Y SANCIONES	194
9.	RECEPCIÓN DE LA INSTALACIÓN	196
10.	PRUEBAS DE LA INSTALACIÓN.....	197
11.	CONDICIONES DE USO, MANTENIMIENTO Y SEGURIDAD	198
11.1.	PUESTA EN SERVICIO	198
11.2.	SEPARACIÓN DE SERVICIO	198
11.3.	PREVENCIONES ESPECIALES.....	199
12.	CERTIFICADOS Y DOCUMENTACIÓN	200
13.	LIBROS Y ÓRDENES.....	201

1. ANTECEDENTES

1.1. OBJETIVO

Este Pliego de Condiciones determina las condiciones mínimas aceptables para la ejecución de las obras de instalación de redes de distribución en media y baja tensión.

1.2. SITUACIÓN

Son objeto de esta contrata todos los trabajos de los diferentes oficios que intervienen para la total realización del proyecto y ejecución del generador solar fotovoltaico de 2,2 MW, Centro de Transformación 2,3 MVA 13,2/1,5 kV y Centro de Seccionamiento, situado en Polígono 504, Parcela 49, La saturnina, Calvarrasa de Arriba (Salamanca), incluidos todos los materiales y medios auxiliares con estricta sujeción a los documentos que constituyen el mismo, hasta la total terminación de la instalación.

2. PLIEGO DE CONDICIONES LÍNEAS SUBTERRÁNEAS M.T.

2.1. OBJETIVO

Este Pliego de Condiciones determina las condiciones mínimas aceptables para la ejecución de las obras de instalación de redes subterráneas de distribución.

2.2. CAMPO DE APLICACIÓN

Este pliego de condiciones se refiere al suministro e instalación de materiales necesarios en la ejecución de redes subterráneas de Baja Tensión y de Alta Tensión.

Los pliegos de Condiciones particulares podrán modificar las presentes prestaciones.

2.3. EJECUCIÓN DEL TRABAJO

Correspondiente al Contratista la responsabilidad en la ejecución de los trabajos que deberán realizarse conforme a la normativa oportuna y demás reglas del arte.

2.3.1. TRAZADO

Las canalizaciones, salvo casos de fuerza mayor, se ejecutarán en terrenos de dominio público, bajo las aceras o calzadas, evitando ángulos pronunciados. El trazo será lo más rectilínea posible, paralelo en toda su longitud a bordillos o fachadas de los edificios principales.

Antes de comenzar los trabajos, se marcarán en el pavimento las zonas donde se abrirán las zanjas, marcando tanto se anchura como su longitud y las zonas donde se dejen llaves para la contención del terreno. Si ha habido posibilidad de conocer las acometidas de otros servicios a las fincas construidas, se indicarán sus situaciones con el fin de tomar las precauciones debidas.

Antes de proceder a la apertura de las zanjas se abrirán calas de reconocimiento para confirmar o rectificar el trazado previsto.

Se estudiará la señalización de acuerdo con las normas municipales y se determinarán las protecciones precisas tanto de la zanja como de los pasos que sean necesarios para los accesos a los portales, comercios, garajes, etc., así como las chapas de hierro que han de colocarse sobre la zanja para el paso de vehículos.

Al marcar el trazado de las zanjas se tendrá en cuenta el radio mínimo que hay que dejar en la curva con arreglo a la sección del conductor o conductores que se vayan a canalizar.

2.3.2. APERTURA DE ZANJAS

Las zanjas se harán verticales a hasta la profundidad escogida, colocándose entubaciones en los casos en que la naturaleza del terreno lo haga preciso.

Se procurará dejar un paso de 50 cm entre la zanja y las tierras extraídas, con el fin de facilitar la circulación del personal de la obra y evitar la caída de tierras en la zanja.

Se deben tomar las precauciones precisas para no tapar con tierras registros de gas, teléfono, bocas de riego, alcantarillas, etc.

Durante la ejecución de los trabajos en la vía pública se dejarán pasos suficientes para vehículos y peatones, así como los accesos a los edificios, comerciales y garajes. Si es necesario interrumpir la circulación se precisará una autorización especial.

Las dimensiones mínimas de las zanjas serán las siguientes:

- Profundidad de 60 cm y anchura de 40 cm para canalizaciones de Baja Tensión bajo acera.
- Profundidad de 80 cm y anchura de 60 cm para canalizaciones de Baja Tensión bajo calzada o de Alta Tensión bajo acera o calzada indistintamente.

2.3.3. CANALIZACIÓN

Los cruces de vías públicas o privadas se realizarán con tubos ajustándose a las siguientes condiciones:

- a) Se colocará en posición horizontal y recta y estarán hormigonados en toda su longitud.
- b) Deberá preverse para futuras ampliaciones uno o varios tubos de reserva dependiendo el número de la zona y situación del cruce (en cada caso se fijará el número de tubos de reserva).
- c) Los extremos de los tubos en los cruces llegarán hasta los bordillos de las aceras, debiendo construirse en los extremos un tabique para su fijación.
- d) En las salidas el cable se situará en la parte superior del tubo cerrando los orificios con yeso.
- e) Siempre que la profundidad de zanja bajo la calzada sea inferior a 60 cm en el caso de Baja Tensión u 80 cm en el caso de Alta Tensión se utilizarán chapas o tubos de hierro y otros dispositivos que aseguren una resistencia mecánica equivalente, teniendo en cuenta que dentro del mismo tubo deberán colocarse las tres fases de Alta Tensión o las tres fases y neutro de Baja Tensión
- f) Los cruces de vías férreas, cursos de agua, etc., deberán proyectarse con todo detalle.

2.3.3.1. ZANJA

Cuando en una zanja coincidan cables de distintas tensiones se situarán en bandas horizontales a distinto nivel de forma que en cada banda se agrupen cables de igual tensión

La separación entre dos bandas de cables será mínima de 20 cm.

La separación entre dos cables multipolares o ternas de cables unipolares dentro de una misma banda será como mínimo de 20 cm.

La profundidad de las respectivas bandas de cables dependerá de las tensiones, de forma que la mayor profundidad corresponda a la mayor tensión.

2.3.3.1.1. CABLE DIRECTAMENTE ENTERRADO

En el lecho de la zanja irá una capa de arena de 10 cm de espesor sobre la que se colocará el cable. Por encima del cable irá otra capa de arena de 10 cm de espesor. Ambas capas cubrirán la anchura total de la zanja.

La arena que se utilice para la protección de los cables será limpia, suelta y áspera, exenta de sustancias orgánicas, arcilla o partículas terrosas, para lo cual se tamizara o lavará convenientemente si fuera necesario. Se

empleará arena de mina o de río indistintamente, siempre que reúna las condiciones señaladas anteriormente y las dimensiones de los granos serán de 2 a 3 mm como máximo.

Cuando se emplea la arena procedente de la misma zanja, además de necesitar la aprobación del Director de Obra, será necesario su cribado.

Los cables deben estar enterrados a profundidad no inferior a 0,6 m, excepción hecha en el caso en que se atraviesen terrenos rocosos. Salvo casos especiales los eventuales obstáculos deben ser evitados pasando el cable por debajo de los mismos.

Todos los cables deben tener una protección (ladrillos, medias cañas, tejas, losas de piedra, etc., formando bovedillas) que sirva para indicar su presencia durante eventuales trabajos de excavación.

2.3.3.1.2. CABLE ENTUBADO

El cable en parte o en todo su recorrido irá en el interior de tubos de cemento, fibrocemento, fundición de hierro, etc., de superficie interna lisa, siendo su diámetro interior no inferior a 1,6 veces el diámetro del cable o del haz de cables.

Los tubos estarán hormigonados en todo su recorrido o simplemente con sus uniones recibidas con cemento, en cuyo caso, para permitir su unión correcta, el fondo de la zanja en la que se alojen deberá ser nivelado cuidadosamente después de echar una capa de arena fina o tierra cribada.

Se debe evitar posible acumulación de agua o de gas a lo largo de la canalización situando convenientemente pozos de escape con relación al perfil altimétrico.

En los tramos rectos, cada 15 ó 20 m según el tipo de cable, para facilitar su tendido se dejarán calas abiertas de una longitud mínima de 2 m en las que se interrumpirá la continuidad de la tubería.

Una vez tendido el cable estas calas se taparán cubriendo previamente el cable con canales o medios tubos, recibiendo sus uniones con cemento.

En los cambios de dirección se construirán arquetas de hormigón o ladrillo, siendo sus dimensiones las necesarias para que el radio de curvatura de tendido sea como mínimo 20 veces el diámetro exterior del cable. No se admitirán ángulos inferiores a 90° y aún éstos se limitarán a los indispensables. En general los cambios de dirección se harán con ángulos grandes, siendo la longitud mínima de la arqueta de 2 m.

En la arqueta los tubos quedarán a unos 25 cm por encima del fondo para permitir la colocación de rodillos en las operaciones de tendido. Una vez tendido el cable los tubos se taponarán con yeso de forma que el cable quede situado en la parte superior del tubo. La arqueta se rellenará con arena hasta cubrir el cable como mínimo.

La situación de los tubos en la arqueta será la que permita el máximo radio de curvatura.

Las arquetas podrán ser registrables o cerradas. En el primer caso deberán tener tapas metálicas o de hormigón armado, provistas de argollas o ganchos que faciliten su apertura. El fondo de estas arquetas será permeable de forma que permita la filtración del agua de lluvia.

Si las arquetas no son registrables se cubrirán con los materiales necesarios.

2.3.3.2. CRUZAMIENTO Y PARALELISMO

El cruce de líneas subterráneas con ferrocarriles o vías férreas deberá realizarse siempre bajo tubo. Dicho tubo rebosará las instalaciones de servicio en una distancia de 1,50 m.

En el caso de cruzamiento entre dos líneas eléctricas subterráneas directamente enterradas, la distancia mínima a respetar será de 0,20 m.

El cruzamiento entre cables de energía y conducciones metálicas enterradas no debe efectuarse sobre la proyección vertical de las uniones no soldadas de la misma conducción metálica. No deberá existir ningún empalme sobre el cable de energía a una distancia inferior a 1 m.

La mínima distancia entre la generatriz del cable de energía y la de la conducción metálica no debe ser inferior a 0,30 m. Además, entre el cable y la conducción debe estar interpuesta una plancha metálica de 8 mm de espesor como mínimo u otra protección mecánica equivalente, de anchura igual al menos al diámetro de la conducción y de todas formas no inferior a 0,50 m.

Análoga medida de protección debe aplicarse en el caso de que no sea posible tener el punto de cruzamiento a distancia igual o superior a 1 m de un empalme del cable.

En el paralelismo entre cables de energía y conducciones metálicas enterradas se debe mantener en todo caso una distancia mínima en proyección horizontal de:

- 0,50 m para gasoductos.

- 0,30 m para otras conducciones.

Siempre que sea posible, en las instalaciones nuevas la distancia en proyección horizontal entre cables de energía y conducciones metálicas enterradas colocadas paralelamente entre sí no debe ser inferior a:

- a) 3 m en el caso de conducciones a presión máxima igual o superior a 25 atm dicho mínimo se reduce a 1 m en el caso en que el tramo de conducción interesado esté contenido en una protección de no más de 100 m.
- b) 1 m en el caso de conducciones a presión máxima inferior a 25 atm.

En el caso de cruzamiento entre líneas eléctricas subterráneas y líneas de telecomunicación subterránea, el cable de energía debe, normalmente estar situado por debajo del cable de telecomunicación. La distancia mínima entre la generatriz externa de cada uno de los dos cables no debe ser inferior a 0,50 m. El cable colocado superiormente debe estar protegido por un tubo de hierro de 1 m de largo como mínimo y de tal forma que se garantice que la distancia entre las generatrices exteriores de los cables, en las zonas no protegidas, sea mayor que la mínima establecida en el caso de paralelismo, que se indica a continuación, medida en proyección horizontal. Dicho tubo de hierro debe estar protegido contra la corrosión y presentar una adecuada resistencia mecánica; su espesor no será inferior a 2 mm.

En donde por justificadas exigencias técnicas no pueda ser respetada la mencionada distancia mínima, sobre el cable inferior debe ser aplicada una protección análoga a la indicada para el cable superior. En todo caso la distancia mínima entre los dos dispositivos de protección no debe ser inferior a 0,10 m. El cruzamiento no debe efectuarse en correspondencia con una conexión del cable de telecomunicación, y no debe haber empalmes sobre el cable de energía a una distancia inferior a 1 m.

En el caso de paralelismo entre líneas eléctricas subterráneas y líneas de telecomunicación subterráneas, estos cables deben estar a la mayor distancia posible entre sí. En donde existan dificultades técnicas importantes, se puede admitir, excepto en lo indicado posteriormente, una distancia mínima en proyección sobre el plano horizontal entre los puntos más próximos de las generatrices de los cables, no inferior a 0,50 m en cables interurbanos o a 0,30 m en cables urbanos.

Se puede admitir incluso una distancia mínima de 0,15 m a condición de que el cable de energía sea fácil y rápidamente separado, y eficazmente protegido mediante tubos de hierro de adecuada resistencia mecánica y 2 mm de espesor como mínimo, protegido contra la corrosión. En el caso de

paralelismo con cables de telecomunicación interurbana, dicha protección se refiere también a estos últimos.

Estas protecciones pueden no utilizarse, respetando la distancia mínima de 0,15 m. cuando el cable de energía se encuentra en una cota inferior a 0,50 m respecto a la del cable de telecomunicación.

Las reducciones mencionadas no se aplican en el caso de paralelismos con cable coaxiales, para los cuales es taxativa la distancia mínima de 0,50 m medida sobre la proyección horizontal

En cuando a los fenómenos inductivos debidos a eventuales defectos en los cables de energía, la distancia mínima entre los cables a la longitud máxima de los cables situados paralelamente está limitada por la condición de que la f.e.m. inducida sobre el cable de telecomunicación no supere el 60% de la mínima tensión de prueba a tierra de la parte de la instalación metálicamente conectada al cable de telecomunicación.

En el caso de galerías practicables la colocación de los cables de energía y de telecomunicación se hace sobre apoyos diferentes, con objeto de evitar cualquier posibilidad de contacto directo entre los cables.

2.3.4. TRANSPORTE DE BOBINAS DE CABLES

La carga y descarga, sobre camiones o remolques apropiados, se hará siempre mediante una barra adecuada que pase por el orificio central de la bobina.

Bajo ningún concepto se podrá retener la bobina con cuerdas, cable o cadenas que abracen la bobina y se apoyen sobre la capa exterior del cable enrollado; así mismo no se podrá dejar caer la bobina al suelo desde un camión o remolque.

Cuando se desplace la bobina por tierra rodándola, habrá que fijarse en el sentido de rotación, generalmente indicado con una flecha, con el fin de evitar que se afloje el cable enrollado en la misma.

Las bobinas no deben almacenarse sobre el suelo blando.

Antes de empezar el tendido del cable se estudiará el lugar más adecuado para colocar la bobina con objeto de facilitar el tendido. En el caso de suelo con pendiente es preferible realizar en tendido en sentido descendente.

Para el tendido la bobina estará siempre elevada y sujeta por barra y gatos adecuados al peso de esta y dispositivos de frenado.

2.3.5. TENDIDO DE CABLES

Los cables deben ser siempre desenrollados y puestos en su sitio con el mayor cuidado evitando que sufran torsión, hagan bucles, etc., y teniendo siempre en cuenta que el radio de curvatura del cable debe ser superior a 20 veces su diámetro durante su tendido y superior a 10 veces su diámetro una vez instalado. En todo caso el radio de curvatura del cable no debe ser inferior a los valores indicados en las Normas UNE correspondientes relativas a cada tipo de cable.

Cuando los cables se tiendan a mano los operarios están distribuidos de una manera uniforme a lo largo de la zanja.

También se puede tender mediante cabrestantes tirando del extremo del cable al que se le habrá adaptado una cabeza apropiada y con un esfuerzo de tracción por milímetro cuadrado de conductor que no debe pasar del indicado por el fabricante de este. Será imprescindible la colocación de dinamómetros para medir dicha tracción

El tendido se hará obligatoriamente por rodillos que puedan libremente y contruidos de forma que no dañen al cable.

Durante el tendido se tomarán precauciones para evitar que el cable no sufra esfuerzos importantes ni golpes ni rozaduras.

No se permitirá desplazar lateralmente el cable por medio de palancas, y otros útiles, deberá hacerse siempre a mano.

Solo de manera excepcional se autorizará desenrollar el cable fuera de la zanja, siempre bajo la vigilancia del Director de Obra.

Cuando la temperatura ambiente sea inferior a cero grados no se permitirá hacer el tendido del cable debido a la rigidez que toma el aislamiento.

No se dejará nunca el cable tendido en una zanja abierta sin haber tomado antes la precaución de cubrirlo con una capa de 10 cm de arena fina y la protección de rasilla.

La zanja en toda su longitud deberá estar cubierta con una capa de arena fina en el fondo antes de proceder al tendido del cable.

En ningún caso se dejarán los extremos del cable en la zanja sin haber asegurado antes una buena estanqueidad de estos.

Cuando dos cables que se canalicen vayan a ser empalmados, se solaparán al menos en una longitud de 0,50 m.

Las zanjas se recorrerán con detenimiento antes de tender el cable para comprobar que se encuentran sin piedras u otros elementos duros que puedan dañar a los cables en su tendido.

Si con motivo de las obras de canalización aparecieran instalaciones de otros servicios, se tomarán las precauciones para dañarlas, dejándolas al terminar los trabajos en las mismas condiciones en que se encontraban primitivamente.

Si involuntariamente se causara alguna avería en dichos servicios, se avisará con toda urgencia al Director de Obra y a la Empresa correspondiente con el fin de que procedan a su reparación. El encargado de la obra por parte del Contratista deberá conocer la dirección de los servicios públicos, así como su número de teléfono para comunicarse en caso de necesidad.

Si las pendientes son muy pronunciadas y el terreno es rocoso e impermeable, se corre el riesgo de que la zanja de canalización sirva de drenaje originando un arrastre de la arena que sirve de lecho a los cables. En este caso se deberá entubar la canalización asegurada con cemento en el tramo afectado.

En el caso de canalizaciones con cables unipolares:

a) Se recomienda colocar en cada metro y medio por fase y en el neutro unas vueltas de cinta adhesiva para indicar el color distinto de dicho conductor.

b) Cada metro y medio, envolviendo las tres fases de A.T. a las tres fases y el neutro de B.T. se colocará una sujeción que agrupe dichos conductores y los mantendrá unidos.

Nunca se pasarán dos circuitos de A.T. bien cables tripolares o bien cables unipolares, por un mismo tubo.

Se evitarán en lo posible las canalizaciones con grandes tramos entubados y si esto no fuera posible se construirán arquetas intermedias en los lugares marcados en el Proyecto o en su defecto, donde señale el Director de Obra.

Una vez tendido el cable los tubos se tapanán con yute y yeso, de forma que el cable quede en la parte superior del tubo.

2.3.6. PROTECCIÓN MECÁNICA

Las líneas eléctricas subterráneas deben estar protegidas contra posibles averías producidas por hundimiento de tierra, por contacto con cuerpos duros y por choque de herramientas metálicas. Para ello se colocará una capa protectora de rasilla o ladrillo, siendo su anchura de 25 cm cuando se trate de proteger un solo cable que se añada en la misma capa horizontal.

Los ladrillos o rasillas serán cerámicos y duros.

2.3.7. SEÑALIZACIÓN

Todo cable o conjunto de cables debe estar señalado por una cinta de atención de acuerdo con la Recomendación UNESA 0205 colocada como mínimo a 0,20 m por encima del ladrillo. Cuando los cables o conjuntos de cables de categorías de tensión diferentes estén superpuestos, debe colocarse dicha cinta encima de cada uno de ellos.

2.3.8. IDENTIFICACIÓN

Los cables deberán llevar marcas que indiquen el nombre del fabricante, el año de fabricación y sus características.

2.3.9. CIERRE DE ZANJAS

Una vez colocadas al cable las protecciones señaladas anteriormente, se rellenará toda la zanja con tierra de excavación apisonada, debiendo realizarse los veinte primeros centímetros de forma manual, y para el resto deberá usarse apisonado mecánico.

El cierre de las zanjas deberá hacerse por capas sucesivas de 10 cm de espesor, las cuales serán apisonadas y regadas si fuese necesario, con el fin de que quede suficientemente consolidado el terreno.

El contratista será responsable de los hundimientos que se produzcan por la deficiente realización de esta operación y, por lo tanto, serán de su cuenta las posteriores reparaciones que tengan que ejecutarse.

La carga y transporte a vertederos de las tierras sobrantes está incluida en la misma unidad de obra que el cierre de las zanjas con objeto de que el apisonado sea lo mejor posible.

2.3.10. REPOSICIÓN DE PAVIMENTOS

Los pavimentos serán repuestos de acuerdo con las normas y disposiciones dictadas por el propietario de estos.

Deberá lograrse una homogeneidad de forma que quede el pavimento nuevo lo más igualado posible al antiguo, haciendo su reconstrucción por piezas nuevas si está compuesto por losas, adoquines, etc.

En general se utilizarán materiales nuevos salvo las losas, adoquines, bordillos de granito y otros similares.

2.3.11. PUESTA A TIERRA

Todas las pantallas en M.T. de los cables deben ser puestas a tierra al menos en los extremos de cada cable.

Si los cables son unipolares o las pantallas en AT están aisladas con una cubierta no metálica, la puesta a tierra puede ser realizada en un solo extremo, con tal de que en el otro extremo y en conexión con el empalme se adopten protecciones contra la tensión de contacto de las pantallas de cable.

2.3.12. ARMARIO DE DISTRIBUCIÓN

La fundación de los armarios tendrá como mínimo 15 cm de altura sobre el nivel del suelo.

Al preparar esta fundación se dejarán los tubos o taladros necesarios para el posterior tendido de los cables, colocándolos con la mayor inclinación posible para conseguir que la entrada de cables a los tubos quede siempre 50 cm mínimo por debajo de la rasante del suelo.

2.4. MATERIALES

Los materiales empleados en la instalación serán entregados por el Contratista, siempre que no se especifique lo contrario en el pliego de Condiciones Particulares.

No se podrá emplear materiales que no hayan sido aceptados previamente por el Director de Obra.

Se realizarán cuantos ensayos y análisis indique el Director de Obra, aunque no estén indicados en este Pliego de Condiciones.

Los cables instalados serán los que figuran en el Proyecto y deberán estar de acuerdo con las Recomendaciones UNESA y las Normas UNE correspondientes.

2.5. RECEPCIÓN DE LA OBRA

Durante la obra o una vez finalizada la misma, el Director de Obra podrá verificar que los trabajos realizados están de acuerdo con las especificaciones de este Pliego de Condiciones. Esta verificación se realizará por cuenta del Contratista.

Una vez finalizada las instalaciones, el Contratista deberá solicitar la oportuna recepción global de la obra.

En la recepción de la instalación se incluirá la medición de la conductividad de las tomas de tierra y las pruebas de aislamiento según la forma establecida en la Norma UNE relativa a cada tipo de cable.

El Director de Obra contestará por escrito al Contratista comunicando su conformidad a la instalación o condicionando su recepción a la modificación de los detalles que estime susceptibles de mejora.

3. PLIEGO DE CONDICIONES CENTRO DE TRANSFORMACIÓN/SECCIONAMIENTO

3.1. CALIDAD DE LOS MATERIALES

3.1.1. OBRA CIVIL

El edificio destinado a alojar en su interior las instalaciones será una construcción prefabricada de hormigón.

Sus elementos constructivos son los descritos en el apartado correspondiente de la Memoria del presente proyecto.

De acuerdo con la Recomendación UNESA 1303-A, los edificios prefabricados estarán contruidos de tal manera que, una vez instalados, su interior sea una superficie equipotencial.

Las bases de los edificios serán de hormigón armado con un mallazo equipotencial.

Todas las varillas metálicas embebidas en el hormigón que constituyan la armadura del sistema equipotencial estarán unidas entre sí mediante soldaduras eléctricas. Las conexiones entre varillas metálicas pertenecientes a diferentes elementos se efectuarán de forma que se consiga la equipotencialidad entre éstos.

Ningún elemento metálico unido al sistema equipotencial podrá ser accesible desde el exterior del edificio.

Todos los elementos metálicos de los edificios que están expuestos al aire serán resistentes a la corrosión por su propia naturaleza, o llevarán el tratamiento protector adecuado que en el caso de ser galvanizado en caliente.

3.1.2. APARAMENTA DE ALTA TENSIÓN

Las celdas a emplear serán de la serie SM₆ de Efacec ó similar, compuesta por celdas modulares equipadas de aparellaje fijo que utiliza el hexafluoruro de azufre como elemento de corte y extinción.

Serán celdas de interior y su grado de protección según la Norma 20-324-94 será IP 30 en cuanto a la envolvente externa.

Los cables se conectarán desde la parte frontal de las cabinas. Los accionamientos manuales irán reagrupados en el frontal de la celda a una altura ergonómica a fin de facilitar la explotación.

El interruptor y el seccionador de puesta a tierra deberá ser un único aparato, de tres posiciones (cerrado, abierto y puesto a tierra) asegurando así la imposibilidad de cierre simultáneo de interruptor y seccionador de puesta a tierra.

El interruptor será en realidad interruptor-seccionador. La posición de seccionador abierto y seccionador de puesta a tierra cerrado serán visibles directamente a través de mirillas, a fin de conseguir una máxima seguridad de explotación en cuanto a la protección de personas se refiere.

3.1.2.1. CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS

Las celdas responderán en su concepción y fabricación a la definición de aparataje bajo envoltorio metálico compartimentado de acuerdo con la norma UNE-EN 60298.

Se deberán distinguir al menos los siguientes compartimentos que se describen a continuación.

- a) Compartimento de aparellaje.
- b) Compartimento del juego de barras.
- c) Compartimento de conexión de cables.
- d) Compartimento de mandos.
- e) Compartimento de control.
- f) *Compartimento de aparellaje:*

Estará relleno de SF₆ y sellado de por vida según se define en el anexo GG de la recomendación CEI 298-90. El sistema de sellado será comprobado individualmente en fabricación y no se requerirá ninguna manipulación del gas durante toda la vida útil de la instalación (hasta 30 años).

La presión relativa de llenado será de 0,4 bar.

Toda sobrepresión accidental originada en el interior del compartimento aparellaje estará limitada por la apertura de la parte posterior del cárter. Los gases serían canalizados hacia la parte posterior de la cabina sin ninguna manifestación o proyección en la parte frontal.

Las maniobras de cierre y apertura de los interruptores y cierre de los seccionadores de puesta a tierra se efectuarán con la ayuda de un mecanismo de acción brusca independiente del operador.

El seccionador de puesta a tierra dentro del SF₆, deberá tener un poder de cierre en cortocircuito de 40 kA.

El interruptor realizará las funciones de corte y seccionamiento.

g) Compartimento del juego de barras:

Se compondrá de tres barras aisladas de cobre conexas mediante tornillos de cabeza Allen de M8. El par de apriete será de 2,8 daN.

h) Compartimento de conexión de cables:

Se podrán conectar cables secos y cables con aislamiento de papel impregnado.

Las extremidades de los cables serán:

- Simplificadas para cables secos.
- Termorretráctiles para cables de papel impregnado.

i) Compartimento de mando:

Contiene los mandos del interruptor y del seccionador de puesta a tierra, así como la señalización de presencia de tensión. Se podrán montar en obra los siguientes accesorios si se requieren posteriormente:

- Motorizaciones.
- Bobinas de cierre y/o apertura.
- Contactos auxiliares.

Este compartimento deberá ser accesible en tensión, pudiéndose motorizar, añadir accesorios o cambiar mandos manteniendo la tensión en el centro.

j) Compartimento de control:

En el caso de mandos motorizados, este compartimento estará equipado de bornas de conexión y fusibles de baja tensión. En cualquier caso, este compartimento será accesible con tensión tanto en barras como en los cables.

3.1.2.2. CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS

- Tensión nominal:24 kV
- Nivel de aislamiento:
 - a la frecuencia industrial de 50 Hz:50 kV ef. 1 min
 - a impulsos tipo rayo:125 kV cresta
- Intensidad nominal funciones línea:400-630 A
- Intensidad nominal otras funciones:200/400 A
- Intensidad de corta duración admisible:16 kA ef. 1s

3.1.2.3. INTERRUPTORES – SECCIONADORES

En condiciones de servicio, además de las características eléctricas expuestas anteriormente, responderán a las exigencias siguientes:

- Poder de cierre nominal sobre cortocircuito: 40 kA cresta.
- Poder de corte nominal de transformador en vacío: 16 A.
- Poder de corte nominal de cables en vacío: 25 A.
- Poder de corte (sea por interruptor-fusibles o por interruptor automático): 16 kA ef.

3.1.2.4. CORTOCIRCUITOS – FUSIBLES

En el caso de utilizar protección ruptofusibles, se utilizarán fusibles del modelo y calibre indicados en el capítulo de Cálculos de esta memoria. Sus dimensiones se corresponderán con las normas DIN-43.625.

3.1.2.5. PUESTA A TIERRA

La conexión del circuito de puesta a tierra se realizará mediante pletinas de cobre de 25 x 5 mm conectadas en la parte posterior superior de las cabinas formando un colector único.

3.1.3. TRANSFORMADORES

El transformador a instalar será trifásico, con neutro accesible en B.T., refrigeración natural, en baño de aceite, con regulación de tensión primaria mediante conmutador accionable estando el transformador desconectado, servicio continuo y demás características detalladas en la memoria.

3.1.4. EQUIPOS DE MEDIDA

El equipo de medida estará compuesto de los transformadores de medida ubicados en la celda de medida de A.T. y el equipo de contadores de energía activa y reactiva ubicado en el armario de contadores, así como de sus correspondientes elementos de conexión, instalación y precintado.

Las características eléctricas de los diferentes elementos están especificadas en la memoria.

Los transformadores de medida deberán tener las dimensiones adecuadas de forma que se puedan instalar en la celda de A.T. guardando las distancias correspondientes a su aislamiento. Por ello será preferible que sean suministrados por el propio fabricante de las celdas, ya instalados en la celda. En el caso de que los transformadores no sean suministrados por el fabricante de celdas se le deberá hacer la consulta sobre el modelo exacto de transformadores que se van a instalar a fin de tener la garantía de que las distancias de aislamiento, pletinas de interconexión, etc. serán las correctas.

Contadores:

Los contadores de energía activa y reactiva estarán homologados por el organismo competente. Sus características eléctricas están especificadas en la memoria.

Cableado:

La interconexión entre los secundarios de los transformadores de medida y el equipo o módulo de contadores se realizará con cables de cobre de tipo termoplástico (tipo EVV-0,6/1kV) sin solución de continuidad entre los transformadores y bloques de pruebas.

El bloque de pruebas a instalar en los equipos de medida de 3 hilos será de 7 polos, 4 polos para el circuito de intensidades y 3 polos para el circuito de tensión, mientras que en el equipo de medida de 4 hilos se instalará un bloque de pruebas de 6 polos para el circuito de intensidades y otro bloque de pruebas de 4 polos para el de tensiones, según norma de la compañía NI 76.84.01.

Para cada transformador se instalará un cable bipolar que para los circuitos de tensión tendrá una sección mínima de 6 mm², y 6 mm² para los circuitos de intensidad.

La instalación se realizará bajo un tubo flexo con envolvente metálica.

En general, para todo lo referente al montaje del equipo de medida, precintabilidad, grado de protección, etc. se tendrá en cuenta lo indicado a tal efecto en la normativa de la Compañía Suministradora.

3.2. NORMAS DE EJECUCIÓN DE LAS INSTALACIONES

Todas las normas de construcción e instalación del centro se ajustarán, en todo caso, a los planos, mediciones y calidades que se expresan, así como a las directrices que la Dirección Facultativa estime oportunas.

Además del cumplimiento de lo expuesto, las instalaciones se ajustarán a las normativas que le pudieran afectar, emanadas por organismos oficiales y en particular las de la compañía distribuidora.

El acopio de materiales se hará de forma que estos no sufran alteraciones durante su depósito en la obra, debiendo retirar y reemplazar todos los que hubieran sufrido alguna descomposición o defecto durante su estancia, manipulación o colocación en la obra.

3.3. PRUEBAS REGLAMENTARIAS

La aparamenta eléctrica que compone la instalación deberá ser sometida a los diferentes ensayos de tipo y de serie que contemplen las normas UNE o recomendaciones UNESA conforme a las cuales esté fabricada.

Asimismo, una vez ejecutada la instalación, se procederá, por parte de entidad acreditada por los organismos públicos competentes al efecto, a la medición reglamentaria de los siguientes valores:

- Resistencia de aislamiento de la instalación.
- Resistencia del sistema de puesta a tierra.
- Tensiones de paso y de contacto.

3.4. CONDICIONES DE USO, MANTENIMIENTO Y SEGURIDAD

3.4.1. PREVENCIONES GENERALES

- 1) Queda terminantemente prohibida la entrada en el local de esta estación a toda persona ajena al servicio y siempre que el encargado del mismo se ausente, deberá dejarlo cerrado con llave.
- 2) Se pondrán en sitio visible del local, y a su entrada, placas de aviso de "Peligro de muerte".
- 3) En el interior del local no habrá más objetos que los destinados al servicio del centro de transformación, como banqueta, guantes, etc.
- 4) No está permitido fumar ni encender cerillas ni cualquier otra clase de combustible en el interior del local del centro de transformación y en caso de incendio no se empleará nunca agua.
- 5) No se tocará ninguna parte de la instalación en tensión, aunque se esté aislado.
- 6) Todas las maniobras se efectuarán colocándose convenientemente sobre la banqueta.
- 7) En sitio bien visible estarán colocadas las instrucciones relativas a los socorros que deben prestarse en los accidentes causados por electricidad, debiendo estar el personal instruido prácticamente a este respecto, para aplicarlas en caso necesario. También, y en sitio visible, debe figurar el presente Reglamento y esquema de todas las conexiones de la instalación, aprobado por la Consejería de Industria, a la que se

pasará aviso en el caso de introducir alguna modificación en este centro de transformación, para su inspección y aprobación, en su caso.

3.4.2. PUESTA EN SERVICIO

- 1) Se conectará primero los seccionadores de alta y a continuación el interruptor de alta, dejando en vacío el transformador. Posteriormente, se conectará el interruptor general de baja, procediendo en último término a la maniobra de la red de baja tensión.
- 2) Si al poner en servicio una línea se disparase el interruptor automático o hubiera fusión de cartuchos fusibles, antes de volver a conectar se reconocerá detenidamente la línea e instalaciones y, si se observase alguna irregularidad, se dará cuenta de modo inmediato a la empresa suministradora de energía.

3.4.3. SEPARACION DE SERVICIO

- 1) Se procederá en orden inverso al determinado en apartado 8, o sea, desconectando la red de baja tensión y separando después el interruptor de alta y seccionadores.
- 2) Si el interruptor fuera automático, sus relés deben regularse por disparo instantáneo con sobrecarga proporcional a la potencia del transformador, según la clase de la instalación.
- 3) Si una vez puesto el centro fuera de servicio se desea realizar un mantenimiento de limpieza en el interior de la apartamenta y transformadores no bastará con haber realizado el seccionamiento que proporciona la puesta fuera de servicio del centro, sino que se procederá además a la puesta a tierra de todos aquellos elementos susceptibles de ponerlos a tierra. Se garantiza de esta forma que en estas condiciones todos los elementos accesibles estén, además de seccionados, puestos a tierra. No quedarán afectadas las celdas de entrada del centro cuyo mantenimiento es responsabilidad exclusiva de la compañía suministradora de energía eléctrica.
- 4) La limpieza se hará sobre banqueta, con trapos perfectamente secos, y muy atentos a que el aislamiento que es necesario para garantizar la seguridad personal, sólo se consigue teniendo la banqueta en perfectas condiciones y sin apoyar en metales u otros materiales derivados a tierra.

3.4.4. PREVENCIONES ESPECIALES

- 1) No se modificarán los fusibles y al cambiarlos se emplearán de las mismas características de resistencia y curva de fusión.
- 2) Para transformadores con líquido refrigerante (aceite o silicona) no podrá sobrepasarse un incremento relativo de 60 K sobre la temperatura ambiente en dicho líquido. La máxima temperatura ambiente en funcionamiento normal está fijada, según norma CEI 76, en 40°C, por lo que la temperatura del refrigerante en este caso no podrá superar la temperatura absoluta de 100°C.
- 3) Deben humedecerse con frecuencia las tomas de tierra. Se vigilará el buen estado de los aparatos, y cuando se observase alguna anomalía en el funcionamiento del centro de transformación, se pondrá en conocimiento de la compañía suministradora, para corregirla de acuerdo con ella.

3.5. CERTIFICADOS Y DOCUMENTACIÓN

Se aportará, para la tramitación de este proyecto ante los organismos públicos, la documentación siguiente:

- Autorización Administrativa.
- Proyecto, suscrito por técnico competente.
- Certificado de tensiones de paso y contacto, por parte de empresa homologada.
- Certificado de Dirección de Obra.
- Contrato de mantenimiento.
- Escrito de conformidad por parte de la Compañía Eléctrica suministradora.

4. PLIEGO DE CONDICIONES DE UNA INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA

Lo mencionado en este Pliego de Condiciones y omitido en los Planos o viceversa, deberá ser ejecutado como si estuviese expuesto en ambos documentos.

Las omisiones o las descripciones erróneas de los detalles de la obra que sean manifiestamente indispensables para llevar a cabo el espíritu o intención expuestos en la Memoria, los Planos y este Pliego de Condiciones, o que por su uso y costumbre deban ser realizados, no sólo no exime al contratista de la obligación de ejecutar estos detalles de obra omitidos o erróneamente descritos, sino que, por el contrario, deberán ser ejecutados como si hubiesen sido completa y correctamente especificadas en los documentos aludidos anteriormente.

Son objeto de esta contrata todos los trabajos de los diferentes oficios que intervienen para la total realización del proyecto y ejecución del generador solar fotovoltaico de 2,2 MW, Centro de Transformación 2,3 MVA 13,2/1,5 kV y Centro de Seccionamiento, situado en Polígono 504, Parcela 49, La saturnina, Calvarrasa de Arriba (Salamanca), incluidos todos los materiales y medios auxiliares con estricta sujeción a los documentos que constituyen el mismo, hasta la total terminación de la instalación.

En cuanto a los medios auxiliares, el contratista debe proporcionar todos los materiales de aperos y apuntalamiento, utensilios, herramientas, maquinaria, etc., necesarios para la realización de estas obras, y todas ellas en disposición de ser empleados en cualquier momento y en condiciones de seguridad.

Este Pliego de Condiciones, juntamente con la Memoria del presente proyecto, ha de considerarse condiciones facultativas y técnicas del presente Pliego de Condiciones.

4.1. RECONOCIMIENTO Y ADMISIÓN DE LOS MATERIALES

Las actuaciones para realizar y los materiales a emplear, cumplirán lo reseñado en las Instrucciones, Pliegos y Normas legales mencionadas en este documento, así como cualquier otra que haya sido omitida o actualizada y que afecte a cualquier aspecto de la obra. Cumplirán además las prescripciones específicas de este Pliego de Condiciones.

No se utilizarán materiales que no hayan sido aceptados previamente por el Jefe de Proyecto o Director de Obra.

Deberán realizarse los análisis y ensayos que indique el Jefe de Proyecto o Director de Obra, incluso aunque no estén especificados en este Documento, corriendo los costes derivados por cuenta del proveedor.

Todas las unidades que se caractericen por algún nuevo sistema o método técnico para su ejecución, o empleen nuevos materiales no previstos en este Pliego de Condiciones, se ejecutarán con arreglo a las instrucciones que para cada caso disponga la Dirección Facultativa, y en cualquier caso cumplirán las condiciones de utilización prescritas por los fabricantes del material o sistema, si no existiera el Documento de Idoneidad Técnica, que tendrá siempre prioridad en sus especificaciones, salvo orden expresa del Ingeniero Director de la Dirección Facultativa, que prevalecerá sobre ellas.

El Contratista tiene libertad para obtener los materiales de los lugares que juzgue conveniente quedando, en todo caso, obligado a que estos cumplan las condiciones generales y particulares exigidas en este Pliego. Como consecuencia, los materiales procederán de los lugares, fábricas o marcas propuestas por el Contratista y que hayan sido previamente aprobadas por el Ingeniero Director.

Los materiales no especificados en el Pliego no podrán ser utilizados sin previa autorización de la Dirección de Obra, la cual podrá rechazarlos razonablemente si a su juicio no cumplen las cualidades requeridas para su finalidad.

4.2. **NORMATIVA VIGENTE**

La ejecución del proyecto se ajustará a las Condiciones Técnicas y a la normativa vigente que rige para este tipo de instalaciones, y que se inscriben dentro del marco normativo siguiente:

- 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.
- Real Decreto 1699/2011, de 18 de noviembre, por el que se regula la conexión a red de instalaciones de producción de energía eléctrica de pequeña potencia
- R.D. 1578/2008, de 26 de septiembre, por el que se establece la retribución de la actividad de producción de energía eléctrica mediante tecnología solar fotovoltaica.

- R.D. 661/2007, de 25 de mayo, por el que se establece la metodología para la actualización y sistematización del régimen jurídico y económico de la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial.
- Ley 54/1997, de 27 de noviembre, del Sector Eléctrico.
- R.D. 1075/1986, de 2 de mayo, por el que se establecen normas sobre las condiciones de los suministros de energía eléctrica y calidad de este servicio (B.O.E. de fecha 6 de junio de 1986).
- O.M. de 5 de septiembre de 1985 (B.O.E. 219 de 12 de septiembre de 1985), en el que se establecen las normas administrativas y técnicas para el funcionamiento y conexión de centrales de autogeneración eléctricas.
- Reglamento de Acometidas Eléctricas.
- R.D. 842/2002, de 2 agosto, Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión, de fecha agosto de 2002 e Instrucciones complementarias de dicho Reglamento.
- Hojas de Interpretación del Reglamento Electrotécnico de baja tensión, nº 1 al 51 de la misma fecha.
- R.D. 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación. BOE nº 74, de 28 de marzo.
- Norma Básica de la Edificación AE-88. Acciones en la Edificación del Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo.
- Normas Tecnológicas de edificación del Ministerio de Fomento.
- Real Decreto 186/2016, de 6 de mayo, por el que se regula la compatibilidad electromagnética de los equipos eléctricos y electrónicos.
- Ley 31/1995, de 8 de noviembre, por la que se aprueba la Ley de Prevención de Riesgos Laborales (B.O.E. ni 269, de 10 de noviembre).

Si las prescripciones referidas a un mismo objeto fueran conceptualmente incompatibles o contradictorias, prevalecerán las de este Pliego sobre las de Disposiciones Generales citadas, salvo autorización expresada por escrito del Ingeniero Director de Obra.

El contratista, además, vendrá obligado a cumplir con la legislación vigente a nivel comunitario, nacional, regional o local, en el lugar en que se realiza la obra (Calvarrasa de Arriba, Salamanca).

Si se produce alguna diferencia de grado entre los términos de una prescripción de este Pliego y los de otra prescripción análoga, será de aplicación la más exigente.

4.2.1. NORMAS ESPECIFICAS DE CARÁCTER GENERAL

Al solicitar a la empresa eléctrica los datos para proyectar las instalaciones de conexión, el titular de la central deberá comunicar a la empresa eléctrica el número, la potencia y el tipo de los generadores, así como los datos necesarios para calcular las corrientes de cortocircuito y la potencia máxima que prevé entregar. La empresa eléctrica deberá proporcionar al titular de la central en proyecto, el punto y tensión de conexión a la red, la potencia máxima y mínima de cortocircuito y, si existe reenganche automático, sus datos de funcionamiento.

4.2.2. PRESCRIPCIONES Y NORMAS TÉCNICAS DE CARCATER GENERAL

El funcionamiento de la central no deberá provocar en la red pública averías, disminuciones de las condiciones de seguridad, ni alteraciones superiores a las admitidas por los Reglamentos en vigor que afecten a los demás abonados.

La tensión generada por las centrales será prácticamente sinusoidal, con objeto de evitar efectos perjudiciales en los equipos de baja impedancia a altas frecuencias (baterías de condensadores, etc.) y equipos electrónicos, informáticos y de telecomunicación.

En caso de apertura del interruptor automático de la empresa eléctrica correspondiente a la línea a la que se conecte una central, ésta no deberá mantener tensión en la red de la compañía, y si la pudiera mantener por ir equipado de generadores síncronos o asíncronos autoexcitados, se montará por parte de la central un sistema de teledesconexión de la central desde la subestación o centro de transformación de la compañía a la que se conecte la central.

4.2.3. POTENCIA MÁXIMA DE LAS CENTRALES INTERCONECTADAS

Se podrán conectar a red pública generadores de corriente continua a través de inversores trifásicos conmutados por la red, hasta una potencia total de 100 kVA, siempre que dicha potencia no exceda la mitad de la capacidad

de transporte de la línea del centro de transformación a la que se conecta la central.

4.2.4. PUESTA A TIERRA DE LAS CENTRALES

La puesta a tierra de las centrales interconectadas se hará siempre de forma que no se alteren las condiciones de puesta a tierra de la red de la empresa eléctrica.

Cuando por fallo de la red u otra causa la central trabaje aislada de la red de la empresa eléctrica, el neutro del generador se conectará automáticamente a una toma de tierra propia de la central prevista para este fin.

Para la protección de las instalaciones de la central se establecerá un dispositivo de detección de la corriente que circula por la conexión de los neutros de los generadores al neutro de la empresa eléctrica con un sistema de disparo adecuado para la desconexión si se sobrepasa la corriente admisible.

4.2.5. ARMÓNICOS

La forma de onda de la señal producida por el inversor debe ser lo más parecida posible a una onda senoidal. Se debe evitar o eliminar la presencia de armónicos elevados en las ondas de tensión y de intensidad. Las centrales no deberán inyectar armónicos en la red que eleven su nivel a valores no admisibles.

La existencia de armónicos autoriza a la empresa eléctrica a desconectar de la red la central que lo origina, previa autorización del órgano competente de la administración que podrá ordenar la inmediata desconexión o el establecimiento de un plazo previo para la eliminación del defecto.

4.2.6. PROTECCIONES

El sistema de protección incluye las protecciones propias de la instalación como sistema generador de energía coordinadas con las protecciones en conexión con la de abonado.

4.2.6.1. CONDICIONES GENERALES

Las centrales conectadas a redes públicas irán equipadas de protecciones para garantizar que las faltas internas de la instalación no perturben el correcto funcionamiento de las redes que están conectadas, tanto en la explotación normal como durante un incidente. Por ello, todas las centrales interconectadas, irán equipadas de un interruptor de desacoplamiento de funcionamiento automático y manual, accesible permanentemente al personal de la empresa eléctrica.

Las centrales llevarán protecciones adecuadas para reducir los daños en sus propias instalaciones como consecuencia de los defectos internos. Estas protecciones se ajustarán a lo establecido en los reglamentos electrotécnicos.

4.2.6.2. CONDICIONES PARA LA RECONEXIÓN DE CENTRALES A LA LÍNEA DE LA EMPRESA ELÉCTRICA

La reconexión de la central a la red no se hará hasta que no exista una tensión superior al 85% de la nominal y haya transcurrido un tiempo no inferior a tres minutos. Si la central tuviera varios generadores la reconexión de estos se hará escalonadamente con intervalos no inferiores a diez segundos.

4.2.6.3. PROTECCIONES ESPECÍFICAS PARA DIVERSOS TIPOS DE CENTRALES

Las centrales con generadores de corriente continua conectadas a la red a través de un inversor conmutado por la red, llevarán las mismas protecciones que las de las centrales con generadores síncronos conectadas a través de inversores, pero cambiando las protecciones específicas del alternador por las del generador de corriente continua.

En el cuadro que sigue se establecen los dispositivos y protecciones necesarias a instalar en estas centrales según su potencia y tensión.

4.3. CONDICIONES PARTICULARES

4.3.1. MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

La normativa relativa a este concepto es la siguiente:

- UNE-EN-60904-1 Dispositivos fotovoltaicos. Parte 1: Medida de la característica intensidad-tensión de los módulos fotovoltaicos.
- UNE-EN-60904-2 Dispositivos fotovoltaicos. Parte 2: Requisitos de células solares de referencia.
- UNE-EN 60904-3 Dispositivos fotovoltaicos. Parte 3: Fundamentos de medida de dispositivos solares fotovoltaicos de uso terrestre con datos de irradiancia espectral de referencia.
- UNE-EN 61215 para módulos de silicio cristalino.
- UNE-EN 61646 para módulos fotovoltaicos de capa delgada.

Los módulos fotovoltaicos estarán en perfecto estado y correctamente embalados en el momento de la recepción. No presentarán abolladuras ni golpes en ninguna de las partes que los constituyen, ni defectos de alineación en las células o burbujas en el encapsulante.

Las conexiones se realizarán en el interior de una caja estanca, con grado de protección IP-65, que contendrá además diodos de paso (by-pass).

Las células estarán en perfecto estado, no presentando grados de decoloración importantes perceptibles a simple vista.

Deberán estar homologados, cumpliendo la norma (RD 2313/1985) en las que se establecen las condiciones generales y especificaciones técnicas de ensayo de la homologación de los dispositivos fotovoltaicos, realizados por un laboratorio acreditado.

El módulo fotovoltaico llevará de forma claramente visible e indeleble el modelo y nombre o logotipo del fabricante, así como una identificación individual o número de serie trazable a la fecha de fabricación. Para que un módulo resulte aceptable, su potencia máxima y corriente de cortocircuito reales referidas a condiciones estándar deberán estar comprendidas en el margen del $\pm 10\%$ de los correspondientes valores nominales de catálogo.

4.3.2. INVERSORES

Previo a la aceptación del equipo, es necesario verificar su correcto funcionamiento y la validez de sus parámetros de funcionamiento, mediante los ensayos y pruebas siguientes:

- Tensiones máximas y mínimas de entradas y salida.
- Potencia máxima de cortocircuito.
- Tiempo mínimo de reenganche automático por fallo en la red.
- Variaciones máximas admisibles en la tensión de red 10%.
- Variaciones máximas admisibles en la frecuencia de la red ± 1 Hz.
- Factor de potencia.
- Protección frente a comportamiento en isla.
- Protección frente a inversión en la polaridad.
- Protección frente a sobretensiones de origen atmosférico.
- Funcionamiento del sistema de seguimiento del Punto de Máxima Potencia.
- Desconexión automática del campo generador y de la red.
- Transformador de aislamiento galvánico de la red.
- Deberá presentar un rendimiento adecuado.
- Su tasa de distorsión armónica total será inferior a 5% THD.
- Medida de ruido.
- Perturbaciones electromagnéticas, tanto conducidas como radiadas.

El requisito fundamental que se le exige al inversor es que se dispare o desconecte de la red ante la mínima falta de esta o del propio inversor. Este punto es fundamental para la seguridad y protección de las personas y de la propia instalación.

Será del tipo conexión a la red eléctrica con una potencia de entrada variable para que sea capaz de extraer en todo momento la máxima potencia que el generador fotovoltaico pueda proporcionar a lo largo de cada día.

Cada inversor dispondrá de las señalizaciones necesarias para su correcta operación e incorporará los controles automáticos imprescindibles que aseguren su adecuada supervisión y manejo. Además, incorporará controles manuales para su encendido y apagado, así como su desconexión tanto de la parte de continua como de la de alterna.

El inversor soportará condiciones de funcionamiento que excedan un 10% de la irradiancia establecida en condiciones estándar, así como picos superiores en un 30% durante 10 s.

Los valores de eficiencia al 25% y 100% de la potencia de salida nominal deberán ser superiores al 85% y 88% respectivamente, siendo estos valores medios incluyendo el transformador de salida si lo hubiera.

El autoconsumo del inversor en modo durmiente o en espera, será inferior al 0,5% de su potencia nominal.

El factor de potencia de la energía entregada deberá ser superior al 0,95 entre el 25% y el 100% de la potencia nominal.

Tendrán un grado de protección mínima IP 30.

El inversor debe tener unos márgenes de temperatura de funcionamiento entre 0°C y 40°C, así como una humedad inferior al 85%.

La tasa de distorsión armónica total THD de la señal de salida será inferior al 5%

El disparo se debe llevar a cabo tras el análisis de los parámetros más relevantes de la red, en caso de que los valores obtenidos excedan los límites normales de funcionamiento.

4.3.3. INSTALACIÓN ELÉCTRICA Y PROTECCIONES

4.3.3.1. CABLEADO Y CAJAS PROTECTORAS

El cableado de cada grupo de módulos deberá ser marcado en sus extremos de entrada al inversor con su número de grupo.

Asimismo, el inversor debe marcarse de manera visible con su nombre y el signo de los polos que recogen (+, -).

La longitud de los cables será tal que no se generen esfuerzos en los diversos elementos ni haya posibilidad de enganche por el tránsito normal de objetos o personas.

Todo el cableado será con doble aislamiento y adecuados para su uso en intemperie, al aire o enterrados de acuerdo con la norma UNE 21123.

4.3.3.2. SECCION ES DE LOS CONDUCTORES Y CAÍDAS DE TENSIÓN

Los conductores activos, si son rígidos, podrán ser tanto de cobre como de aluminio, pero si son flexibles, solo se admitirán de cobre.

La sección de los conductores a utilizar se determinará de forma que la caída de tensión entre el origen de la instalación y cualquier punto de utilización sea menor del 3% (1,5% en la parte de continua y 1,5% en la de alterna) de la tensión nominal en el origen de la instalación. Esta caída de tensión se calculará considerando alimentados todos los receptores de utilización susceptibles de funcionar simultáneamente.

Las tolerancias admitidas en la sección real serán de 3% en más y 1,5% en menos, entendiéndose por sección la media de la medida de varios puntos de un rollo.

Si en un único punto de la sección es de 3% menor que lo normal, el conductor no será admitido.

Las secciones mínimas serán de 1,5 mm².

Los hilos y cables sencillos serán de cobre estañado con aislamiento que cumpla las condiciones del artículo siguiente:

- Serán todos procedentes directamente de fábrica, desechándose los que acusen deterioro por el mal trato, picaduras y otros defectos en su envoltura exterior.
- Los cables o hilos aislados tendrán las secciones que indican los planos, o las que designe el Director de Obra.

4.3.3.3. CONDUCTORES DE PROTECCIÓN

La capacidad térmica del conductor se determinará en condiciones normalizadas, para posteriormente ajustarlas a las condiciones de trabajo a través de unos coeficientes de corrección. Se considerarán que están aislados con una tensión nominal de aislamiento de 1.000 V, en canalizaciones fijas y a una temperatura de 40°C.

La sección de los conductores de protección se debe acomodar al valor que tienen los conductores activos, no siendo nunca inferior su sección a 2,5 mm². En caso de defecto franco, las protecciones deberán actuar antes de que el conductor de protección alcance una temperatura de 90°C.

El aislamiento que deben presentar es el mismo que el del resto de conductores activos e irán en la misma canalización. Además, su conexionado se realizará por medio de empalmes soldados, sin empleo de ácido, o bien por medio de piezas de conexión con apriete por rosca, de material inoxidable y en el caso de empleo de tornillos, se proveerá de un sistema antiafloje.

4.3.3.4. PROTECCIONES

Todo circuito estará protegido contra los defectos de las sobreintensidades que puedan presentarse en el mismo, para lo cual la interrupción de este circuito se realizará en un tiempo conveniente o estará dimensionado para las sobreintensidades previsibles.

Los interruptores automáticos serán los apropiados a los circuitos a proteger respondiendo en su funcionamiento a las curvas de intensidad – tiempo adecuadas.

Frente a los cortocircuitos se habilitará una doble protección. Por un lado, los interruptores automáticos y por otra los fusibles conectados en el polo positivo de cada circuito. Deberán cortar la corriente máxima del circuito en que estén colocados sin dar lugar a la formación de arco permanente, abriendo o cerrando los circuitos sin posibilidad de tomar una posición intermedia entre las correspondientes a las de apertura y cierre. Cuando se utilicen para la protección contra cortocircuitos, su capacidad de corte estará de acuerdo con la intensidad de cortocircuito que pueda presentarse en el punto de su instalación, salvo que vayan asociados con fusibles adecuados que cumplan este requisito.

Los fusibles serán colocados sobre material aislante incombustible y estarán contruidos de forma que no puedan proyectar metal al fundirse. Cumplirán la condición de permitir su recambio bajo tensión de la instalación sin peligro alguno. Deberán llevar marcada la intensidad y tensión nominales de trabajo para las que han sido contruidos.

Se realizará la correspondiente selectividad entre los diferentes dispositivos de protección, de forma que, ante cualquier defecto, éste sea aislado y confinado a su zona de influencia, no afectando al resto de elementos de la instalación. La separación entre las diferentes partes de la instalación se realizará a través del empleo de cortocircuitos-fusibles, así como interruptores automáticos, siendo seccionadores en la parte de alterna.

Se dispondrá de protección para la interconexión de máxima y mínima frecuencia en unos valores de ± 1 Hz y de máxima y mínima tensión de más un

10% y menos un 15% con respecto a la tensión nominal, para cada una de las fases a las que se conecte la instalación. Se permitirá que estas protecciones estén incluidas en el inversor, no siendo necesaria su duplicación en este último caso.

4.3.3.5. TUBOS PROTECTORES

La distribución de los cables desde la instalación fotovoltaica hasta el inversor y posteriormente a su enganche a red se realizará a través de tubos aislantes fabricados en material plástico, o resinas sintéticas (polivinilo). El diámetro de estos viene expresado en la tabla correspondiente en función del número, clase y sección de los conductores, y tendrá una tolerancia del 5% en el diámetro.

El diámetro de los tubos será tal que los conductores no ocupen nunca más de la mitad de la sección del tubo y puedan sustituirse con facilidad.

Las curvas practicadas en los tubos serán continuas y no originarán reducciones de sección inadmisibles. Los radios mínimos de curvatura para cada clase de tubo son los indicados en la Tabla VI de la ITC-BT-21.

Será posible la fácil introducción y retirada de los conductores en los tubos después de colocados y fijados éstos y sus accesorios, disponiendo para ello los registros que se consideren convenientes y que, en tramos rectos, no estarán separados entre sí más de 15 metros. El número de curvas en ángulo recto situadas entre dos registros consecutivos no será superior a 3. Los conductores se alojarán en los tubos después de colocados éstos.

4.3.4. PUESTA A TIERRA

El cálculo e instalación de los circuitos de puesta a tierra se basa en la normativa incluida en el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión e Instrucciones Complementarias, en particular en la ITC-BT-18.

Los circuitos de puesta a tierra formarán una línea eléctricamente continua en la que no podrán incluirse en serie ni masas ni elementos metálicos, cualesquiera que sean éstos. Siempre la conexión de las masas y los elementos metálicos al circuito de puesta a tierra se efectuará por derivaciones desde éste.

4.3.4.1. RESISTENCIA DE TIERRA

El electrodo se dimensionará de forma que su resistencia de tierra, en cualquier circunstancia previsible, no sea superior al valor especificado para ella, en cada caso.

Este valor de resistencia de tierra será tal que cualquier masa no pueda dar lugar a tensiones de contacto superiores a:

- 24 V en local o emplazamiento conductor.
- 50 V en los demás casos.

Si las condiciones del emplazamiento no permitieran este hecho, se asegurará que el tiempo de desconexión es inferior al límite establecido en la curva de seguridad, tiempo – tensión.

Todas las masas de la instalación fotovoltaica, tanto de la parte de alterna como de la continua, estarán conectados a una misma tierra, que será independiente de la del neutro de la compañía distribuidora.

4.3.4.2. NATURALEZA Y SECCIONES MINIMAS

Los conductores que constituyen las líneas de enlace con tierra, las líneas principales de tierra y sus derivaciones, serán de cobre o de otro metal de alto punto de fusión y su sección debe ser ampliamente dimensionada de tal forma que cumpla las condiciones siguientes:

- La máxima corriente de falta que pueda producirse en cualquier punto de la instalación no debe originar en el conductor una temperatura cercana a la de fusión ni poner en peligro los empalmes o conexiones en el tiempo máximo previsible de duración de la falta, el cual sólo podrá ser considerado como menor de dos segundos en los casos justificados por las características de los dispositivos de corte utilizados.
- De cualquier forma, los conductores no podrán ser, en ningún caso, de menos de 16 mm² de sección para las líneas principales de tierra ni de 35 mm² para las líneas de enlace con tierra, si son de cobre. Para otros metales o combinaciones de ellos, la sección mínima será aquella que tenga la misma conductancia que un cable de cobre de 16 mm² o 35 mm² según el caso.

5. MEDIDAS DE SEGURIDAD Y SEÑALIZACIÓN

El Contratista deberá atenerse a las disposiciones vigentes sobre Seguridad e Higiene en el Trabajo.

Como elemento primordial de seguridad, se establecerá toda la señalización necesaria durante el desarrollo de las obras, así como en su posterior explotación, haciendo referencia, bien a peligros existentes, o a las limitaciones de las estructuras.

Para ello se atenderá a lo establecido en el Real Decreto sobre Señalización de Seguridad y Salud en el Trabajo, (R.D. 485/1997 de 14 de abril, B.O.E. nº 97 de 23 de abril de 1997).

Asimismo, se determinarán los dispositivos necesarios de control y de alarma para la fase de explotación, que deberá dejarse en perfecto funcionamiento a la terminación de las obras.

5.1. PRESCRIPCIONES ESPECÍFICAS EN ORDEN A LA SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO

El Contratista está obligado a tener asegurado a todo el personal que intervenga directa o indirectamente en las mismas.

Asimismo, estará enterado de lo que dispone la Ley de Prevención de Riesgos Laborales (31/1995) de fecha 8 de noviembre de 1995.

Es obligación del Contratista cumplir las disposiciones mínimas de Seguridad y de Salud en las obras de construcción, aprobado por Real Decreto 1627/1997, y cuantos Reglamentos en materia de seguridad e higiene en el trabajo fueran de pertinente aplicación en los lugares en los que la empresa desarrolle sus actividades laborales.

El Jefe de Obra, como profesional con título oficial expedido por la Escuela Profesional del Estado y con mando directo sobre los Encargados y Capataces de las obras a su cargo, tendrá la responsabilidad de la obra, tanto en su aspecto técnico como en el mantenimiento de la disciplina y seguridad del personal que trabaje en la misma.

No obstante, y en orden a una mayor seguridad del personal a pie de obra, y con el fin de evitar imprudentes conductas, que den lugar a faltas de cumplimiento de seguridad, se hace absolutamente necesario prescribir medidas de garantía y seguridad que eviten, al poner una mayor diligencia y

cuidado, accidentes que pudieran poner en peligro la integridad física del personal.

Con este fin se dispone de los Jefes de Obra, Encargados y Capataces, principalmente personas que por su capacidad, preparación técnica y permanencia en la obra pueden exigir y velar de forma permanente por el cumplimiento de lo ya regulado en relación con las normas de seguridad e higiene en la Industria de la Construcción, y evitar la conducta negligente o descuidada, la falta de responsabilidad o preparación técnica de los empleados.

5.2. SEÑALIZACIÓN DE LAS OBRAS

La señalización de las obras durante su ejecución se hará teniendo en cuenta las consideraciones expuestas en la Orden Ministerial de 14 de marzo de 1960 y las aclaraciones complementarias que se recogen en la O.M. nº 67-1-1960 de la Dirección General de Carreteras, siempre que no interfieran con el Real Decreto 485/97 sobre señalización.

El Director de Obra ratificará o rectificará el tipo de señal a utilizar, conforme a las normas vigentes en el momento de la realización del proyecto, siendo de cuenta y responsabilidad del Contratista el establecimiento, vigilancia y conservación de las señales que sean necesarias.

El Contratista señalará la existencia de zanjas abiertas, impedirá el acceso a ellas a todas las personas ajenas a la obra y vallará toda la zona de peligro, debiendo establecer la vigilancia necesaria, en especial por la noche, para evitar daños al tráfico y a las personas que hayan de atravesar la zona de las obras.

5.3. CONDICIONES DE LAS MEDIDAS DE PROTECCIÓN

Todos los elementos de protección tendrán fijado un plazo de utilización según homologación, desechándose a su término.

Cuando, por circunstancias de trabajo, se produzca un deterioro más rápido en una determinada prenda o equipo, se cambiará por una nueva independientemente de la duración prevista.

Toda prenda o equipo de protección que haya sufrido un trato límite, es decir, el máximo para el que fue concebido (por ejemplo, un accidente), será desestimado y repuesto por otro nuevo inmediatamente.

Todas aquellas prendas que por su uso tengan más anchura o tolerancia de las admitidas por el fabricante, serán repuestas inmediatamente.

El uso de las prendas de vestir o equipo de protección nunca presentará un riesgo en sí mismo.

5.4. PROTECCIONES PERSONALES

Todo elemento de protección personal se ajustará al R.D. 773/1997, de 30 de mayo, sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la utilización por los trabajadores de equipos de protección individual.

6. MODIFICACIONES EN EL PROYECTO

El Contratista está obligado a presentar, para su aprobación, y antes del comienzo de las obras, un programa de trabajo con especificación de los plazos parciales y fecha de terminación de las distintas unidades de obra compatible con el plazo de ejecución.

Una vez aprobado, se incorporará al Pliego de Condiciones del proyecto.

El Ingeniero Director de la Dirección Facultativa podrá introducir en el Proyecto antes de empezar las obras o durante su ejecución, las modificaciones que sean precisas para su correcto ocurrir, aunque no se hayan previsto en el Proyecto y siempre que lo sean sin separarse de su espíritu y recta interpretación. También podrá introducir aquellas modificaciones que produzcan aumento o disminución y aún supresión de las cantidades de obra, marcadas en el Presupuesto, o sustitución de algún elemento por otro, siempre que ésta sea de las comprendidas en el Contrato. Todas ellas deberán recogerse en la Dirección de Obra.

Todas estas modificaciones serán obligatorias para el Contratista siempre que, a los precios del contrato, sin ulteriores revisiones, no alteren el Presupuesto de Adjudicación en más de un veinte por ciento, tanto por exceso como por defecto.

En este caso, el Contratista no tendrá derecho a ninguna variación en los precios, ni a la indemnización de ningún género por supuesto perjuicios que le puedan ocasionar las modificaciones en el número de unidades de obra o en el plazo de ejecución.

No se ha establecido fórmula de revisión de precios, al ser el plazo de ejecución estimado inferior a un año.

El Contratista podrá dar destajo o en subcontrato cualquier parte de la instalación, pero con la previa autorización del Ingeniero Director de la Dirección Facultativa.

La obra que el Contratista pueda dar a destajo no podrá exceder el 25% del valor total de cada contrato, salvo autorización expresa de la Dirección Facultativa. Además, éste podrá decidir la exclusión de un destajista por solo ser este incompetente o no reunir las condiciones necesarias. Comunicada esta decisión al Contratista, éste deberá tomar las medidas precisas e inmediatas para la rescisión de este trabajo.

El Contratista será siempre responsable ante el Director de Obra de todas las actividades del destajista y de las obligaciones derivadas del cumplimiento de las condiciones fijadas en este Pliego.

7. CONSERVACIÓN Y LIMPIEZA

El Contratista queda comprometido a conservar por su cuenta, hasta que sean recibidas provisionalmente, todas las obras que integran el Proyecto.

Asimismo, queda obligado a la conservación de las obras durante el plazo de garantía que se establezca, a partir de la fecha de la recepción provisional. Durante este plazo deberá realizar cuantos trabajos sean precisos para mantener las obras ejecutadas en perfecto estado, de acuerdo con lo dispuesto en el Pliego de Condiciones.

Una vez que las obras hayan terminado, todas las instalaciones, depósitos y edificios, habilitados de manera temporal para el servicio de la obra, deberán ser removidos, y los lugares de su emplazamiento restaurados a su forma original.

Todo ello se ejecutará de forma que las zonas afectadas queden completamente limpias y en condiciones estéticas, acordes con el paisaje circundante.

Estos trabajos se consideran incluidos en el contrato y, por tanto, no serán objeto de abonos directos por su realización.

8. EJECUCIÓN DE LA INSTALACIONES

Todas las normas de construcción e instalación de la línea se ajustarán, en todo caso, a los planos, mediciones y calidades que se expresan, así como a las directrices que la Dirección Facultativa estime oportunas.

Además del cumplimiento de lo expuesto, las instalaciones se ajustarán a las normativas que le pudieran afectar, emanadas por organismos oficiales y en particular las de la empresa distribuidora de energía.

El acopio de materiales se hará de forma que estos no sufran alteraciones durante su depósito en la obra, debiendo retirar y reemplazar todos los que hubieran sufrido alguna descomposición o defecto durante su estancia, manipulación o colocación en la obra.

8.1. CONDICIONES ECONÓMICAS DE LA EJECUCIÓN

Son de cuenta del Contratista, como ya se ha indicado en párrafos anteriores (considerándose incluidos en los precios del proyecto y sin derecho a indemnización alguna), los gastos que se ocasionen con motivo de recepción de materiales, su ensayo o reconocimiento, agua y acometida de agua para la ejecución de la obra, electricidad y acometida eléctrica para la misma finalidad, medios auxiliares de elevación, transporte, herramientas y todo cuanto sea necesario para la ejecución de las obras contratadas, así como replanteos, vallas, oficinas de obras, guarda y cualquier arbitrio municipal, impuestos o gravámenes que estén establecidos o se establezcan durante la ejecución de las obras contratadas, y por razón de las mismas, solamente, y en ésta última parte podrán ser repercutibles sobre la Propiedad aquellos que por la legislación vigente esté expresamente autorizada la repercusión.

El abono de las unidades de obra presupuestadas se efectuará de acuerdo con los precios de proyecto, o en su defecto con las partes de jornales y materiales empleados a previa justificación antes de ser realizada, según el procedimiento tradicional para la fijación de precios contradictorios.

Las ayudas a oficios o instalaciones fijadas en un porcentaje sobre el costo del oficio o instalación correspondiente se abonarán manteniéndose el porcentaje que estuviera establecido en el presupuesto del proyecto. Estas ayudas representan y están destinadas a sufragar el coste de la obra necesario para ejecutar las instalaciones y oficios conforme se indica en el Pliego de Condiciones de conformidad con las normas NTE y cualesquiera otras y reglamentos en vigor.

Si durante el contrato de obras, la Propiedad resolviera introducir modificaciones en el proyecto que supusieran la introducción de unidades de obra no comprendidas en el contrato, los nuevos precios unitarios serán fijados contradictoriamente entre la Dirección Facultativa de la obra y el contratista a la vista de los precios contratados de unidades análogas, y en su defecto se estudiará su descomposición, teniendo en cuenta el coste de los materiales y el de la mano de obra habido su reconocimiento.

Las unidades de obra se certificarán cuando estuvieran totalmente terminadas.

Será de cargo del Contratista el cumplimiento de todas las disposiciones laborales y de Seguridad Social.

El Contratista estará obligado a tener asegurado en todo momento en valor de las obras que tenga ejecutadas y estar al corriente del pago de las primas del seguro.

En caso de siniestro, y así estuviese previsto en la póliza del seguro, el importe de la indemnización se ingresará en la entidad bancaria que dispusiera la Propiedad, para atender con ella a la reconstrucción haciéndose los abonos al Contratista a medida que se vaya efectuando y mediante certificaciones de obra, como en el caso ordinario de construcción.

8.2. CRONOGRAMA

A continuación, se muestra el gráfico con cada una de las etapas a realizar en la ejecución del proyecto, con la correspondiente estimación de la duración asignada a cada tarea.

Tareas:

- A. Elaboración en taller de cuadros eléctricos.
- B. Montaje en obra de la estructura metálica.
- C. Montaje de los módulos fotovoltaicos sobre la propia estructura.
- D. Conexión de los cuadros y protecciones.
- E. Interconexión de los elementos y puesta en marcha.

DISEÑO Y CÁLCULO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA DE 2,3 MW Y SU CONEXIÓN A LA RED DE MEDIA ENSIÓN

Tarea	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Semana 6	Semana 7	Semana 8	Semana 9	Semana 10	Semana 11	Semana 12	Semana 13
A													
B													
C													
D													
E													

Tarea A: Elaboración de los cuadros eléctricos.

Esta tarea abarca el montaje de toda la aparamenta dentro de los cuadros eléctricos de protección. Consiste en el montaje los interruptores magnetotérmicos, interruptores diferenciales y demás aparamenta dentro de cada cuadro, según plano n°20.

Tarea B: Montaje en obra de la estructura metálica.

Una vez realizada la obra civil (si la hubiera), se está en condiciones de proceder al ensamblado de los diferentes elementos que constituyen la estructura. Se iniciará con la fijación y equilibrado de cada uno de los apoyos con respecto a las zapatas. A continuación, se montará el emparrillado y finalmente los largueros.

Tarea C: Montaje de los módulos fotovoltaicos sobre la propia estructura.

La tarea C comprende el montaje, fijación y sellado de la cubierta constituida por los módulos fotovoltaicos. Además, se realizará su interconexión eléctrica, el montaje de las cajas colectoras parciales y la caja principal con sus correspondientes fusibles seccionables.

Tarea D: Conexionado de los cuadros y protecciones.

Una vez realizada la tarea C, se puede iniciar el conexionado de los cuadros y protecciones, dejando los seccionadores abiertos y enclavados.

Tarea E: Interconexionado de los elementos de puesta en marcha.

Finalmente, sólo resta el interconexión los conductores procedentes de la instalación fotovoltaica (paneles solares) en el cuadro eléctrico de protección. Realizar la puesta en marcha y verificaciones de que todo funciona correctamente, y dejar la instalación acondicionada y en servicio.

8.3. OBRAS DEFECTUOSAS O INCOMPLETAS

Sí alguna tarea de la instalación no se hallase ejecutada con arreglo a las condiciones del contrato y fuera, sin embargo, admisible, a juicio de la Dirección Facultativa, podrá ser recibida provisional y definitivamente en su caso, pero el Contratista quedará obligado a conformarse, sin derecho a reclamación, con el rebaje que la Dirección Facultativa apruebe, salvo en el caso en que el Contratista la rehaga con arreglo a las condiciones del contrato y a su costa.

Cuando por rescisión u otra causa fuera preciso valorar obras incompletas, se aplicarán los precios del presupuesto sin que pueda pretenderse la valoración de cada unidad de obra distinta a la valoración de dicho presupuesto, ni insuficiencia u omisión del coste de cualquier elemento que constituye el precio.

Las partidas que componen la descomposición del precio serán de abono, cuando estén acopiadas la totalidad del material, incluidos los accesorios, o realizada en su totalidad las labores u operaciones que determinan la definición de la partida ya que el criterio a seguir ha de ser en el que sólo se consideren abonables tareas con ejecución terminada, perdiendo el Contratista todos los derechos en el caso de dejarlas incompletas.

Será misión exclusiva de la Dirección Facultativa del proyecto, la comprobación de la realización de este con arreglo a la documentación y a sus instrucciones complementarias. El Contratista hará guardar las consideraciones debidas al personal de la dirección que tendrá libre acceso a todos los puntos de trabajo y a sus almacenes de material destinados a la misma para su reconocimiento previo.

8.4. RESCISIÓN DE CONTRATOS Y SANCIONES

Serán tenidas en cuenta, cualquiera que fuese la causa, las normas previstas en la legislación vigente y en el Pliego de Prescripciones Técnicas Administrativas, para la rescisión de contrato.

Si la rescisión es por incumplimiento de contrato, los medios auxiliares del instalador podrán ser utilizados gratuitamente por la Dirección Facultativa para la terminación del proyecto.

El Contratista no tendrá derecho a reclamación alguna por los desperfectos sufridos por sus equipos al ser usados por la Dirección Facultativa.

9. RECEPCIÓN DE LA INSTALACIÓN

Antes de la puesta en servicio de todos los elementos principales (módulos e inversor), éstos deberán haber superado las pruebas de funcionamiento en fábrica, de las que se levantará la oportuna acta que se adjuntará con los certificados de calidad.

Las pruebas para realizar por el instalador serán como mínimo las siguientes:

- Funcionamiento y puesta en marcha de todos los sistemas.
- Pruebas de arranque y parada en distintos instantes de funcionamiento.
- Pruebas de los elementos y medidas de protección, seguridad y alarma, así como su actuación, con excepción de las pruebas referidas al interruptor automático de desconexión.
- Concluidas las pruebas y la puesta en marcha, se pasará a la fase de recepción provisional de la instalación, no obstante, el Acta de Recepción Provisional no se firmará hasta haber comprobado que todos los sistemas y elementos que forman parte del suministro han funcionado correctamente durante un mínimo de 240 horas seguidas (10 días), sin interrupciones o paradas causadas por fallos o errores del sistema suministrado, y además que se hayan cumplido los requisitos siguientes:
 - Entrega de toda la documentación.
 - Retirada de obra de todo el material sobrante.
 - Limpieza de las zonas ocupadas con transporte de todos los desechos a vertedero.

Durante este periodo, el instalador será el único responsable de la operación de los sistemas suministrados, si bien deberá adiestrar al personal de operación, y podrá restringir el acceso a personal no autorizado.

Todos los elementos suministrados, así como la instalación en su conjunto, estarán protegidos frente a defectos de fabricación, instalación o diseño por una garantía de tres años, salvo para los módulos fotovoltaicos que la garantía será de 8 años, contado a partir de la fecha de la firma del acta de recepción provisional.

El instalador quedará obligado a la reparación de los fallos de funcionamiento que se puedan producir si se aprecia que su origen procede de defectos ocultos de diseño, construcción, materiales o montaje, comprometiéndose a subsanarlos sin cargo alguno. En cualquier caso, deberá atenerse a lo establecido en la legislación vigente en cuanto a vicios ocultos.

10. PRUEBAS DE LA INSTALACIÓN

La Aparamenta eléctrica que compone la instalación deberá ser sometida a los diferentes ensayos de tipo y de serie que contemplen las normas UNE o recomendaciones UNESA conforme a las cuales esté fabricada.

Asimismo, una vez ejecutada la instalación, se procederá, por parte de entidad acreditada por los organismos públicos competentes al efecto, a la medición reglamentaria de los siguientes valores:

- Resistencia de aislamiento de la instalación.
- Resistencia del sistema de puesta a tierra.
- Tensiones de paso y de contacto.

11. CONDICIONES DE USO, MANTENIMIENTO Y SEGURIDAD

11.1. PUESTA EN SERVICIO

- 1) Se conectarán primero los seccionadores de alta y a continuación el interruptor de alta, dejando en vacío el transformador. Posteriormente, se conectará el interruptor general de baja, procediendo en último término a la maniobra de la red de baja tensión.
- 2) Si al poner en servicio una línea se disparase el interruptor automático o hubiera fusión de cartuchos fusibles, antes de volver a conectar se reconocerá detenidamente la línea e instalaciones y, si se observase alguna irregularidad, se dará cuenta de modo inmediato a la empresa suministradora de energía.

11.2. SEPARACIÓN DE SERVICIO

- 1) Se procederá en primer lugar desconectando la red de baja tensión y separando después el interruptor de alta y seccionadores.
- 2) Si el interruptor fuera automático, sus relés deben regularse por disparo instantáneo con sobrecarga proporcional a la potencia del transformador, según la clase de la instalación.
- 3) Si una vez puesto el CT fuera de servicio se desea realizar un mantenimiento de limpieza de la aparamenta y transformador no bastará con haber realizado el seccionamiento que proporciona la puesta fuera de servicio del CT, sino que se procederá además a la puesta a tierra de todos aquellos elementos susceptibles de ponerlos a tierra. Se garantiza de esta forma que en estas condiciones todos los elementos accesibles estén, además de seccionados, puestos a tierra.
- 4) La limpieza se hará con trapos perfectamente secos, y muy atentos a que el aislamiento que es necesario para garantizar la seguridad personal, sólo se consigue teniendo la banqueta en perfectas condiciones y sin apoyar en metales u otros materiales derivados a tierra.

11.3. PREVENCIÓNES ESPECIALES

- 1) No se modificarán los fusibles y al cambiarlos se emplearán de las mismas características de resistencia y curva de fusión.
- 2) Para transformadores con líquido refrigerante (aceite o silicona) no podrá sobrepasarse un incremento relativo de 60 K sobre la temperatura ambiente en dicho líquido. La máxima temperatura ambiente en funcionamiento normal está fijada, según norma CEI 76, en 40°C, por lo que la temperatura del refrigerante en este caso no podrá superar la temperatura absoluta de 100°C.
- 3) Deben humedecerse con frecuencia las tomas de tierra. Se vigilará el buen estado de los aparatos, y cuando se observase alguna anomalía en el funcionamiento del centro de transformación, se pondrá en conocimiento de la compañía suministradora, para corregirla de acuerdo con ella.

12. CERTIFICADOS Y DOCUMENTACIÓN

Se aportará, para la tramitación de este proyecto ante los organismos públicos, la documentación siguiente:

- Autorización Administrativa.
- Proyecto, suscrito por técnico competente.
- Certificado de tensiones de paso y contacto, por parte de empresa homologada.
- Certificado de Dirección de Obra.
- Contrato de mantenimiento.
- Escrito de conformidad por parte de la Compañía Eléctrica suministradora.

13. LIBROS Y ÓRDENES

Se dispondrá en este centro del correspondiente libro de órdenes en el que se harán constar las incidencias surgidas en el transcurso de su ejecución y explotación.



VALLADOLID, junio de 2021

Fdo: Rubén Herrera Galiano
Ingeniero Eléctrico

ESTUDIO BÁSICO SEGURIDAD Y SALUD

1.	OBJETO DEL ESTUDIO DE SEGURIDAD.....	205
2.	ÁMBITO DE APLICACIÓN	206
3.	DISPOSICIONES LEGALES	207
4.	PLIEGO DE CONDICIONES DE UNA INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA	209
4.1.	EMPLAZAMIENTO	209
4.2.	DESCRIPCIÓN DE LA OBRA	209
4.3.	PLAZO DE EJECUCIÓN	209
4.4.	NÚMERO DE TRABAJADORES	209
5.	DISPOSICIONES MÍNIMAS DE SEGURIDAD Y SALUD EN LA OBRA	210
5.1.	RELATIVAS AL LUGAR DE TRABAJO	210
5.2.	GRÚAS	212
5.3.	ANDAMIOS	213
5.4.	ESCALERAS DE MANO	214
5.5.	HERRAMIENTAS MANUALES	216
6.	APLICACIÓN DE LA SEGURIDAD EN EL PROCESO DEL TRABAJO	217
6.1.	ACONDICIONAMIENTOS PREVIOS	217
6.2.	TRABAJOS SOBRE CUBIERTAS DE MATERIALES LIGEROS	218
6.3.	EXCAVACIONES	222
6.4.	PUESTAS A TIERRA Y ZANJAS DE TENDIDO ELÉCTRICO	223

6.5. MONTAJE DE LOS ELEMENTOS PREFABRICADOS, CASETA Y ESTRUCTURA	224
6.6. INSTALACIÓN ELÉCTRICA, CONEXIÓN Y MONTAJE DE CUADROS	225

1. OBJETO DEL ESTUDIO DE SEGURIDAD

La finalidad del estudio es la definición de las medidas preventivas adecuadas a los riesgos de accidente y enfermedades profesionales que comporte la realización de la obra, y los trabajos de montaje, conservación y mantenimiento de las instalaciones preceptivas de higiene y bienestar de los trabajadores.

Servirá para dar unas normas básicas a las empresas subcontratadas para el cumplimiento de sus obligaciones en el ámbito de la prevención de los riesgos profesionales, siempre bajo control de la dirección facultativa y de acuerdo con el Real Decreto 1627/1997, de 24 de octubre, que establece la obligatoriedad de la inclusión de un estudio básico de seguridad y salud, en los proyectos de obras.

En este Estudio se establecerán las previsiones respecto a la prevención de riesgos de accidentes en el montaje de las instalaciones antes mencionadas, objeto del presente proyecto.

Este Estudio afecta a todos los trabajos que se desempeñen en la ejecución del proyecto.

2. ÁMBITO DE APLICACIÓN

Este documento es vinculante a la adjudicación del contrato de ejecución de la obra, y por tanto afecta a empleados de las empresas de contrata y subcontrata relacionados con los trabajos de montaje e instalación descritos en la Memoria.

En esos términos la Empresa o Empresas que participen en la ejecución de la obra deben tener en cuenta lo siguiente:

- Observación estricta y cumplimiento de la legislación específica de Seguridad y Salud vigente.
- La empresa contratista, a través de sus representantes legales, encargados, capataces, jefes de equipo, comité de empresa o delegados de personal, dará a conocer a su personal cuantas normas de seguridad deban aplicarse en el recinto de obra.
- Los trabajos o servicios que hayan sido subcontratados estarán, a efectos de Seguridad bajo la entera responsabilidad del Contratista principal, quién se responsabilizará plenamente de la actuación personal de el/los subcontratistas.

3. DISPOSICIONES LEGALES

A continuación, se relacionan las Normas o Disposiciones que, con carácter general, pudieran afectar a la realización de las Obras derivadas de las características descritas en el Trabajo Final de Grado:

- Estatuto de los trabajadores.
- Convenio Colectivo Provincial de la Construcción.
- Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales. (B.O.E. de fecha 10 de noviembre de 1995).
- Real Decreto 153/1985, de 6 de febrero, por el que se establecen nuevas tarifas eléctricas. Modifica el artículo 22 del Real Decreto 1725/1984, de 18 de Julio (B.O.E. de fecha 9 de febrero de 1985).
- Real Decreto 1075/1986, de 2 de mayo, por el que se establecen normas sobre las condiciones de los suministros de energía eléctrica y calidad de este servicio (B.O.E. de fecha 6 de junio de 1986).
- R.D. 1578/2008, de 26 de septiembre, por el que se establece la retribución de la actividad de producción de energía eléctrica mediante tecnología solar fotovoltaica.
- Real Decreto 661/2007, de 25 de mayo, por el que se establece la metodología para la actualización y sistematización del régimen jurídico y económico de la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial.
- Real Decreto 1699/2011, de 18 de noviembre, por el que se regula la conexión a red de instalaciones de producción de energía eléctrica de pequeña potencia
- Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión, de fecha agosto de 2002.
- Instrucciones complementarias del Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión, de fecha agosto 2002.
- Reglamento de Acometidas Eléctricas.
- Reglamento y Ordenes en vigor sobre Disposiciones mínimas de Seguridad y de Salud en las obras de construcción, aprobado por Real Decreto 1627/1997, de 24 de octubre (BOE nº 256 de 25 de octubre de 1997).
- Reglamento de los Servicios de Prevención, aprobado por Real Decreto 39/1997, de 19 de enero (BOE nº 27 de 31 de enero de 1997).
- Orden TAS/3623/2006, de 28 de noviembre, por la que se regulan las actividades preventivas en el ámbito de la Seguridad Social y la financiación de la Fundación para la Prevención de Riesgos Laborales.

- Disposiciones de aplicación de la Directiva del consejo 84-528-CEE sobre aparatos elevadores y de manejo mecánico. R.D. 474/1988, de 30 de marzo (BOE nº 121, 20/5/88).
- Utilización de los Equipos de trabajo, aprobado por R.D. 1215/1997, de 18 de Julio (BOE nº 188 de 7 de agosto de 1997).
- Utilización de Equipos de protección individual, según el R.D. 773/1997, de 30 de mayo (BOE nº 140 de 12 de junio de 1997).
- Señalización de Seguridad y Salud en el trabajo, aprobado por R.D. 485/1997, de 14 de abril (BOE nº 97 de 23 de abril de 1997).
- Lugares de trabajo, aprobado por R.D. 486/1997, de 14 de abril (BOE nº 97 de 23 de abril de 1997).
- Manipulación manual de cargas, aprobado por R.D. 485/1997, de 14 de abril (BOE nº 97 de 23 de abril de 1997).
- Reglamento de Normas UNE de aplicación en el Ministerio de Obras Públicas.
- Normas UNE del Instituto Nacional de Racionalización del Trabajo.

4. PLIEGO DE CONDICIONES DE UNA INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA

4.1. EMPLAZAMIENTO

Como se indica en la Memoria de ejecución de la obra, la instalación se realiza en la parcela situada en Polígono 504, Parcela 49, La Saturnina, Calvarrasa de Arriba (Salamanca).

4.2. DESCRIPCIÓN DE LA OBRA

La obra consiste en un campo fotovoltaico sobre estructuras fijas de acero galvanizado, en la que se van a instalar un total de 7.440 placas, ocupando la instalación una superficie aproximada total de 15.000 m². Se instalarán los paneles solares sobre dicha estructura en suelo, así como su instalación eléctrica, canalizaciones eléctricas y demás obras de acondicionamiento necesarias, como la elaboración de zapatas para sujetar la estructura, puesta a tierra de la instalación, etc.

4.3. PLAZO DE EJECUCIÓN

Se ha programado un plazo de ejecución de la obra de 13 semanas.

4.4. NÚMERO DE TRABAJADORES

El número de trabajadores será el que garantice un trabajo rápido y seguro, teniendo en cuenta que este tipo de instalación no permite comenzar trabajos hasta que no se hayan acabado los anteriores.

5. DISPOSICIONES MÍNIMAS DE SEGURIDAD Y SALUD EN LA OBRA

5.1. RELATIVAS AL LUGAR DE TRABAJO

5.1.1. ESTABILIDAD Y SOLIDEZ

Se procurará la estabilidad de los materiales y equipos y, en general, de cualquier elemento que en cualquier desplazamiento pudiera entrañar un riesgo para el trabajador.

El acceso a cualquier superficie que conste de materiales que no ofrezcan mucha resistencia sólo se autoriza en caso de poseer los equipos adecuados para trabajar de forma segura.

5.1.2. INSTALACIONES Y SUMINISTRO DE REPARTO DE ENERGÍA

La instalación eléctrica de los lugares de trabajo en las obras de construcción deberá ajustarse a lo dispuesto en su normativa específica.

Los lugares de trabajo, en todo caso, deberán proyectarse para que no entrañen peligro de incendio ni de explosión, y de modo que las personas estén debidamente protegidas contra los riesgos de electrocución. Además, se tendrá en cuenta el tipo y la potencia de la energía suministrada, las condiciones del recinto y la competencia de las personas que tengan acceso a la instalación.

5.1.3. VIAS DE EMERGENCIA

Las vías y salidas de emergencia deberán señalizarse conforme al Real Decreto 485/1997, de 14 de abril, sobre disposiciones mínimas en materia de señalización de seguridad y salud en el trabajo.

5.1.4. DETECCIÓN Y LUCHA CONTRA INCENDIOS

Se deberá disponer de un número suficiente de dispositivos apropiados de lucha contra incendios, según las características de la obra, de las dimensiones, de los equipos y de las características de los materiales.

Los dispositivos no automáticos de lucha contra incendios deberán estar señalizados, ser de fácil acceso y manejables.

5.1.5. EXPOSICIÓN A RIESGOS PARTICULARES

Los trabajadores no deberán estar expuestos a niveles sonoros nocivos ni a factores externos nocivos (por ejemplo, gases, vapores y polvo).

5.1.6. ILUMINACIÓN

Los lugares de trabajo, los locales y las vías de circulación en la obra, deberán disponer en lo posible de suficiente luz natural y tener la luz artificial adecuada durante la noche y cuando no sea suficiente la luz natural.

5.1.7. VIAS DE CIRCULACIÓN Y ZONAS PELIGROSAS

Las vías de circulación, incluidas las escaleras y las escalas fijas deberán estar calculadas, situadas y acondicionadas para su uso de manera que se puedan utilizar fácilmente, con toda seguridad y conforme al uso al que se les haya destinado y de forma que los trabajadores empleados en las proximidades de estas vías de circulación no corran riesgo alguno.

En este tipo de instalaciones, como se suelen hacer en lugares de difícil acceso, muchas de estas normas pueden quedar restringidas, por no quedar más remedio para su instalación que la violación de alguna premisa.

Cuando se utilicen medios de transporte en las vías de circulación, se deberá prever una distancia de seguridad suficiente o medios de protección adecuados para las demás personas que puedan estar presentes en el recinto.

5.1.8. PRIMEROS AUXILIOS

Será responsabilidad del empresario garantizar que los primeros auxilios puedan prestarse en todo momento por personal con la suficiente formación para ello. Asimismo, deberán adoptarse medidas para garantizar la evacuación, a fin de recibir cuidados médicos, de los trabajadores accidentados o afectados por una indisposición repentina.

Los locales para primeros auxilios deberán estar dotados de las instalaciones y el material indispensable y tener fácil acceso para las camillas. Deberán estar señalizados conforme al Real Decreto sobre señalización de seguridad y salud en el trabajo.

5.2. GRÚAS

5.2.1. RIESGOS

Vuelco de la máquina, precipitación de la carga, golpes y atrapamientos, contactos eléctricos, caídas al mismo o a distinto nivel, contacto con objetos cortantes o punzantes, caídas de objetos, choques, proyección de partículas, sobreesfuerzos, ruido e intoxicaciones por gases producidos.

5.2.2. CARACTERÍSTICAS DE LA SEGURIDAD

Las maniobras de las grúas conllevan grandes responsabilidades, por lo que solamente deben confiarse a personas capaces, exentas de contraindicaciones físicas (limitación de las capacidades visuales y auditivas, tendentes al vértigo, etc.), dotadas de rapidez de reacción y con los conocimientos técnicos precisos.

Se comprobará que el terreno tiene la consistencia y regularidad suficiente para que los apoyos no se hundan o se encuentren desnivelados.

En casos de transmisión de cargas a través de neumáticos, la suspensión del vehículo portante debe ser bloqueada para conservar la horizontalidad de la plataforma base en cualquier posición de la flecha. Además, se calzarán las ruedas de forma adecuada.

La carga se repartirá homogéneamente para que haya una estabilidad adecuada y no se produzcan desequilibrios que puedan hacer precipitar a dicha carga.

La zona de maniobra deberá estar libre de obstáculos y previamente habrá sido señalizada para evitar el paso del personal, en tanto dure la maniobra. Si el paso de personas no pudiera evitarse, se emitirán señales, generalmente sonoras para que pudieran ponerse a salvo en caso de posibles desprendimientos.

Durante la ejecución de los trabajos, el encargado de maniobra emitirá unas señales que conocerá perfectamente el gruista, que a su vez responderá con señales acústicas o luminosas. Este código de señales viene definido por la norma UNE 003.

5.2.3. EQUIPO DE PROTECCIÓN INDIVIDUAL

El equipo de protección personal recomendado será el compuesto por el casco de seguridad, ropa de trabajo adecuada, gafas protectoras, auriculares o similares para la protección contra el ruido, botas de seguridad con refuerzos metálicos, guantes y cinturones de seguridad.

5.3. ANDAMIOS

5.3.1. RIESGOS

Caídas a distinto nivel (al entrar o salir), caídas al vacío o al mismo nivel, desplome del andamio, contacto con la energía eléctrica, desplome o caída de objetos (tablones, herramientas, materiales), golpes por objetos o herramientas, atrapamientos, derivados del padecimiento de enfermedades no detectadas (epilepsia, vértigo, etc.).

5.3.2. CARACTERÍSTICAS DE LA SEGURIDAD

En primer lugar, se deberán montar y desmontar cuidadosamente por personal cualificado, quedando la estructura perfectamente sólida y resistente.

Durante el movimiento del andamio, éste estará libre de cualquier objeto que tuviese posibilidad de caer al suelo, no deberá haber ningún operario subido en el mismo, no pudiendo volver a subir hasta que no se haya vuelto a fijar.

Se cuidará que el andamio descansa sobre un suelo u apoyos sólidos y resistentes, recurriendo, si fuese necesario al empleo de tabloncillos. Antes de su utilización, se comprobará su verticalidad y su estabilidad.

Las plataformas de trabajo ubicadas a dos o más metros de altura, poseerán barandillas perimetrales completas de 90 cm de altura, formadas por pasamanos, barra o listón intermedio o rodapiés.

Las ruedas estarán provistas de dispositivos de bloqueo, en caso contrario, se acuñarán a ambos lados y el acceso a la plataforma de trabajo, permanecerá cerrado durante la permanencia de los operarios sobre ella, mediante una barra de seguridad.

Las plataformas de trabajo tendrán un mínimo de 60 cm de anchura y estarán firmemente ancladas a los apoyos de tal forma que se eviten los movimientos por deslizamiento o vuelco.

Está prohibido abandonar en las plataformas sobre los andamios, materiales o herramientas, ya que pueden caer sobre las personas. También está prohibido fabricar morteros (o asimilables) en las plataformas de trabajo.

5.3.3. EQUIPO DE PROTECCIÓN INDIVIDUAL

El equipo de protección personal recomendado será el compuesto por el casco de polietileno, calzado antideslizante o de seguridad si fuera necesario, ropa de trabajo y cinturón de seguridad clases A o C.

5.4. ESCALERAS DE MANO

5.4.1. RIESGOS

Caídas al mismo o distinto nivel, caídas al vacío, deslizamiento por incorrecto apoyo (falta de zapatas, etc.), vuelco lateral por apoyo irregular, rotura por defectos ocultos, los derivados de los usos inadecuados o de los

montajes peligrosos (empalme de escaleras, formación de plataformas de trabajo, escaleras cortas para la altura a salvar, etc.).

5.4.2. CARACTERÍSTICAS DE LA SEGURIDAD

La escalera de mano suele ser el elemento auxiliar menos cuidado de cuántos intervienen en una obra, siendo origen por ello de numerosos accidentes.

Estarán dotadas de zapatas antideslizantes en su apoyo inferior, que a su vez será firme y sólido, y poseerán un sistema de sujeción en su extremo superior.

El espacio que rodea al asentamiento de la escalera debe estar siempre despejado de objetos y herramientas.

Se colocará lo más cerca posible del punto de trabajo, con los dos largueros apoyados conjuntamente sobre la fachada o similar, instalándose de tal forma que su apoyo inferior diste de la proyección vertical del superior $1/4$ de la longitud del larguero entre apoyos.

Antes de subir a la escalera, cerciorarse que los peldaños estén limpios de grasa, barro, etc. Si se trabaja sobre superficies verticales, su longitud será suficiente para que la cintura del operario quede por debajo del último peldaño.

No se podrá mover la escalera cuando el trabajador se encuentre en ella, así como tampoco se podrá colocar herramientas u otros objetos sobre los peldaños de la escalera, ni transportar cargas superiores a 25 kg en las escaleras. Se prohíbe la utilización al unísono de la escalera a dos o más trabajadores. El ascenso y descenso a través de las escaleras, se efectuará frontalmente a la misma.

Si se almacenan en posición horizontal, tienen que tener suficientes puntos de apoyo para evitar deformaciones permanentes. No se realizarán reparaciones provisionales de escaleras. Durante el transporte de la escalera a hombro, se llevará ligeramente elevada por la parte posterior para una mayor visibilidad del camino a recorrer.

5.4.3. EQUIPO DE PROTECCIÓN INDIVIDUAL

El equipo de protección personal recomendado es el compuesto por el casco de polietileno, calzado de seguridad o antideslizantes y cinturón de seguridad clase A o C.

5.5. HERRAMIENTAS MANUALES

5.5.1. RIESGOS

Golpes y cortes ocasionados durante el trabajo normal con las herramientas, lesiones oculares por partículas provenientes de la propia herramienta y/o los objetos que se trabajan, golpes en diferentes partes del cuerpo, esguinces por sobreesfuerzos o gestos violentos.

5.5.2. CARACTERÍSTICAS DE LA SEGURIDAD

Los accidentes de trabajo producidos por las herramientas manuales constituyen una parte importante del número total de accidentes, en particular de los de carácter leve. Es por ello que se debe prestar más atención al uso y selección de la herramienta correcta para el trabajo a realizar, al mantenimiento de las herramientas en buen estado, y al control de las mismas.

El mal uso de las herramientas, utilizándolas para realizar trabajos para los cuales no han sido diseñadas, puede ocasionar accidentes o un deterioro de las mismas que impedirá su uso en sucesivas ocasiones.

6. APLICACIÓN DE LA SEGURIDAD EN EL PROCESO DEL TRABAJO

Independientemente de los posibles medios de protección particular para riesgos de operaciones específicas, hay una serie de medios de seguridad y protección básicas que deben afectar a todo el personal, tanto trabajadores como posibles visitantes esporádicos:

- Correcta señalización de los accesos, zonas de acceso restringido, peligros varios, etc., de acuerdo con el Reglamento de Señalización reflejado en el R.D. 485/1997.
 - Casco de seguridad homologado en todas las operaciones, menos en las que impida la realización de la tarea que en ese momento tenga que desempeñar el operario.
 - Calzado de seguridad contra riesgos de aplastamientos.
 - Ropa de protección.
- Además, se restringirá el acceso a zonas de riesgo a visitantes de la obra.

6.1. ACONDICIONAMIENTOS PREVIOS

6.1.1. DESCRIPCIÓN DE LOS TRABAJOS

Como se ha indicado anteriormente, previamente a la ejecución de la obra, se procederá a vallar el recinto, de forma que el acceso de personas ajenas a la obra esté restringido. En el interior de dicho recinto, se colocará una tolva para la recogida de escombros, así como la caseta de obra en zonas donde no dificulten las labores de trabajo, ni intercepten las vías de comunicación. Previo acuerdo con la compañía suministradora, se contratará un suministro eléctrico de obra. Además, se montará una grúa que permitirá el montaje de la caseta tanto de obra como el habitáculo dedicado a albergar los equipos eléctricos, y demás elementos que debido a su peso no puedan ser acarreados a mano por trabajadores según el Reglamento correspondiente en materia de cargas. Para llevar a cabo acciones de levantamiento de tierras será necesario el empleo de un martillo neumático.

6.1.2. RIESGOS MAS FRECUENTES

- Golpes y cortes.
- Caídas al mismo nivel.
- Caída de objetos de gran tamaño desde altura (objetos prefabricados).
- Peligros asociados al manejo manual de cargas (retirada de escombros).
- Exposición a vibraciones y ruidos (martillo neumático).

6.1.3. PROTECCIONES COLECTIVAS

- Se asegurará la correcta estabilidad de todos los elementos fijados al suelo como son vallas, grúa, etc.
- En la instalación eléctrica provisional para la elaboración de la obra se ajustará al RBT ITC 028.
- Las puertas correderas llevarán su correspondiente sistema de seguridad.
- Los accesos de vehículos serán diferentes de los de las personas.

6.1.4. PROTECCIONES INDIVIDUALES

- Durante la realización de las excavaciones con martillo neumático, todo el personal irá provisto de algún medio de atenuación auditiva.
- La manipulación de líneas eléctricas, se harán con las fuentes de tensión desconectadas, de no ser posible, se usarán guantes aislantes para una tensión adecuada.

6.2. TRABAJOS SOBRE CUBIERTAS DE MATERIALES LIGEROS

6.2.1. RIESGOS Y FACTORES DE RIESGO

Los principales riesgos y factores de riesgo asociados a la realización de trabajos sobre cubiertas de materiales ligeros, claraboyas, lucernarios, etc., son:

- Caídas de altura: al subir o bajar de la cubierta mediante escaleras manuales portátiles o fijas; por rotura de las cubiertas al pasar el operario; pisar directamente sobre claraboyas o tragaluces interiores de insuficiente resistencia; por las inclemencias atmosféricas.
- Caída de objetos o de parte de la cubierta sobre personas: por acumular cargas excesivas sobre las mismas; al pisar directamente sobre la superficie rompiéndose una parte de la misma; por contactos eléctricos con cables accesibles desde la cubierta.
- Caídas a distinto nivel.
- Caída de objetos desde altura, con posible atrapamiento.
- Sobreesfuerzos.
- Manipulación de herramientas para la fijación de los elementos.

6.2.2. PROTECCIONES COLECTIVAS

La instalación de protecciones colectivas (redes de seguridad, barandillas, pasarelas, cables de vida, telas metálicas, etc.) de forma permanente o eventual, asegura al trabajador contra cualquier caída por rotura de parte de la cubierta, lucernarios, claraboyas, etc.

- Redes de seguridad: Se deben instalar redes de seguridad siempre que las condiciones de la nave así lo permitan, y como medida complementaria a otras frente a la existencia del riesgo de caída de altura.
- Barandillas perimetrales: La instalación de barandillas perimetrales debe cumplir las siguientes normas:
 - Prever puntos de anclaje permanentes de los montantes soporte de las barandillas en el perímetro de los tejados de los edificios.
 - Situar las barandillas de protección rígida en el perímetro del tejado a una altura que será función de la pendiente del tejado y de su geometría; en ningún caso será inferior a 0,90 m. y se complementará con un rodapié de 30 cm de altura que impida la caída de objetos o materiales. La resistencia será de 150 kg/ml.
 - Estar instaladas permanentemente, sobre todo si se interviene frecuentemente en la cubierta.
- Pasarelas de circulación: Para no pisar directamente sobre las cubiertas se utilizan pasarelas de circulación entre la cubierta y los

trabajadores, facilitando de esta forma la realización de trabajos sobre éstas. Para facilitar su montaje deben estar diseñadas para ser ensambladas a medida que se avanza en los trabajos y ser desplazadas sin que en ningún caso el trabajador deba apoyarse directamente sobre la cubierta. Según la frecuencia de acceso a la cubierta, las pasarelas deben dejarse permanentemente sobre ella y sobre todo nunca debe quedarse solo un trabajador realizando las operaciones encomendadas.

Los materiales más utilizados en la fabricación de las pasarelas son el aluminio y la madera. El aluminio es un material muy apropiado para las pasarelas por ser ligero e inoxidable. La superficie debe ser antideslizante, flexible y con perforaciones para limitar la acción del viento. Los módulos deben tener unas perforaciones longitudinales que permitan el paso de las fijaciones de la cubierta. Sus características técnicas esenciales son las siguientes: anchura mínima, 0,5 m; longitud aproximada, 3 m; espesor, 0,03 m; peso, 15 Kg. La pendiente máxima para instalar estos dispositivos es del 40 % y la carga máxima de servicio, 100 Kg por cada 2,25 m.

- Cable de vida: La instalación de un cable de vida consiste en instalar longitudinalmente sobre la cumbrera un cable de acero inoxidable con fijación en sus dos extremidades, y soportado a intervalos regulares por unos puntos de anclaje intermedios destinados a absorber los esfuerzos del cable. La unión entre el cable de vida y el arnés de seguridad se lleva a cabo mediante un carro especialmente diseñado para recorrer toda su longitud. El carro se desliza por el cable sin ninguna manipulación extra y, en caso de caída, el carro se bloquea, anulando así los riesgos de pendolaje.

Los puntos de anclaje del cable deben tener una resistencia mínima a la ruptura de 1.000 daN y estar distribuidos de tal forma que, en caso de caída accidental, no se derive un movimiento pendular que podría acarrear un riesgo complementario de golpearse contra algún obstáculo fijo o móvil situado sobre la cubierta. Asimismo, el cable de vida deberá tener una resistencia de 3.600 daN. La unión entre el carro y la cuerda de amarre del arnés que lleva el operario se efectúa a través de un dispositivo anticaídas de clase A, Tipo 1.

- Caída de objetos sobre personas o instalaciones: Debe prohibirse dejar directamente sobre la cubierta objetos, materiales, accesorios de limpieza, etc. estos se depositarán sobre las pasarelas colocadas para circular los operarios.

No se pisará directamente sobre la cubierta ligera para que, en caso de rotura y aunque no se produzca la caída del operario, las partes

de la cubierta rotas puedan caer sobre las personas o instalaciones que se encuentren en la vertical del lugar donde se produzca el incidente.

- Contactos eléctricos: Para prevenir el riesgo de contacto eléctrico con cables accesibles desde la cubierta, no se deben efectuar trabajos en las proximidades de conductores o elementos bajo tensión, desnudos o sin protección, salvo que estén desconectados de la fuente de energía. Si a pesar de ello se deben realizar trabajos en dichas condiciones, los cables se desviarán o se protegerán mediante fundas aislantes o apantallamiento. Para el caso de líneas de alta tensión se seguirá lo dispuesto en el vigente Reglamento de Líneas Eléctricas Aéreas de Alta Tensión.
- Organización de los trabajos: Antes de efectuar cualquier trabajo sobre una cubierta ligera, lucernario, claraboya, etc., la empresa contratista realizará un estudio previo que, según las condiciones de la misma (tipo, pendiente, medidas de protección existentes, etc.) diseñe el sistema de trabajo, medios de acceso seguro, equipos de protección personal necesarios y forma de usarlos, equipos y utillajes, etc.
- Inclencias del tiempo: No se deben realizar trabajos si las condiciones atmosféricas, sobre todo el viento, así lo desaconsejan. Como regla general no se trabajará si llueve o si la velocidad del viento es superior a los 50 km/h, debiéndose retirar cualquier material o herramienta que pueda caer desde la cubierta.

Se deberá llevar un programa de mantenimiento preventivo que lleve a cabo revisiones periódicas de todos los elementos relacionados con los sistemas de prevención de las caídas de altura (cables, pasarelas, escaleras, EPI's, etc.), sustituyéndolos cuando su estado así lo aconseje, siguiendo en todo caso las instrucciones de los fabricantes.

6.2.3. PROTECCIONES INDIVIDUALES

Para los trabajos en altura, y siempre que no sea posible instalar protecciones colectivas que ofrezcan completa seguridad frente a tal peligro, se deberán utilizar, por parte de los trabajadores, equipos individuales de protección constituidos por cinturones de seguridad de suspensión compuestos por arnés regulables asociados a algún tipo de dispositivo anticaídas. La extremidad del cable o de los dispositivos anticaídas debe estar

fijado en un punto de anclaje frontal o dorsal del arnés, en función del trabajo a efectuar.

6.3. EXCAVACIONES

6.3.1. DESCRIPCIÓN DE LOS TRABAJOS

Una vez acondicionada la zona, se procederá a la excavación de las zanjas para la instalación de la puesta a tierra y la elaboración de las zapatas de la estructura. Esta se realizará con una excavadora, conducida por personal experto y dotado de todas las medidas de seguridad necesarias (bocina en el retroceso, elementos de fijación de la máquina al suelo, etc.).

Las zanjas se realizarán de forma que no haya riesgo de corrimientos de tierra. Además, se dará orden expresa de no acercarse a la operación al personal no necesario.

Las medidas preventivas adoptadas son:

- Excavación en forma de cuña.
- Señalización de la existencia de una zanja, así como su recubrimiento con chapas cuando no se esté realizando ninguna labor en ella.

6.3.2. RIESGOS MAS FRECUENTES

- Caídas de personal a distinto nivel.
- Caídas de objetos y materiales.
- Sobreesfuerzos.
- Choques y golpes diversos
- Atrapamientos
- Intoxicaciones por humos de escape.

6.3.3. PROTECCIONES COLECTIVAS

- Lugar de trabajo en orden.
- Zonas de trabajo iluminadas correctamente.
- Se mantendrá el lugar de trabajo lo más limpio posible.
- El uso de los elementos auxiliares se realizará de acuerdo con sus medidas de seguridad.

6.3.4. PROTECCIONES INDIVIDUALES

- Empleo de orejeras o tapones por parte del conductor de la excavadora.

6.4. PUESTAS A TIERRA Y ZANJAS DE TENDIDO ELÉCTRICO

6.4.1. DESCRIPCIÓN DE LOS TRABAJOS

Una vez realizadas las excavaciones, hay que acondicionar las zanjas para que desempeñen su labor.

En el caso de la puesta a tierra, hay que proceder al hincado de las picas en las posiciones adecuadas hasta la profundidad requerida (la cabeza debe estar a 50 cm). A continuación, se colocarán las grapas en las cabezas para la conexión con la línea de enlace con tierra, ajustando esta última a las primeras. Seguidamente se cubrirá la zanja con tierra. Finalmente, se acondicionará el punto de toma de tierra para posteriores medidas e inspecciones por parte de las Autoridades Competentes.

En cuanto a las zanjas para la distribución de los conductores (70 cm de profundidad), si las hubiera, se procederá a encofrarla con cemento en las paredes laterales y la base. A continuación, se introducen el tubo adecuado y dentro de él se alojarán los cables eléctricos, añadiéndose arena. A unos 10 cm por encima de los cables se coloca una cobertura de aviso y protección frente a golpes con pico, constituida por ladrillos, para finalmente cubrir la zanja con tierra.

6.4.2. RIESGOS MAS FRECUENTES

- Caídas a diferente nivel.
- Golpes y cortes con herramientas y picas.
- Sobreesfuerzos.

Nota: No hay riesgo de electrocución, ya que los conductores se manipularán desconectados de las fuentes de tensión.

6.4.3. PROTECCIONES COLECTIVAS

- Orden de no aproximarse a las zanjas a personal no necesario.
- Cubrir con planchas de los tramos de zanja sobre los que no se realice ninguna operación.
- Señalización de la zona.

6.4.4. PROTECCIONES INDIVIDUALES

- Empleo de guantes, tanto para el hincado de las picas como para la elaboración y aplicación del cemento y demás fábricas.

6.5. MONTAJE DE LOS ELEMENTOS PREFABRICADOS, CASETA Y ESTRUCTURA

6.5.1. DESCRIPCIÓN DE LOS TRABAJOS

Una vez realizadas las tareas de acondicionamiento (nivelado de la zona), se procederá a colocar la caseta sobre el emplazamiento elegido. Para ello se utilizará una grúa-pluma utilizada también en las tareas de elevación de la estructura.

Además, se montará la estructura, para lo cual hay varias fases. Por un lado, se realizarán las uniones entre los pilares y los dinteles. Estas uniones se realizarán en el taller de montaje mediante soldadura adecuada y utilizando las máquinas adecuadas. Estas estructuras de unión de pilares y dinteles se fijarán a las zapatas, asegurándose una correcta fijación. Una vez realizada esta operación, se procederá a montar el emparrillado con tubos rectangulares sobre las que descansarán el campo de paneles.

A continuación, se colocarán los paneles fotovoltaicos sobre la estructura. Se hará desde abajo, por lo que no es necesario subirse encima de la parrilla. No obstante, debido a la altura, sí que es preciso un banzo que permita la colocación de manera cómoda.

6.5.2. RIESGOS MAS FRECUENTES

- Caídas a distinto nivel.
- Caída de objetos desde altura, con posible atrapamiento.
- Sobreesfuerzos.
- Atrapamiento por vuelco de máquinas o vehículos.
- Manipulación de herramientas para la fijación de los elementos.

6.5.3. PROTECCIONES COLECTIVAS

- Se dará orden expresa de que nadie se coloque en las proximidades de la proyección vertical de la carga soportada por la grúa.
- El montaje del banzo para permitir la colocación a altura deberá tener la anchura suficiente y además se la dotará de barandilla protectora.
- Tanto la grúa como el camión deberán tener sistemas de fijación al suelo para evitar vuelcos.
- Antes de fijar las patas de la estructura a las zapatas, deberán sujetarse de manera provisional a través de tirantes enganchados al suelo.

6.5.4. PROTECCIONES INDIVIDUALES

- Cualquier manipulación de maquinaria u herramienta con riesgo de corte, se realizará con guantes.

6.6. INSTALACIÓN ELÉCTRICA, CONEXIÓN Y MONTAJE DE CUADROS

6.6.1. DESCRIPCIÓN DE LOS TRABAJOS

Una vez finalizada la parte mecánica, se procederá a realizar una serie de acciones de instalación de tipo eléctrico. De manera simultánea se realizará el conexionado del campo de paneles estableciendo los circuitos que se describen en la memoria, así como la fijación de las cajas de distribución de polos con sus respectivos fusibles.

Simultáneamente, se realizará el acondicionamiento del cuadro que alojará los equipos eléctricos y el inversor.

También es necesaria la realización de las diferentes conexiones a tierra tanto de los armarios, inversor, y estructura. Además, se introducirán los circuitos en las bandejas perimetrales que van desde los cuadros hasta la estructura.

Una vez preparados todos los elementos de la instalación, con todos los cuadros montados, se procederá a la interconexión de todos los elementos.

En el montaje del cableado de la instalación, al igual que el resto de los componentes ya mencionados, se deben de cumplir con las especificaciones del Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión en vigencia.

Los cables que se instalen en intemperie deberán estar debidamente protegidos (canales o tubos) de las condiciones climatológicas adversas.

En el tendido eléctrico de una instalación fotovoltaica pueden utilizarse los procedimientos habituales de otras instalaciones eléctricas.

Las conexiones a los equipos deben hacerse a través de terminales adecuados y no arrollando directamente los hilos en las partes roscadas.

La instalación fotovoltaica debe disponer de una conexión a tierra.

Tanto los módulos fotovoltaicos como su estructura de sujeción deben estar conectados a tierra. Generalmente los módulos están provistos de un orificio característico que permite realizar esta conexión a tierra.

Los demás componentes también deben de estar conectados a tierra. Generalmente cada equipo lleva indicado el terminal para realizar la correspondiente conexión.

Las líneas de conducción de la instalación fotovoltaica también deben llevar su conexión a tierra tanto en el lado de continua, como en el de alterna.

El hecho de que una instalación fotovoltaica sea una instalación eléctrica supone un riesgo a priori, tanto para los operarios durante las labores de instalación y mantenimiento, como para los usuarios en su manejo cotidiano. Por este motivo, tanto los primeros como los segundos tienen que cumplir que cumplir estrictamente con las medidas de seguridad recomendadas por los fabricantes de los equipos y las genéricas de la instalación que se describirán posteriormente.

Intensidad	Peligro
0,5 mA	Sensación muy débil
10 mA	Contracción muscular
30 mA	Parálisis respiratoria
75 mA	Fibrilación cardiaca irreversible
100 mA	Paro cardiaco

Tanto en el transporte, como en el manejo y en el almacenamiento de los equipos que componen una instalación fotovoltaica, debe evitarse que estos sufran golpes y caídas.

Todos los equipos deben permanecer en su embalaje hasta el momento de su instalación y colocarse en la posición indicada en el mismo.

Los equipos deben almacenarse en lugar seguro para evitar que sufran robos y daños por ubicarse a la intemperie.

Las zonas en las que se está realizando la instalación deben estar señalizadas para evitar el paso de personal ajeno a la obra.

Además, el instalador debe cumplir las normas vigentes en materia de seguridad y salud.

6.6.2. RIESGOS MAS FRECUENTES

- Electrocuci3n.
- Sobreesfuerzos.
- Cortes con herramientas.

6.6.3. PROTECCIONES COLECTIVAS

- Se restringirá el acceso a puntos que se puedan poner a tensi3n a todo personal no autorizado para la realizaci3n de la instalaci3n el3ctrica.
- La conexi3n de los circuitos del campo de paneles se realizar3 con ellos tapados.
- La conexi3n con el punto de red se realizar3 con todos los elementos de seccionamiento abiertos.

6.6.4. PROTECCIONES INDIVIDUALES

- Cascos.
- Guantes para manejo de material eléctrico.
- Calzado de seguridad, con suela lo más adherente posible, para trabajar en tejado inclinado.
- Cinturón o arnés de seguridad.
- Gafas protectoras. Tanto para evitar la entrada de partículas en los ojos como el deslumbramiento por rayos solares.

Algunos componentes de las instalaciones fotovoltaicas pueden tener un peso elevado, como las baterías (si las hubiera) o el inversor, por eso no es conveniente su transporte manual ya que pueden provocar lesiones.

En las tareas de ejecución de la instalación se han de utilizar herramientas con aislamiento eléctrico para evitar cortocircuitos accidentales.

Todos los armarios o cajas que contengan equipos eléctricos donde puedan existir tensiones peligrosas para las personas, deben estar convenientemente señalizadas.

Habrá que tener especial precaución con la presencia de canalizaciones de agua próximas a la instalación fotovoltaica, a los componentes de esta y a los tendidos del cableado eléctrico.



VALLADOLID, junio de 2021

Fdo: Rubén Herrera Galiano

Ingeniero Eléctrico

CONCLUSIONES

Este penúltimo capítulo lo vamos a dedicar a resaltar las principales conclusiones extraídas de la realización del presente Trabajo Fin de Grado.

Se ha descrito de manera pormenorizada todo el proceso de diseño y cálculo de una instalación solar fotovoltaica de 2,3 MW de potencia. El dimensionado y elección de todos los componentes de la instalación, se ha realizado utilizando la aparatamenta matemática necesaria y, utilizando y cumpliendo toda reglamentación y normativa vigente.

Se ha realizado el dimensionado, distribución y conexionado de los paneles fotovoltaicos, adoptando una configuración de 248 grupos de 30 paneles en serie, conectados a 7 cuadros de corriente continua y éstos al inversor.

Se han dimensionado el Centro de Transformación al que está unido el inversor, línea de Media Tensión que une el Centro de Transformación con un centro de Seccionamiento y línea subterránea para realizar el entronque con la línea de la compañía eléctrica.

Se ha tenido especial cuidado con las protecciones necesarias para garantizar la seguridad, tanto del generador fotovoltaico como de las personas que pudieran transitar por dicha instalación.

La instalación desarrollada es específica para la zona, el terreno, las características del punto de conexión y la finalidad para la que se va a dar uso.

Se ha demostrado la viabilidad económica de una instalación basada en una tecnología que cada vez va teniendo más implantación para la obtención de energía eléctrica, solidaria con el medio ambiente y que puede aportar un nivel diferencial en cuanto a la producción de electricidad a un país como España con respecto al resto de países de la Unión Europea.

Por lo tanto, se puede indicar que los documentos que se incluyen son adecuados para que el Generador Solar desarrollado esté perfectamente proyectado, quedando suficientemente descrito para su correcta ejecución, cumpliendo con los objetivos marcados.

BIBLIOGRAFÍA

LÍBROS Y PUBLICACIONES OFICIALES	232
NORMATIVA Y REGLAMENTOS.....	233
CATÁLOGOS Y FICHAS TÉCNICAS	238
PROGRAMAS INFORMÁTICOS UTILIZADOS	240

LÍBROS Y PUBLICACIONES OFICIALES

- ***Electricidad Solar. Ingeniería de los sistemas fotovoltaicos.***
Autor: Eduardo de Lorenzo
Editor: Instituto de Energía Solar
- ***Proyecto tipo para Centro de Seccionamiento***
Autor: i-DE Redes Eléctricas Inteligentes, S.A.U.
Enlace:
https://industria.gob.es/Calidad-Industrial/seguridadindustrial/instalacionesindustriales/instalaciones-alta-tension/Documents/reglamento-alta-tension/iberdrola/MT%202.11.20_E02_may19-.pdf
- ***Proyecto tipo de línea subterránea de AT hasta 30 kV***
Autor: i-DE Redes Eléctricas Inteligentes, S.A.U.
Enlace:
https://industria.gob.es/Calidad-Industrial/seguridadindustrial/instalacionesindustriales/lineas-alta-tension/Documents/proyectos-vigentes-anulados/iberdrola/MT%202.31.01_E10_may19-.pdf
- ***Proyecto tipo de línea aérea de Media Tensión***
Autor: i-DE Redes Eléctricas Inteligentes, S.A.U.
Enlace:
https://industria.gob.es/Calidad-Industrial/seguridadindustrial/instalacionesindustriales/lineas-alta-tension/Documents/proyectos-vigentes-anulados/iberdrola/MT%202.21.60_E06_may19-.pdf
- ***Proyecto tipo para Centro de Transformación prefabricado de superficie***
Autor: i-DE Redes Eléctricas Inteligentes, S.A.U.
Enlace:
https://industria.gob.es/Calidad-Industrial/seguridadindustrial/instalacionesindustriales/instalaciones-alta-tension/Documents/reglamento-alta-tension/iberdrola/MT%202.11.01_E05_may19-.pdf

➤ **Especificaciones particulares para instalaciones de Alta y Baja Tensión**

Autor: i-DE Redes Eléctricas Inteligentes, S.A.U.

Enlace:

https://industria.gob.es/Calidad-Industrial/seguridadindustrial/instalacionesindustriales/baja-tension/Documents/tablas/iberdrola/MT%202.03.20_E11_may19-.pdf

➤ **Especificación particular- Fusibles limitadores de corriente para A.T.**

Autor: i-DE Redes Eléctricas Inteligentes, S.A.U.

Enlace:

https://industria.gob.es/Calidad-Industrial/seguridadindustrial/instalacionesindustriales/instalaciones-alta-tension/Documents/reglamento-alta-tension/iberdrola/NI%2075.06.31_E05_may19-.pdf

NORMATIVA Y REGLAMENTOS

➤ **Real Decreto 1183/2020, de 29 de diciembre, de acceso y conexión a las redes de transporte y distribución de energía eléctrica.**

<https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2020-17278>

➤ **Circular 1/2021, de 20 de enero, de la Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia, por la que se establece la metodología y condiciones del acceso y de la conexión a las redes de transporte y distribución de las instalaciones de producción de energía eléctrica.**

https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2021-904

➤ **Real Decreto 1955/2000, de 1 de diciembre, por el que se regulan las actividades de transporte, distribución, comercialización, suministro y procedimientos de autorización de instalaciones de energía eléctrica.**

<https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2000-24019>

➤ **Real Decreto 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 01 a 09.**

<https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2008-5269>

- *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.*
<https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2014-6084>
- *Real Decreto 1110/2007, de 24 de agosto, por el que se aprueba el Reglamento unificado de puntos de medida del sistema eléctrico.*
<https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2007-16478>
- *Real Decreto 1432/2008, de 29 de agosto, por el que se establecen medidas para la protección de la avifauna contra la colisión y la electrocución en líneas eléctricas de alta tensión.*
<https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2008-14914>
- *Real Decreto 1627/1997, de 24 de octubre, por el que se establecen disposiciones mínimas de seguridad y de salud en las obras de construcción.*
<https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-1997-22614>
- *Real Decreto 485/1997, de 14 de abril, sobre disposiciones mínimas en materia de señalización de seguridad y salud en el trabajo.*
<https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-1997-8668&tn=1&p=20150704>
- *Real Decreto 1215/1997, de 18 de julio, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud para la utilización por los trabajadores de los equipos de trabajo.*
<https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-1997-17824>
- *Real Decreto 773/1997, de 30 de mayo, sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la utilización por los trabajadores de equipos de protección individual.*
<https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-1997-12735>
- *Real Decreto 842/2002, de 2 de agosto, por el que se aprueba el Reglamento electrotécnico para baja tensión.*
<https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2002-18099>
- *Real Decreto-ley 15/2018, de 5 de octubre, de medidas urgentes para la transición energética y la protección de los consumidores.*
<https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2018-13593>

- *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.*

https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2014-6123

- *Real Decreto 1578/2008, de 26 de septiembre, de retribución de la actividad de producción de energía eléctrica mediante tecnología solar fotovoltaica para instalaciones posteriores a la fecha límite de mantenimiento de la retribución del Real Decreto 661/2007, de 25 de mayo, para dicha tecnología.*

<https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2008-15595>

- *Real Decreto 661/2007, de 25 de mayo, por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial.*

<https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2007-10556>

- *Real Decreto 1075/1986, de 2 de mayo, por el que se establecen normas sobre las condiciones de los suministros de energía eléctrica y la calidad de este servicio.*

https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-1986-14537

- *Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación.*

<https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2006-5515>

- *Real Decreto 186/2016, de 6 de mayo, por el que se regula la compatibilidad electromagnética de los equipos eléctricos y electrónicos.*

https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2016-4442

- *Real Decreto 2313/1985, de 8 de noviembre, por el que se establece la sujeción a especificaciones técnicas de las cédulas y módulos fotovoltaicos.*

<https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-1985-25913>

- *Real Decreto 485/1997, de 14 de abril, sobre disposiciones mínimas en materia de señalización de seguridad y salud en el trabajo.*

<https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-1997-8668>

- *Real Decreto 773/1997, de 30 de mayo, sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la utilización por los trabajadores de equipos de protección individual.*

<https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-1997-12735>

- **Real Decreto 1627/1997, de 24 de octubre, por el que se establecen disposiciones mínimas de seguridad y de salud en las obras de construcción.**
<https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-1997-22614>
- **Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de prevención de Riesgos Laborales..**
<https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-1995-24292>
- **Ley 24/2013, de 26 de diciembre, del Sector Eléctrico.**
<https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2013-13645>
- **Decreto 127/2003, de 30 de octubre, por el que se regulan los procedimientos de autorizaciones administrativas de instalaciones de energía eléctrica en Castilla y León.**
- **UNESA, recogido en el Manual Técnico “Método de cálculo y proyecto de instalaciones de puesta a tierra para centros de transformación conectados a redes de tercera categoría”.**
- **Reglamento de Líneas Eléctricas Aéreas de Alta Tensión, LAT y sus instrucciones técnicas complementarias, ITC**
- **Reglamento electrotécnico de Baja Tensión, REBT y sus instrucciones técnicas complementarias, ITC.**
- **Normas particulares de la Compañía Suministradora de Energía Eléctrica.**
- **Ordenanzas Municipales.**
- **UNE 21018:1980.** Normalización de conductores desnudos a base de aluminio, para líneas eléctricas aéreas.
- **UNE-EN 62271-102:2005/A1:2012.** Aparata de alta tensión. Parte 102: Seccionadores y seccionadores de puesta a tierra de corriente alterna.
- **UNE-EN 62271-1:2009.** Aparata de alta tensión. Parte 1: Especificaciones comunes.
- **UNE-EN 60255-1:2010.** Relés de medida y equipos de protección. Parte 1: Requisitos comunes.
- **UNE-EN 62271-103:2012.** Aparata de alta tensión. Parte 103: Interruptores para tensiones asignadas superiores a 1kV e inferiores o iguales a 52 kV

- **UNE-EN 62271-200:2012.** Aparamenta de alta tensión. Parte 200: Aparamenta bajo envolvente metálica de corriente alterna para tensiones asignadas superiores a 1 kV e inferiores o iguales a 52 kV.
- **UNE-EN 62271-105:2013.** Aparamenta de alta tensión. Parte 105: Combinados interruptor-fusibles de corriente alterna para tensiones nominales superiores a 1 kV e inferiores o iguales a 52 kV.
- **UNE-EN 61000-4-5:2015/A1:2018.** Compatibilidad electromagnética (CEM). Parte 4-5: Técnicas de ensayo y de medida. Ensayos de inmunidad a las ondas de choque.
- **UNE 21428-1-2:2017.** Transformadores trifásicos de distribución sumergidos en aceite, 50 Hz, de 25 kVA a 3150 kVA con tensión más elevada para el material hasta 36 kV. Parte 1: Requisitos generales. Sección 2: Requisitos para transformadores bitensión en baja tensión.
- **UNE-EN 60332-1-2:2005/A11:2016.** Métodos de ensayo para cables eléctricos y cables de fibra óptica sometidos a condiciones de fuego. Parte 1-2: Ensayo de propagación vertical de la llama para un conductor individual aislado o cable. Procedimiento para llama premezclada de 1kW.
- **UNE 21123-2:2017.** Cables eléctricos de utilización industrial de tensión asignada 0,6/1 kV. Parte 2: Cables con aislamiento de polietileno reticulado y cubierta de policloruro de vinilo.
- **UNE-EN 60904-1:2007.** Dispositivos fotovoltaicos. Parte 1: Medida de la característica corriente-tensión de dispositivos fotovoltaicos. (IEC 60904-1:2006).
- **UNE-EN 60904-2:2015.** Dispositivos fotovoltaicos. Parte 2: Requisitos de dispositivos solares de referencia.
- **UNE-EN 60904-3:2016.** Dispositivos fotovoltaicos. Parte 3: Fundamentos de medida de dispositivos solares fotovoltaicos (FV) de uso terrestre con datos de irradiancia espectral de referencia. (Ratificada por AENOR en noviembre de 2016.)
- **UNE-EN 61215-1-2:2017.** Módulos fotovoltaicos (FV) para uso terrestre. Cualificación del diseño y homologación. Parte 1-2: Requisitos especiales de ensayo para los módulos fotovoltaicos (FV) de lámina delgada de telururo de cadmio (CdTe).
- **UNE-EN 61646:2009.** Módulos fotovoltaicos (FV) de lámina delgada para uso terrestre. Cualificación del diseño y homologación.

CATÁLOGOS Y FICHAS TÉCNICAS

➤ ***Paneles solares fotovoltaicos de 330 W***

Empresa: Iberian Solar

Enlace:

https://www.iberiansolar.com/wp-content/uploads/2019/01/Iberian-Solar-IBS72P-330w-335w-340w-Poly-72-cells-35mm_v6.0a_EN.pdf

➤ ***Inversor integrado en PowerBlock***

Empresa: Power Electronics

Enlace:

https://www.power-electronics.com/wp-content/uploads/Descargas/Ingles/Leaflets/Solar/Leaflet_HEMK.pdf

➤ ***MV Skid PowerBlock***

Empresa: Power Electronics

Enlace:

https://www.power-electronics.com/wp-content/uploads/Descargas/Ingles/Leaflets/Solar/Leaflet_MV_Skid.pdf

➤ ***Conductor para línea subterránea de M.T.***

Empresa: Prysmian

Enlace:

<file:///C:/Users/ruben/Downloads/PRY-AI%20Eprotenax%20H%20Compact%202020.pdf>

➤ ***Celdas modulares de distribución "NORMAFIX"***

Empresa: Efacec

Enlace:

<https://www.efacec.pt/wp-content/uploads/2016/10/Aparelhagem-media-alta-tensao.pdf>

➤ **Conjunto DE celdas RMU aisladas en SF₆ "FLUOFIX GC"**

Empresa: Efacec

Enlace:

http://www.efacec.cz/data/vyrobky/navody/fluofixgc/Manual_Fluofix_ESP_453030008.pdf

➤ **Relé de protección y control multifunción "PL-300"**

Empresa: Ingeteam

Enlace:

https://www.ingeteam.com/Portals/0/Catalogo/Producto/Documento/PRD_1581_Archivo_ingepac-pl300-fy27iptt00-a.pdf

➤ **Cuadro de distribución para Centros de Transformación**

Empresa: Pronutec

Enlace:

<https://www.pronutec.com/CMSPages/GetFile.aspx?guid=60be73b6-9d03-469c-8628-93473b2d43dd>

➤ **Analizador de red "ION7400"**

Empresa: Schneider Electric

Enlace:

https://download.schneider-electric.com/files?p_enDocType=User+guide&p_File_Name=7ES02-0374-05.pdf&p_Doc_Ref=7ES02-0374

➤ **Edificio prefabricado de hormigón "PUCBET 7BA1T"**

Empresa: Efacec

Enlace:

<https://www.efacec.pt/en/products/pucbet-compact-substation/>

PROGRAMAS INFORMÁTICOS UTILIZADOS

- ***Edición de planos***
Programa: Autocad
- ***Cálculo de producción energética***
Programa: PVSyst
Programa: NSol
- ***Edición y cálculos***
Programa: Paquete Office

ANEXOS

ANEXO A PLANOS.....	243
ANEXO B LÍNEA Y APOYO	268
B.1. TABLAS DE UTILIZACIÓN DE APOYOS	268
B.2. TABLAS DE TENDIDO ZONA B	271
B.3. CRUCETAS Y APOYOS	274
ANEXO C GESTIÓN DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN	279
C.1. ANTECEDENTES.....	279
C.2. ESTIMACIÓN DE LA CANTIDAD DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN QUE SE GENERARÁN EN LA OBRA	279
C.3. MEDIDAS DE PREVENCIÓN DE RESIDUOS EN LA OBRA	282
C.4. OPERACIONES DE REUTILIZACIÓN, VALORIZACIÓN O ELIMINACIÓN A QUE SE DESTINARÁN LOS RESIDUOS QUE SE GENERARÁN LOS RESIDUOS QUE SE GENERARÁN EN LA OBRA	282
C.5. MEDIDAS PARA LA SEPARACIÓN DE LOS RESIDUOS EN OBRA	283
C.6. PLANO DE LAS INSTALACIONES PREVISTAS PARA EL ALMACENAMIENTO, MANEJO, SEPARACIÓN Y EN SU CASO, OTRAS OPERACIONES DE GESTIÓN DE LOS RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN DENTRO DE LA OBRA....	284
C.7. PRESCRIPCIONES DEL PLIEGO DE PRESCRIPCIONES TÉCNICAS PARTICULARES DEL PROYECTO	285
C.8. VALORACIÓN DEL COSTE PREVISTO DE LA GESTIÓN DE LOS RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN DE LA OBRA.....	285

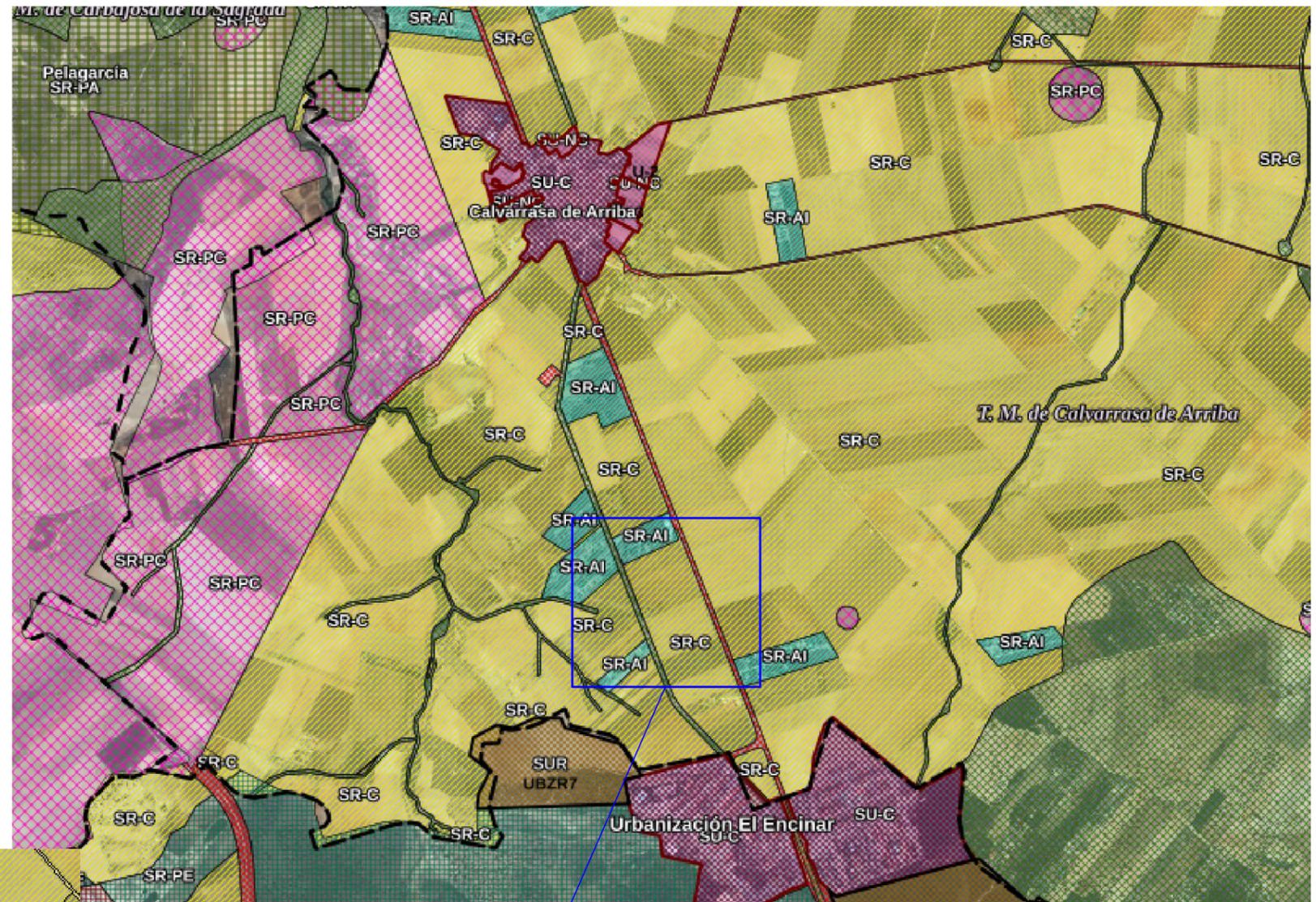
ANEXO A PLANOS

- 1.- Emplazamiento según normas subsidiarias
- 2.- Situación
- 3.- Parcela con acotaciones a dominio público
- 4.- Distribución de estructura y puesta a tierra del campo solar fotovoltaico
- 5.- Conexión del campo solar fotovoltaico
- 6.- Detalle PowerBlock
- 7.- Puesta a Tierra del PowerBlock
- 8.- Detalle dimensiones panel fotovoltaico
- 9.- Detalle conexión strings
- 10.- Detalle tipo de zanjas
- 11.- Distribución de zanjas
- 12.- Detalle vallado de la parcela
- 13.- Detalle Centro de Seccionamiento
- 14.- Puesta a tierra del centro de seccionamiento
- 15.- Apoyo metálico serie C, cimentación y antiescalo
- 16.- Puesta a tierra del nuevo apoyo
- 17.- Detalle crucetas
- 18.- Detalle cadena de amarre
- 19.1- Esquema multifilar conexión de medida en M.T.
- 19.2- Esquema multifilar analizador de red M.T.
- 19.3- Detalle 1 esquema multifilar relés de protección
- 19.4- Detalle 2 esquema multifilar relés de protección
- 20.- Esquema unifilar general de la instalación

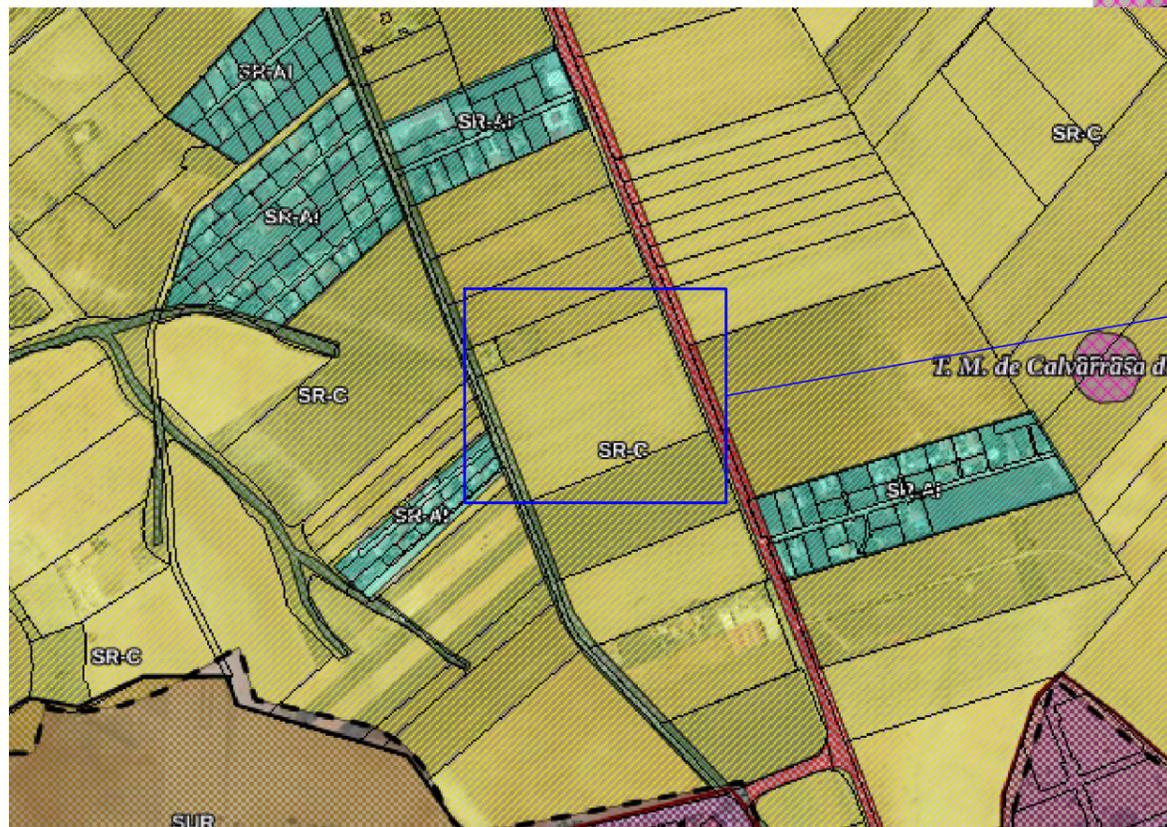


Clases de suelo	
	SU. Suelo urbano
	SUR. Suelo urbanizable
	SR. Suelo rústico
Categorías de suelo	
	SU-C. Suelo urbano: Consolidado
	SU-NC. Suelo urbano: No consolidado
	SUR. Suelo urbanizable
	SR-C. Suelo rústico: Común
	SR-AE. Suelo rústico: Actividades extractivas
	SR-AI. Suelo rústico: Asentamiento irregular
	SR-AT. Suelo rústico: Asentamiento tradicional
	SR-EU. Suelo rústico: Entorno urbano
	SR-PA. Suelo rústico: Protección agropecuaria
	SR-PE. Suelo rústico: Protección especial
	SR-PN. Suelo rústico: Protección natural
	SR-PI. Suelo rústico: Protección infraestructuras
	SR-PC. Suelo rústico: Protección cultural
	SIN. Sin clasificar

Sector de desarrollo	
	SU-NC. Suelo urbano no consolidado
	SUR. Suelo urbanizable



Escala 1/10.000

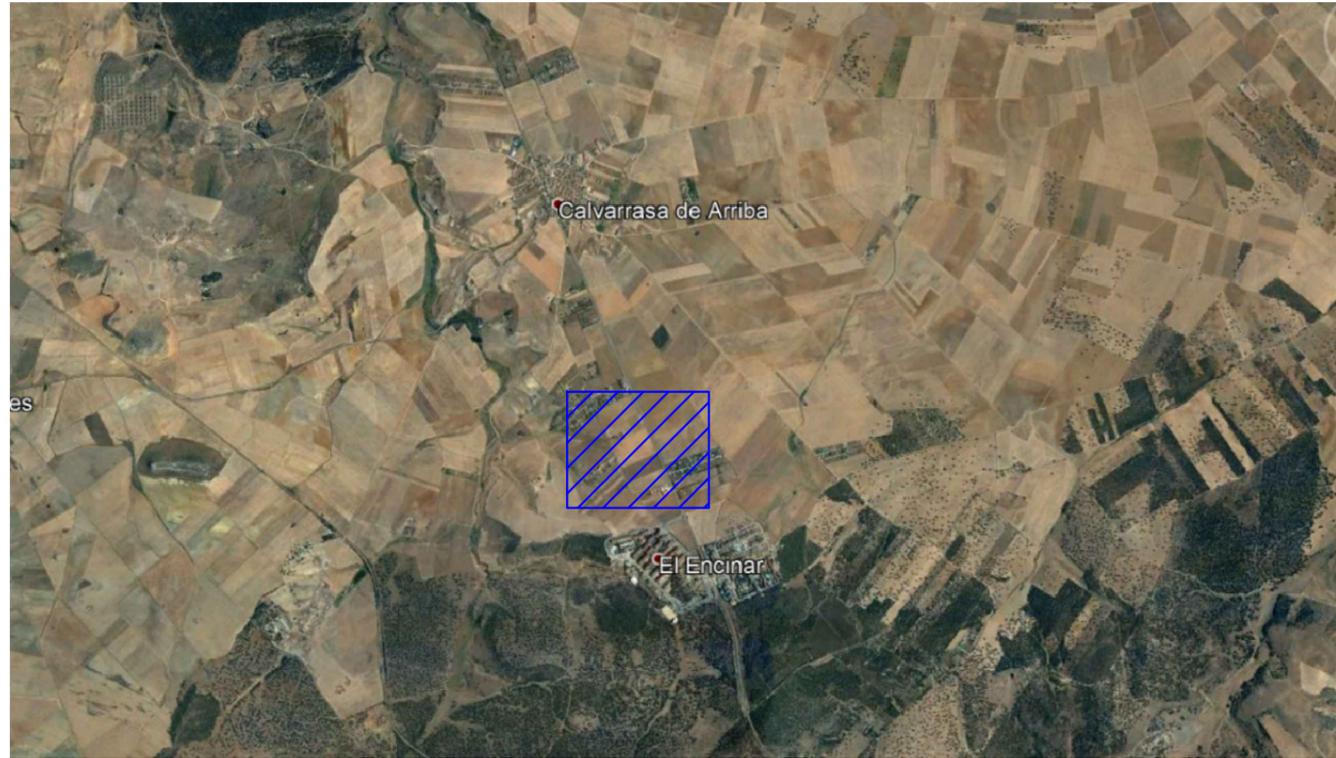


Escala 1/25.000

PROYECTO

DISEÑO Y CÁLCULO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA DE 2,3 MW Y SU CONEXIÓN A LA RED DE MEDIA TENSIÓN			
SITUACIÓN: Polígono 504 Parcela 49, La Saturnina, Calvarrasa de Arriba (Salamanca)		PROMOTOR: ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES	
PLANO DE: EMPLAZAMIENTO SEGÚN NORMAS SUBSIDIARIAS		ESCALA: EV	
EL INGENIERO ELÉCTRICO: RUBÉN HERRERA GALIANO	DIBUJADO: Rubén Herrera Galiano 03/04/2021	A3	Nº PLANO: 1

Escala 1/50.000



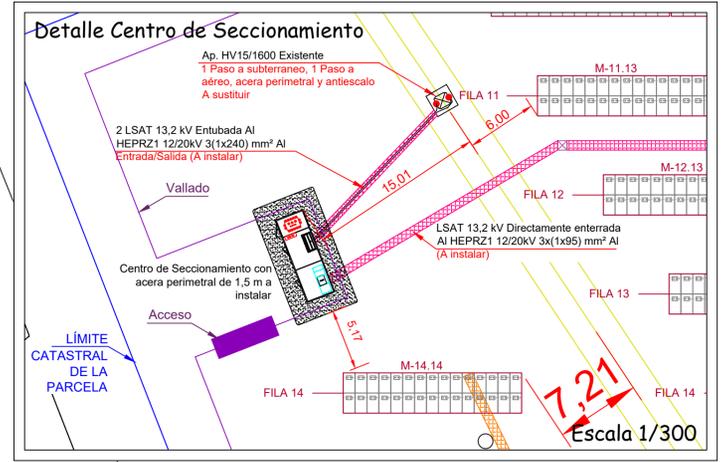
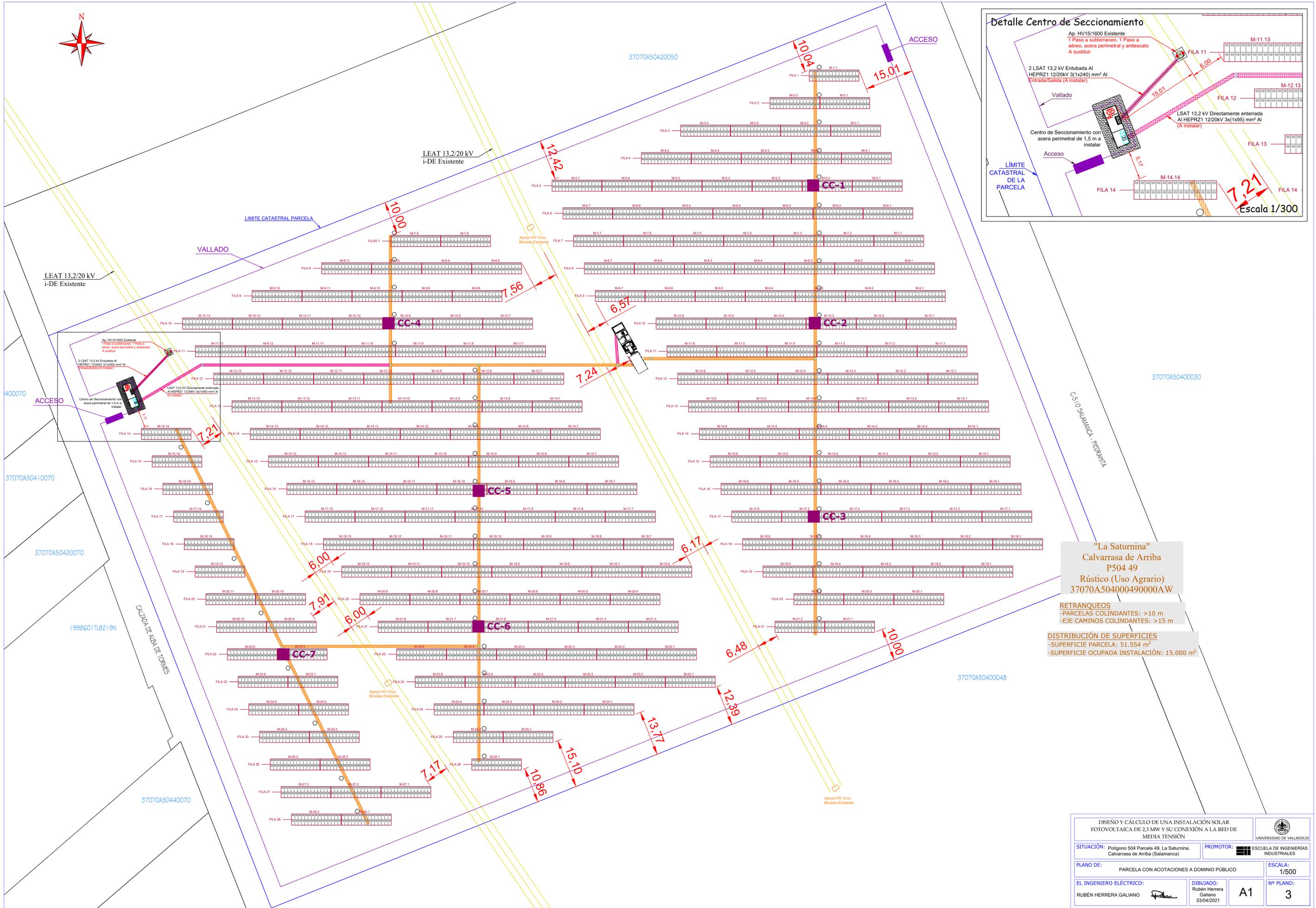
Escala 1/12.500



Escala 1/5.000



DISEÑO Y CÁLCULO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA DE 2,3 MW Y SU CONEXIÓN A LA RED DE MEDIA TENSIÓN		 UNIVERSIDAD DE VALLADOLID	
SITUACIÓN: Polígono 504 Parcela 49, La Saturnina, Calvarrasa de Arriba (Salamanca)		PROMOTOR:  ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES	
PLANO DE: SITUACIÓN		ESCALA: EV	
EL INGENIERO ELÉCTRICO: RUBÉN HERRERA GALIANO 		DIBUJADO: Rubén Herrera Galiano 03/04/2021	
		A3	
		Nº PLANO: 2	



"La Saturnina"
 Calvarrasa de Arriba
 P504 49
 Rústico (Uso Agrario)
 37070A504000490000AW

RETRANQUEOS
 -PARCELAS COLINDANTES: >10 m
 -EJE CAMINOS COLINDANTES: >15 m

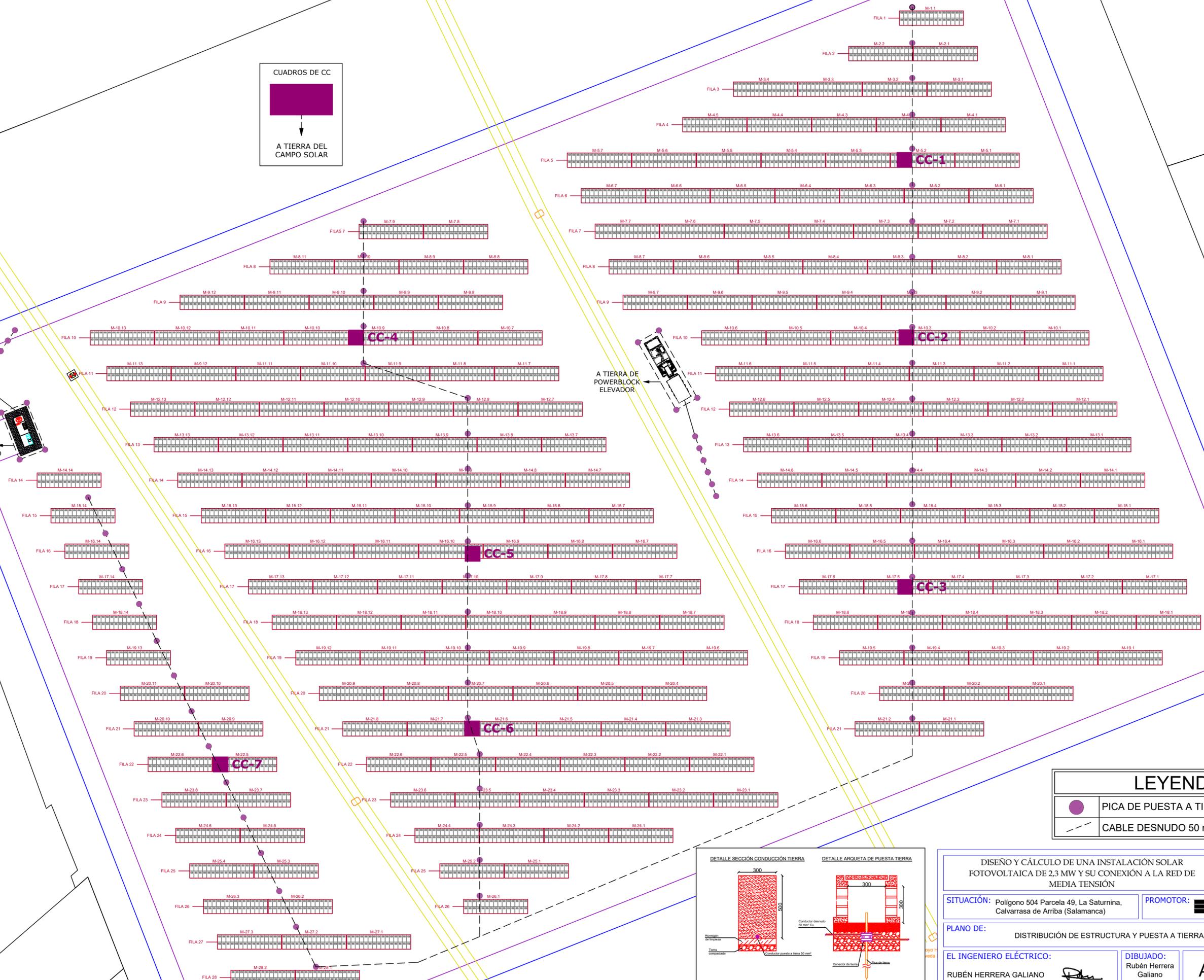
DISTRIBUCIÓN DE SUPERFICIES
 -SUPERFICIE PARCELA: 51.554 m²
 -SUPERFICIE OCUPADA INSTALACIÓN: 15.000 m²

DISEÑO Y CÁLCULO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA DE 2.3 MW Y SU CONEXIÓN A LA RED DE MEDIA TENSIÓN		UNIVERSIDAD DE VALLADOLID	
SITUACIÓN: Polígono 504 Parcela 49, La Saturnina, Calvarrasa de Arriba (Salamanca)		PROMOTOR: ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES	
PLANO DE: PARCELA CON ACOTACIONES A DOMINIO PÚBLICO		ESCALA: 1/500	
EL INGENIERO ELÉCTRICO: RUBÉN HERRERA GALIANO	DIBUJADO: Rubén Herrera Galiano 03/04/2021	A1	Nº PLANO: 3

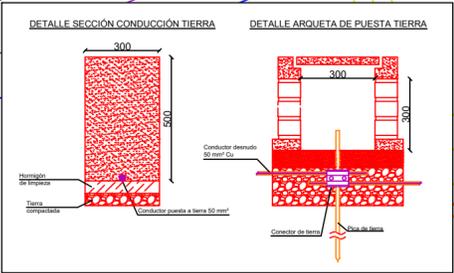


A TIERRA DE CENTRO DE SECCIONAMIENTO

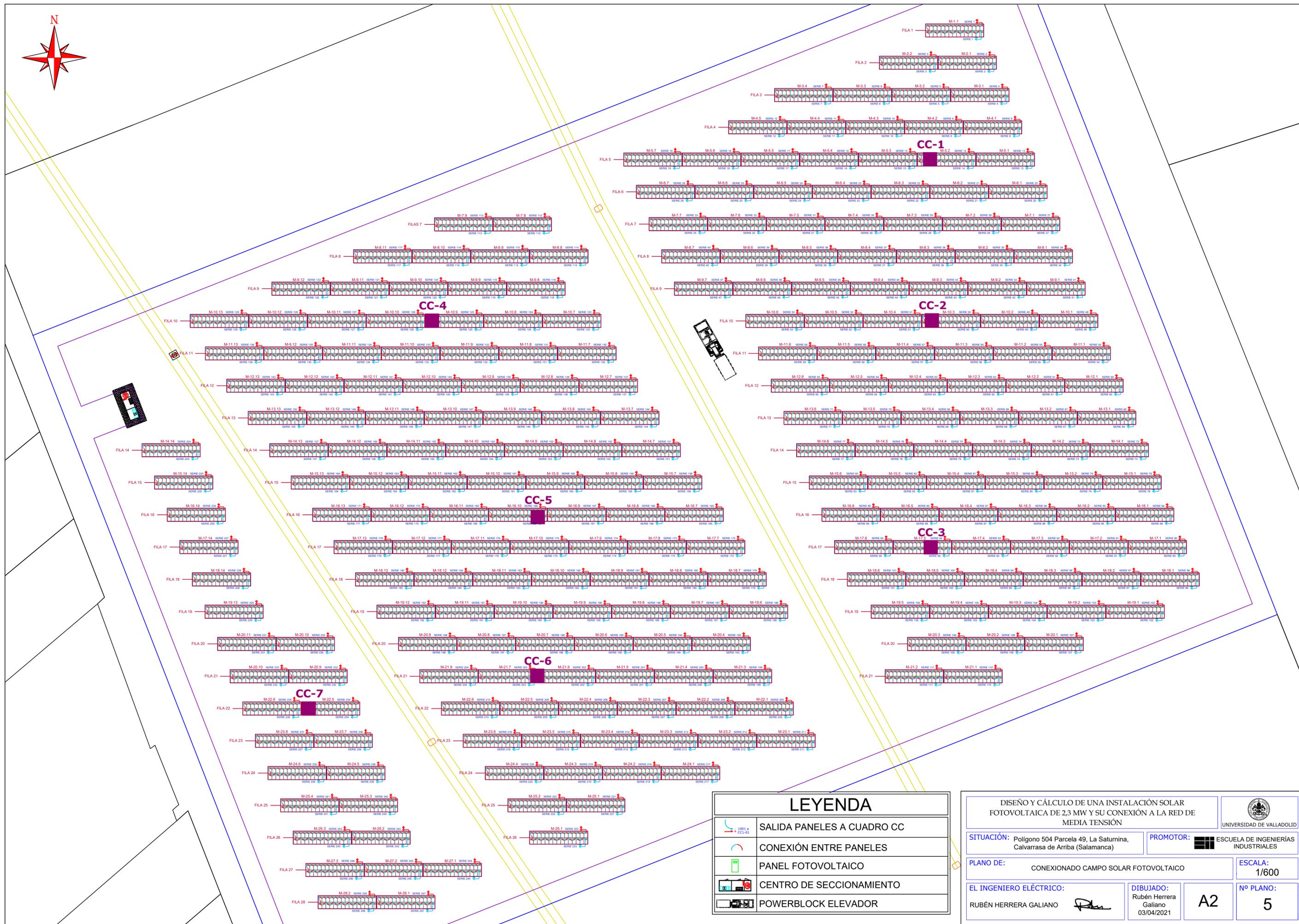
A TIERRA DE POWERBLOCK ELEVADOR



LEYENDA	
	PICA DE PUESTA A TIERRA
	CABLE DESNUDO 50 mm ² Cu

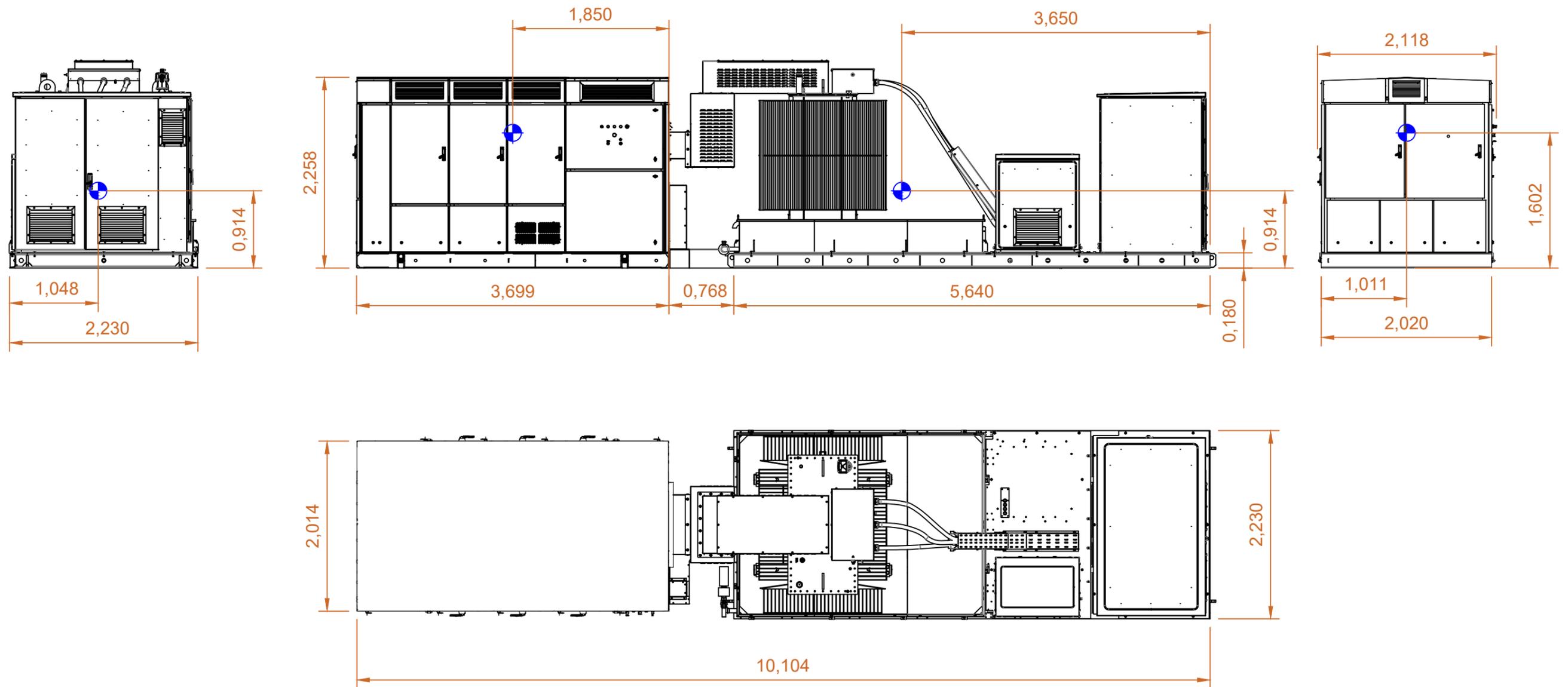


DISEÑO Y CÁLCULO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA DE 2.3 MW Y SU CONEXIÓN A LA RED DE MEDIA TENSIÓN		
SITUACIÓN: Polígono 504 Parcela 49, La Saturnina, Calvarrasa de Arriba (Salamanca)	PROMOTOR: ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES	
PLANO DE: DISTRIBUCIÓN DE ESTRUCTURA Y PUESTA A TIERRA	ESCALA: 1/600	
EL INGENIERO ELÉCTRICO: RUBÉN HERRERA GALIANO	DIBUJADO: Rubén Herrera Galiano 03/04/2021	Nº PLANO: 4



LEYENDA	
	SALIDA PANELES A CUADRO CC
	CONEXIÓN ENTRE PANELES
	PANEL FOTOVOLTAICO
	CENTRO DE SECCIONAMIENTO
	POWERBLOCK ELEVADOR

DISEÑO Y CÁLCULO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA DE 2,3 MW Y SU CONEXIÓN A LA RED DE MEDIA TENSIÓN			
SITUACIÓN: Polígono 504 Parcela 49, La Saturnina, Calvarrasa de Arriba (Salamanca)		PROMOTOR: ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES	
PLANO DE: CONEXIONADO CAMPO SOLAR FOTOVOLTAICO		ESCALA: 1/600	
EL INGENIERO ELÉCTRICO: RUBÉN HERRERA GALIANO		DIBUJADO: Rubén Herrera Galiano 03/04/2021	
A2		Nº PLANO: 5	



DISEÑO Y CÁLCULO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA DE 2,3 MW Y SU CONEXIÓN A LA RED DE MEDIA TENSIÓN



UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

SITUACIÓN: Polígono 504 Parcela 49, La Saturnina, Calvarrasa de Arriba (Salamanca)

PROMOTOR: ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES

PLANO DE: DETALLE POWERBLOCK

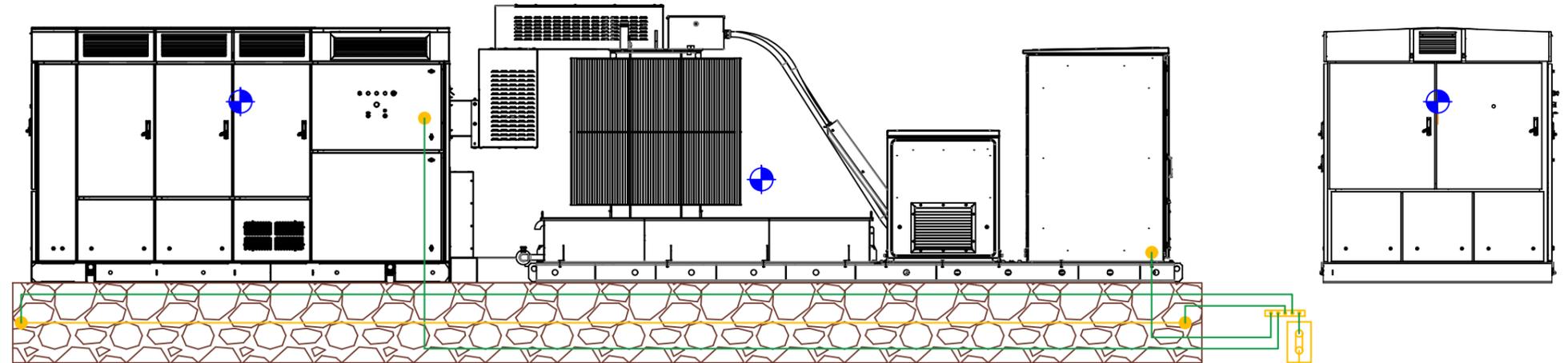
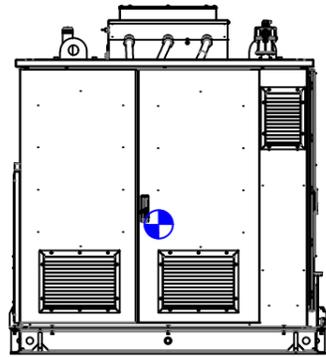
ESCALA: 1/50

EL INGENIERO ELÉCTRICO:
RUBÉN HERRERA GALIANO

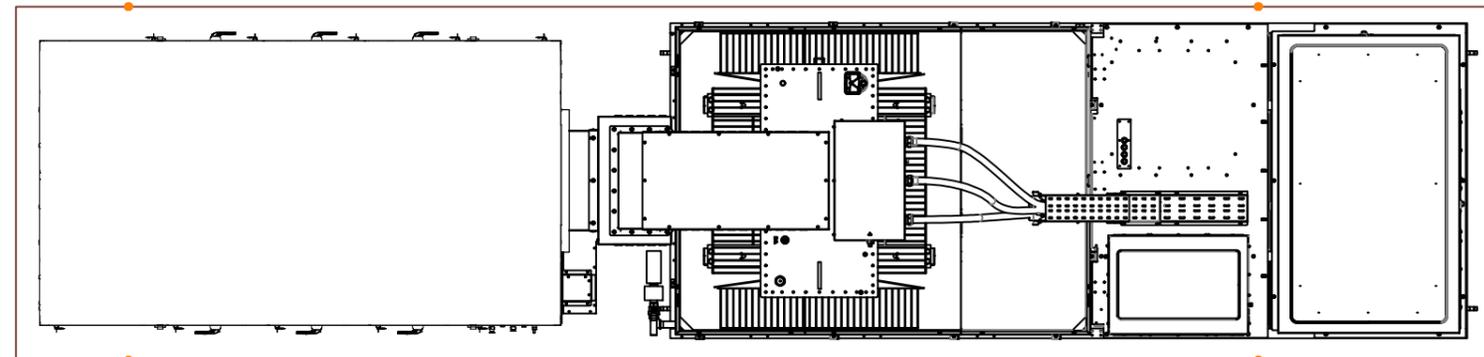
DIBUJADO:
Rubén Herrera Galiano
03/04/2021

A3

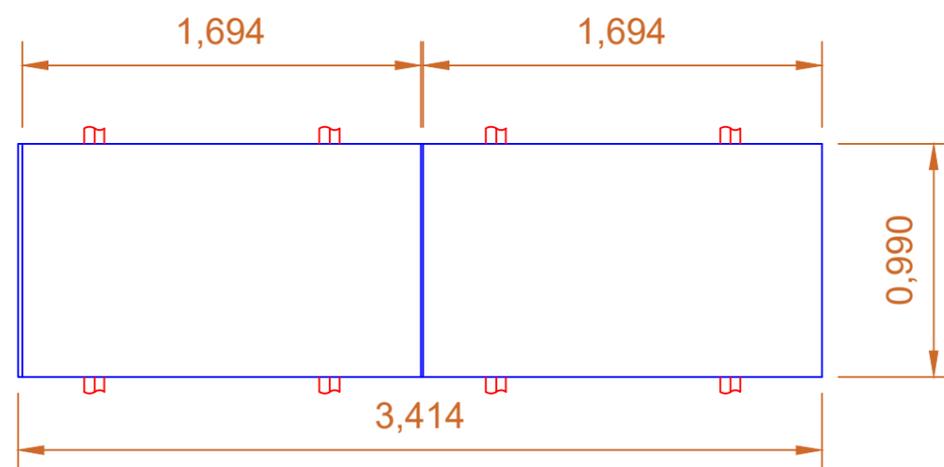
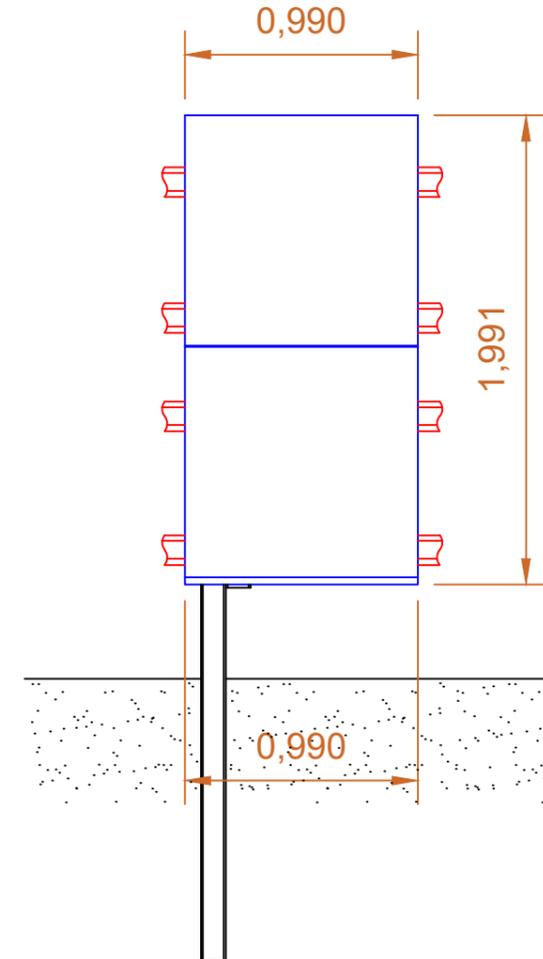
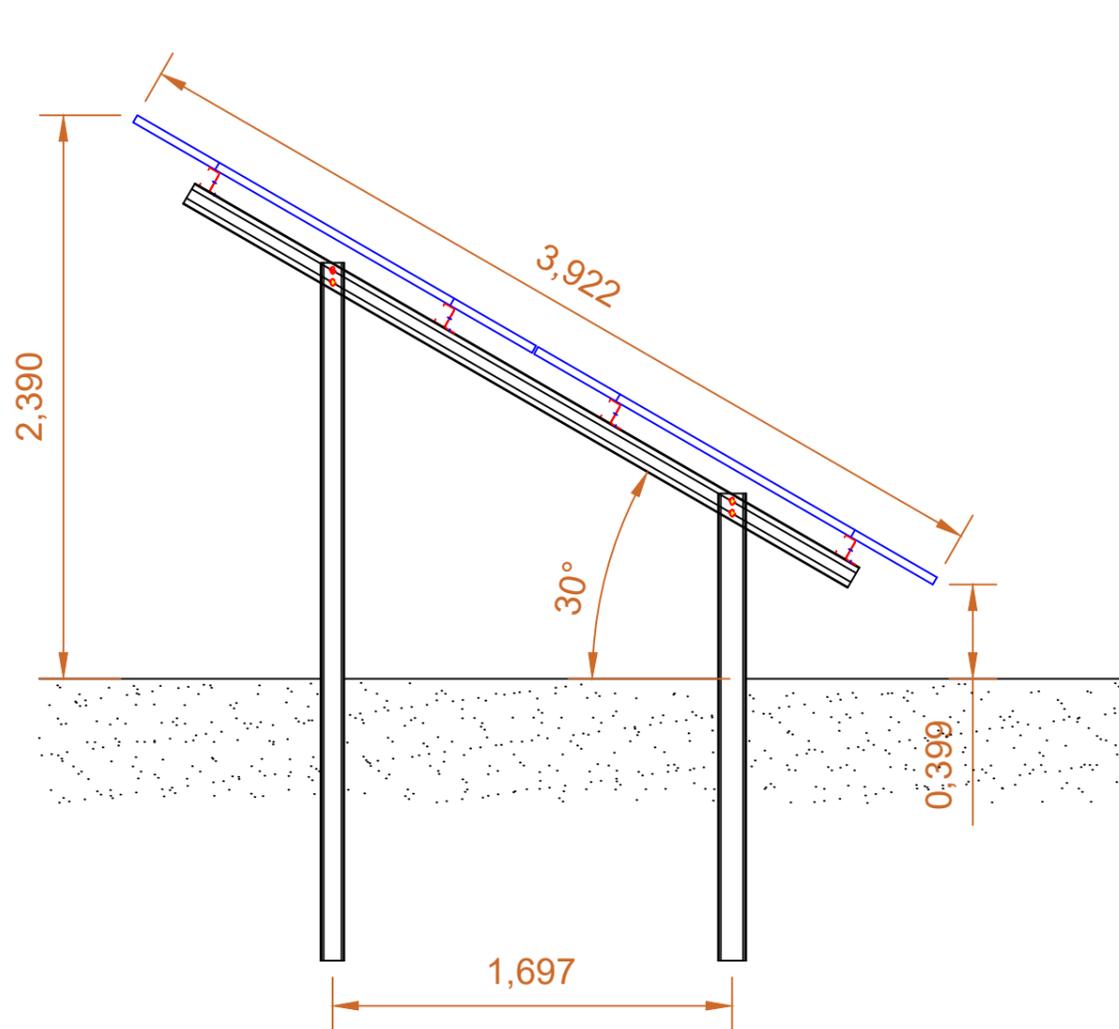
Nº PLANO:
6



4 Picas de acero cobrizado de 2 m de longitud enterradas a una profundidad de 0.50 m formando un rectángulo de 8x2,5 m: 80-25/5/42



<p>DISEÑO Y CÁLCULO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA DE 2,3 MW Y SU CONEXIÓN A LA RED DE MEDIA TENSIÓN</p>		<p>UNIVERSIDAD DE VALLADOLID</p>
<p>SITUACIÓN: Polígono 504 Parcela 49, La Saturnina, Calvarrasa de Arriba (Salamanca)</p>	<p>PROMOTOR: ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES</p>	
<p>PLANO DE: DETALLE PaT POWERBLOCK</p>	<p>ESCALA: 1/50</p>	
<p>EL INGENIERO ELÉCTRICO: RUBÉN HERRERA GALIANO </p>	<p>DIBUJADO: Rubén Herrera Galiano 03/04/2021</p>	<p>Nº PLANO: 7</p>



DISEÑO Y CÁLCULO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR FOTVOLTAICA DE 2,3 MW Y SU CONEXIÓN A LA RED DE MEDIA TENSIÓN



SITUACIÓN: Polígono 504 Parcela 49, La Saturnina, Calvarrasa de Arriba (Salamanca)

PROMOTOR: ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES

PLANO DE: DETALLE DIMENSIONES PANEL FOTVOLTAICO

ESCALA: 1/30

EL INGENIERO ELÉCTRICO:

RUBÉN HERRERA GALIANO

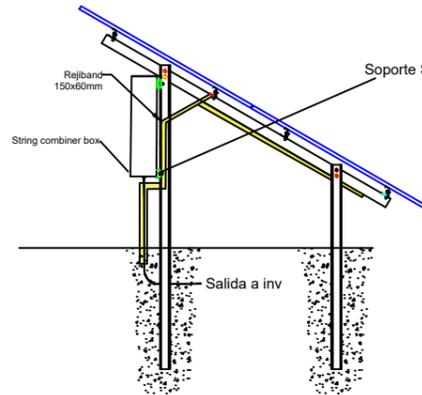
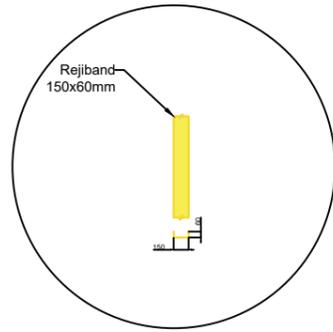
DIBUJADO:

Rubén Herrera Galiano
03/04/2021

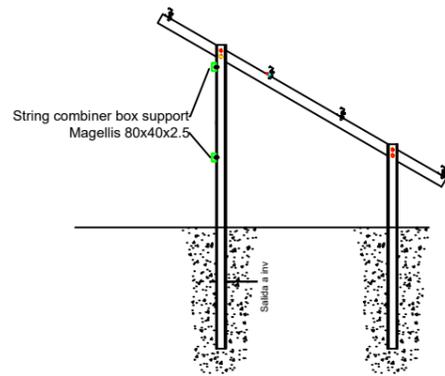
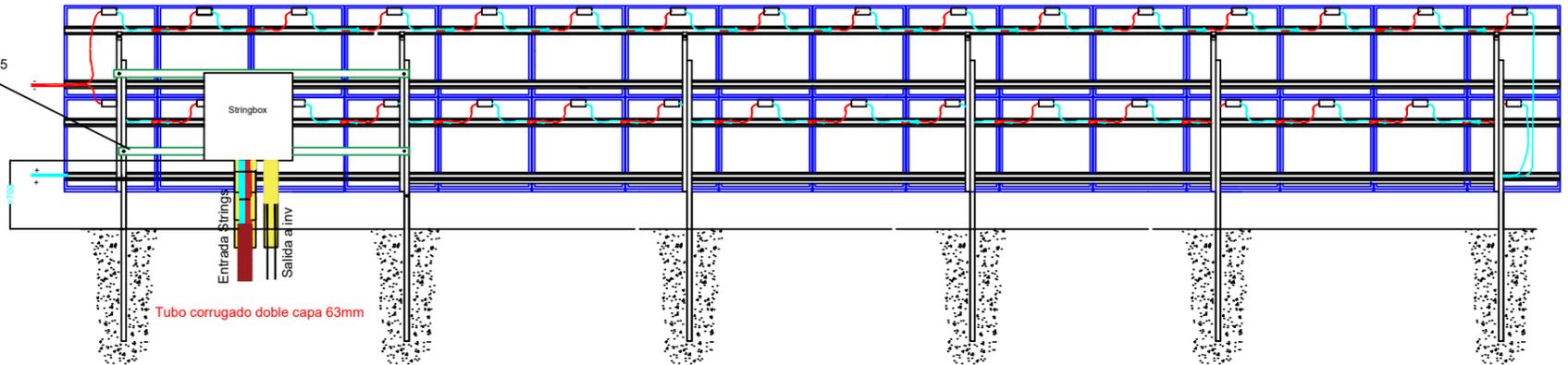
A3

Nº PLANO:

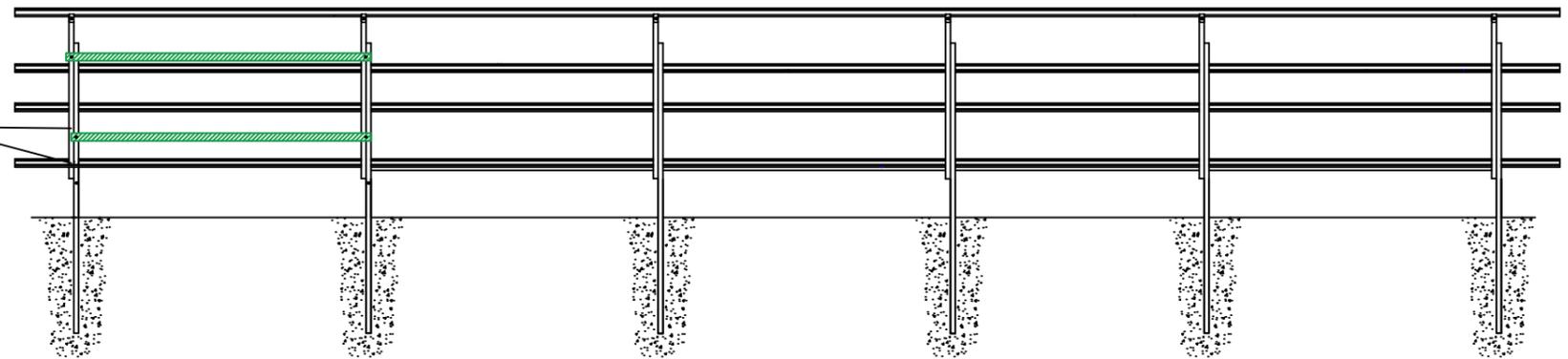
8



Soporte Stringbox Acero Galvanizado Magnellis 80*40*2.5



String combiner box support
Magellis 80x40x2.5



DISEÑO Y CÁLCULO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA DE 2,3 MW Y SU CONEXIÓN A LA RED DE MEDIA TENSIÓN



UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

SITUACIÓN: Polígono 504 Parcela 49, La Saturnina, Calvarrasa de Arriba (Salamanca)

PROMOTOR: ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES

PLANO DE: DETALLE CONEXIONADO STRINGS

ESCALA: 1/70

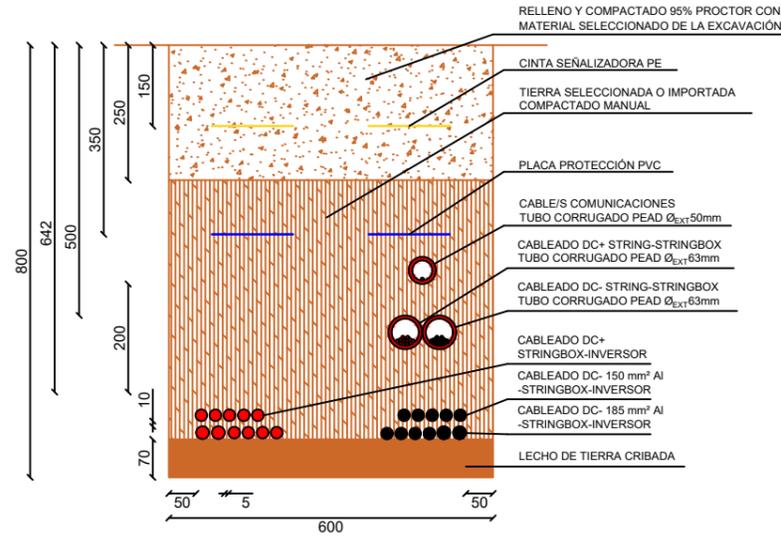
EL INGENIERO ELÉCTRICO:
RUBÉN HERRERA GALIANO

DIBUJADO:
Rubén Herrera Galiano
03/04/2021

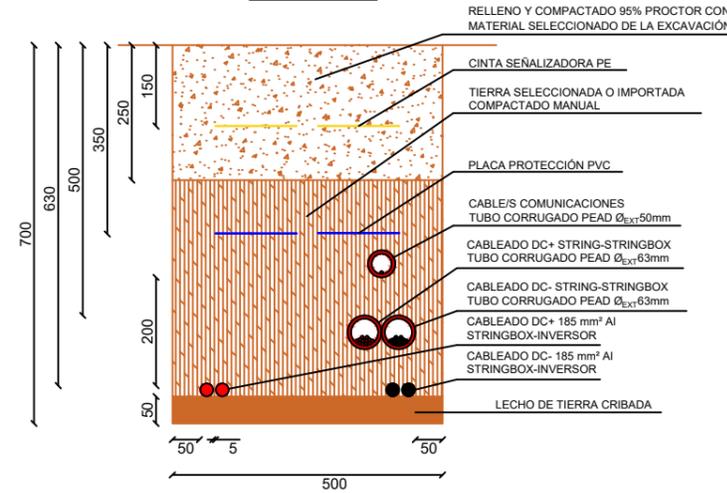
A3

Nº PLANO:
9

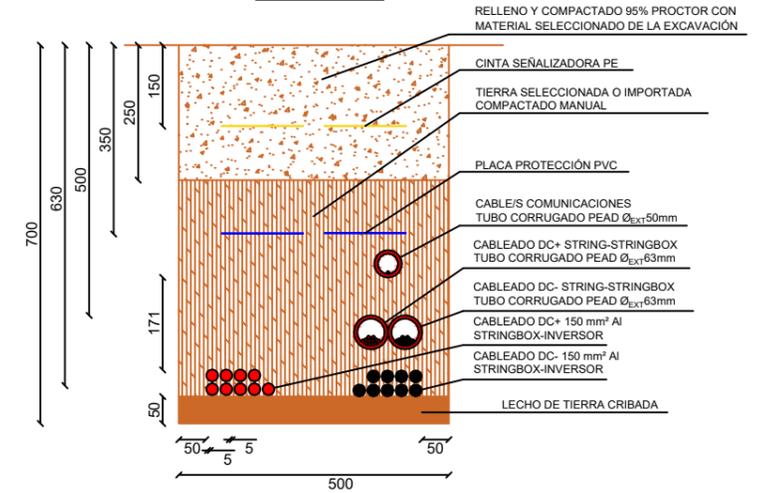
ZANJA TIPO 1



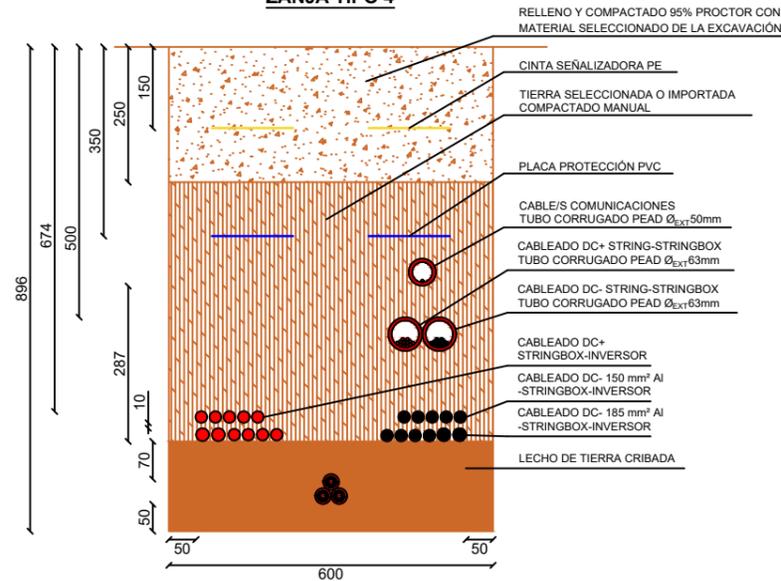
ZANJA TIPO 2



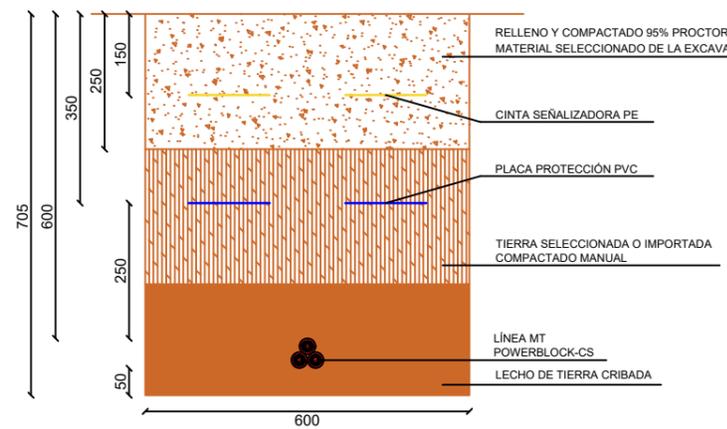
ZANJA TIPO 3



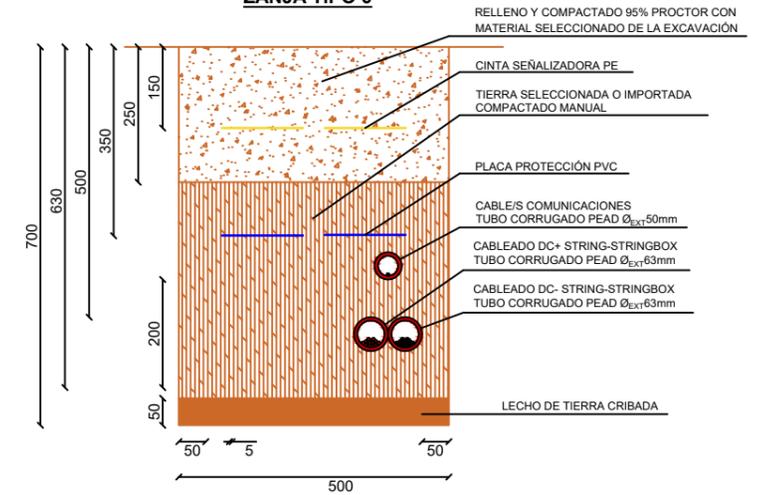
ZANJA TIPO 4



ZANJA TIPO 5



ZANJA TIPO 6



Nota:

Los tipos de perfil de zanja representan cada una de ellas con su máxima ocupación. Pueden existir tramos de sus respectivos recorridos con menor ocupación.

DISEÑO Y CÁLCULO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA DE 2,3 MW Y SU CONEXIÓN A LA RED DE MEDIA TENSIÓN



SITUACIÓN: Polígono 504 Parcela 49, La Saturnina, Calvarrasa de Arriba (Salamanca)

PROMOTOR: ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES

PLANO DE: DETALLE TIPOS DE ZANJAS

ESCALA: SE

EL INGENIERO ELÉCTRICO:

RUBÉN HERRERA GALIANO

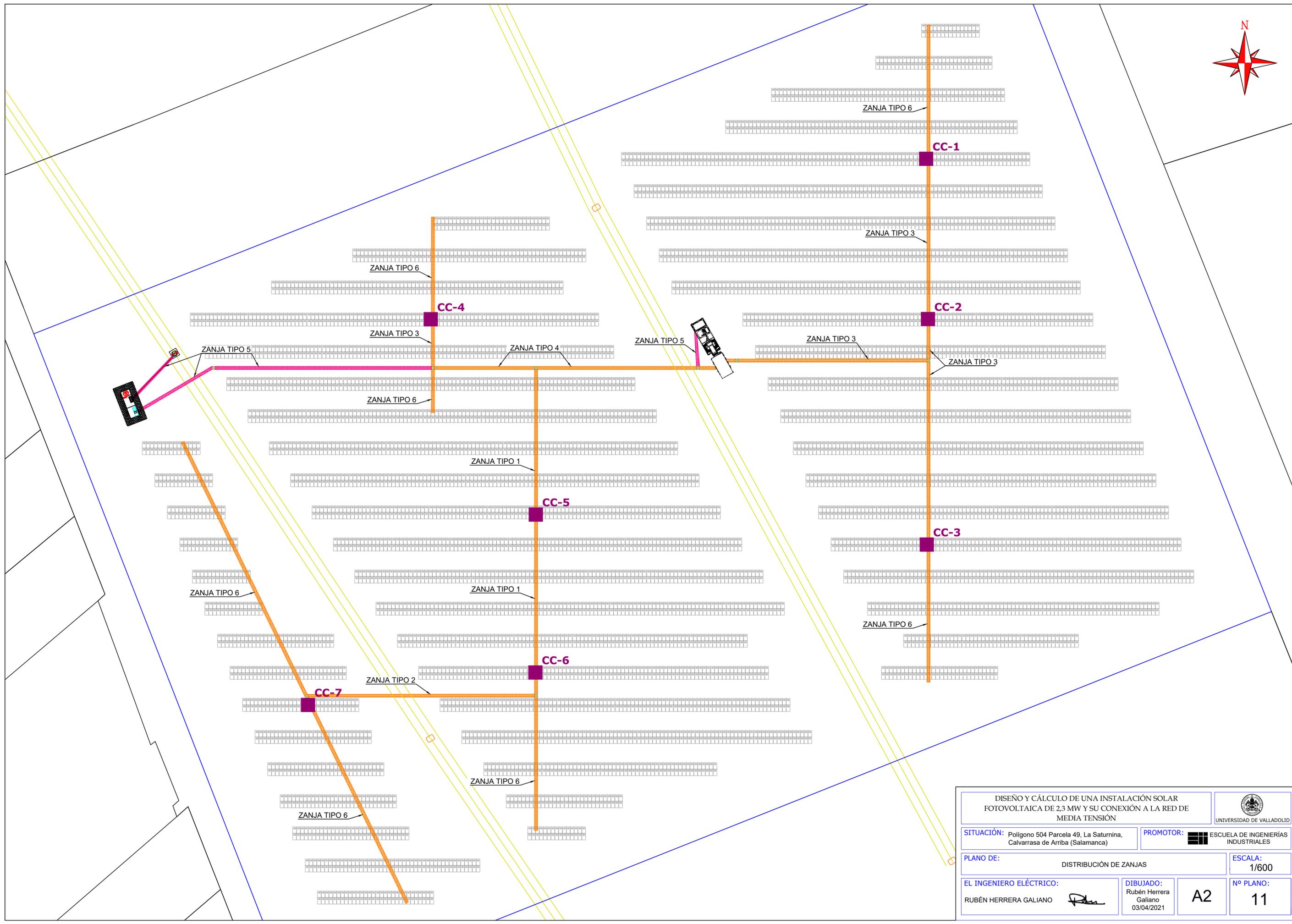
DIBUJADO:

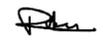
Rubén Herrera Galiano
03/04/2021

A3

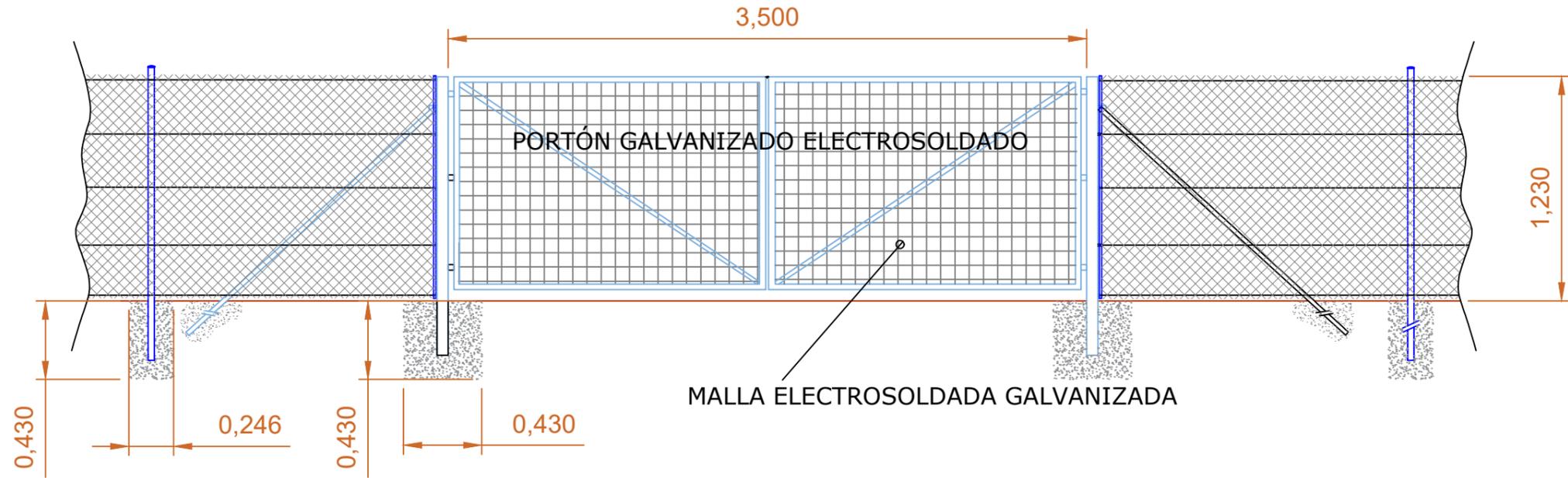
Nº PLANO:

10

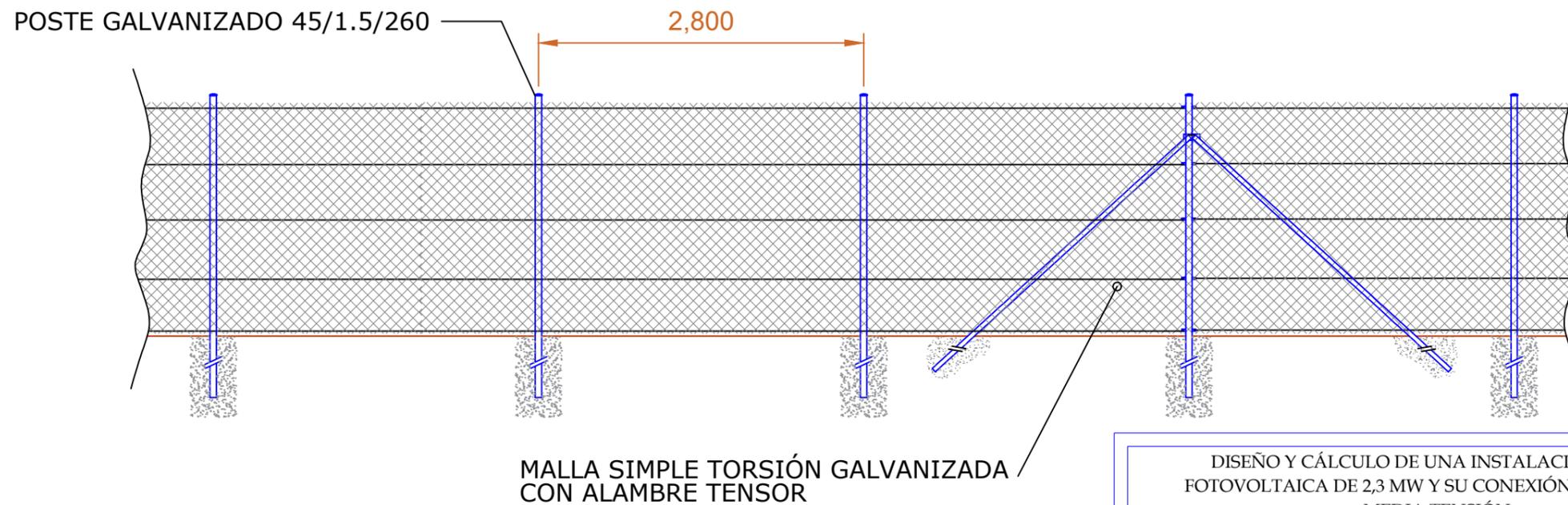


DISEÑO Y CÁLCULO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA DE 2.3 MW Y SU CONEXIÓN A LA RED DE MEDIA TENSIÓN		 UNIVERSIDAD DE VALLADOLID	
SITUACIÓN: Polígono 504 Parcela 49, La Saturnina, Calvarrasa de Arriba (Salamanca)	PROMOTOR:  ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES	ESCALA: 1/600	
PLANO DE: DISTRIBUCIÓN DE ZANJAS	Nº PLANO: 11		
EL INGENIERO ELÉCTRICO: RUBÉN HERRERA GALIANO 	DIBUJADO: Rubén Herrera Galiano 03/04/2021	A2	11

DETALLE PORTÓN DE ACCESO



DETALLE VALLADO



DISEÑO Y CÁLCULO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA DE 2,3 MW Y SU CONEXIÓN A LA RED DE MEDIA TENSIÓN



UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

SITUACIÓN: Polígono 504 Parcela 49, La Saturnina, Calvarrasa de Arriba (Salamanca)

PROMOTOR: ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES

PLANO DE: DETALLE VALLADO DE LA PARCELA

ESCALA: 1/30

EL INGENIERO ELÉCTRICO:

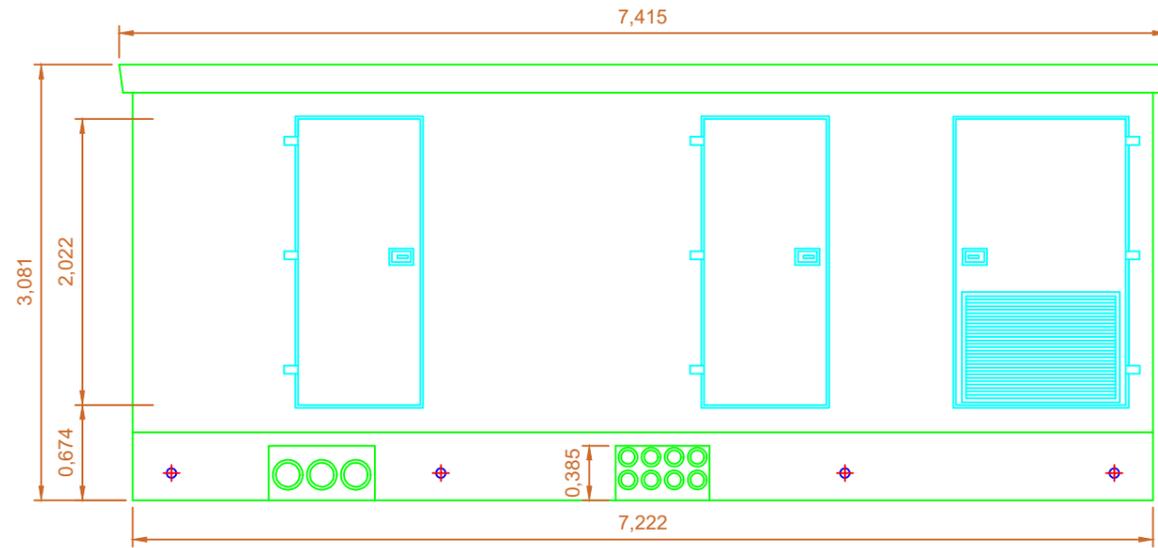
RUBÉN HERRERA GALIANO

DIBUJADO: Rubén Herrera Galiano 03/04/2021

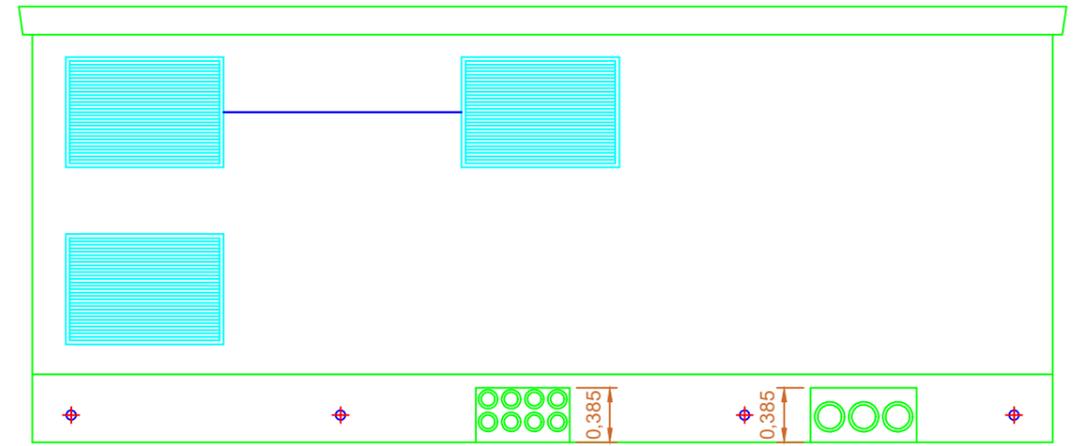
A3

Nº PLANO:

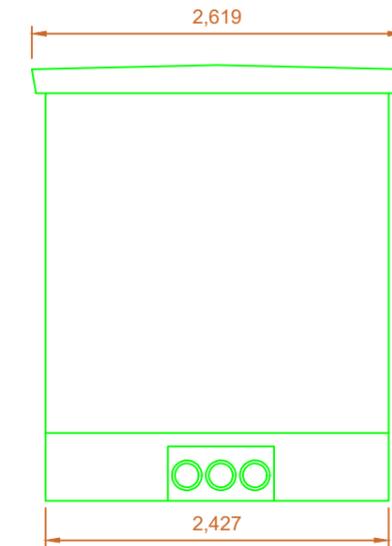
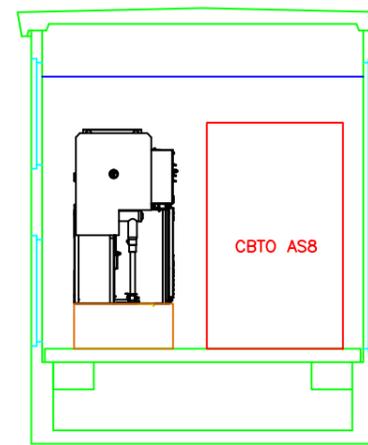
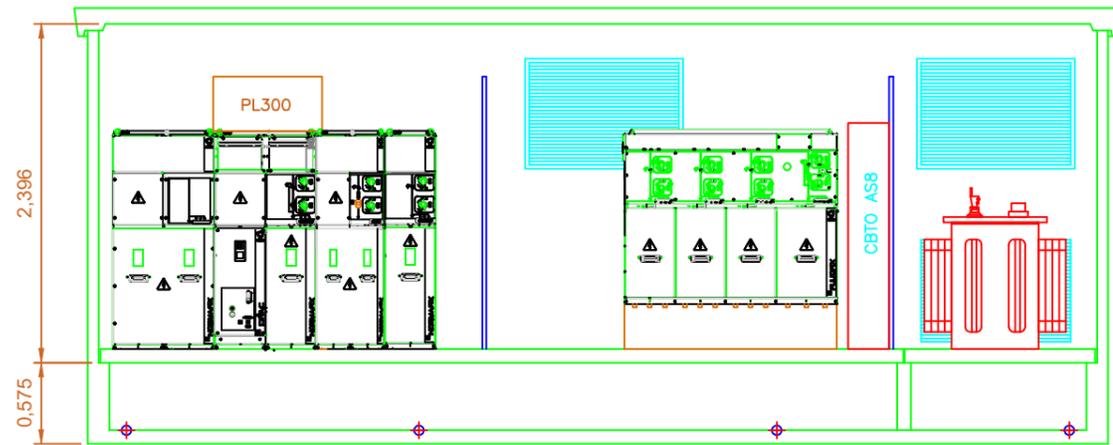
12



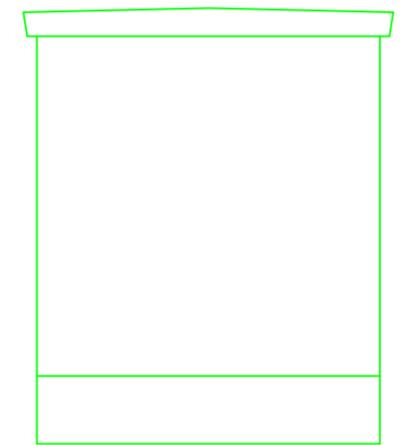
ALZADO PRINCIPAL



ALZADO POSTERIOR

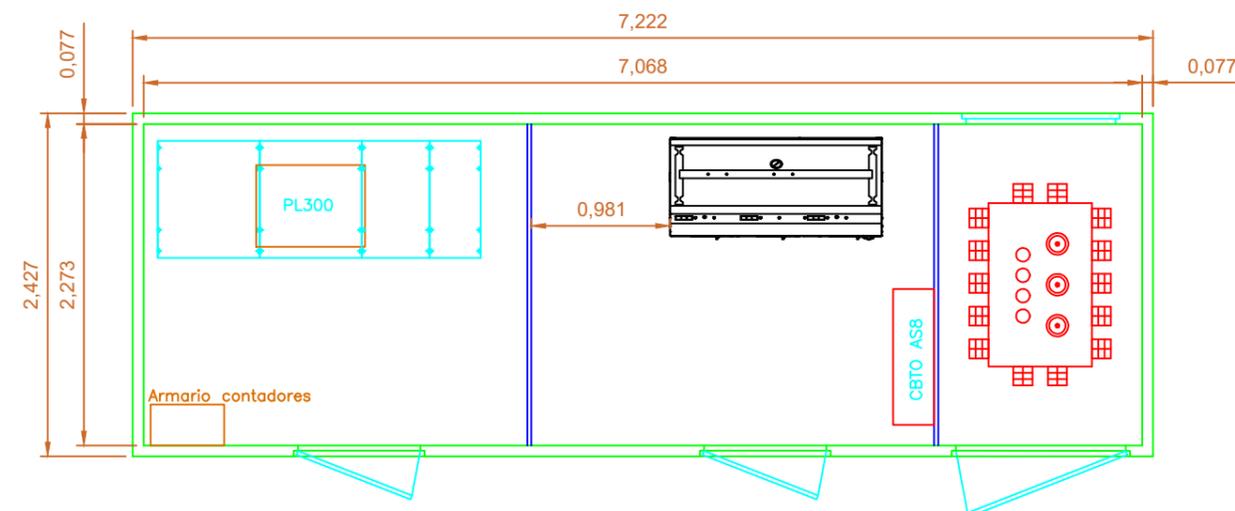


PERFIL IZQUIERDO



PERFIL DERECHO

CEMENTO: II/AV-52,5-R
 RECINTO: RAL 1015
 TECHO: RAL 1015
 DENOMINACION: PUCBET 7BA1T



DISEÑO Y CÁLCULO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR FOTVOLTAICA DE 2,3 MW Y SU CONEXIÓN A LA RED DE MEDIA TENSIÓN



SITUACIÓN: Polígono 504 Parcela 49, La Saturnina, Calvarrasa de Arriba (Salamanca)

PROMOTOR: ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES

PLANO DE: DETALLE CENTRO DE SECCIONAMIENTO

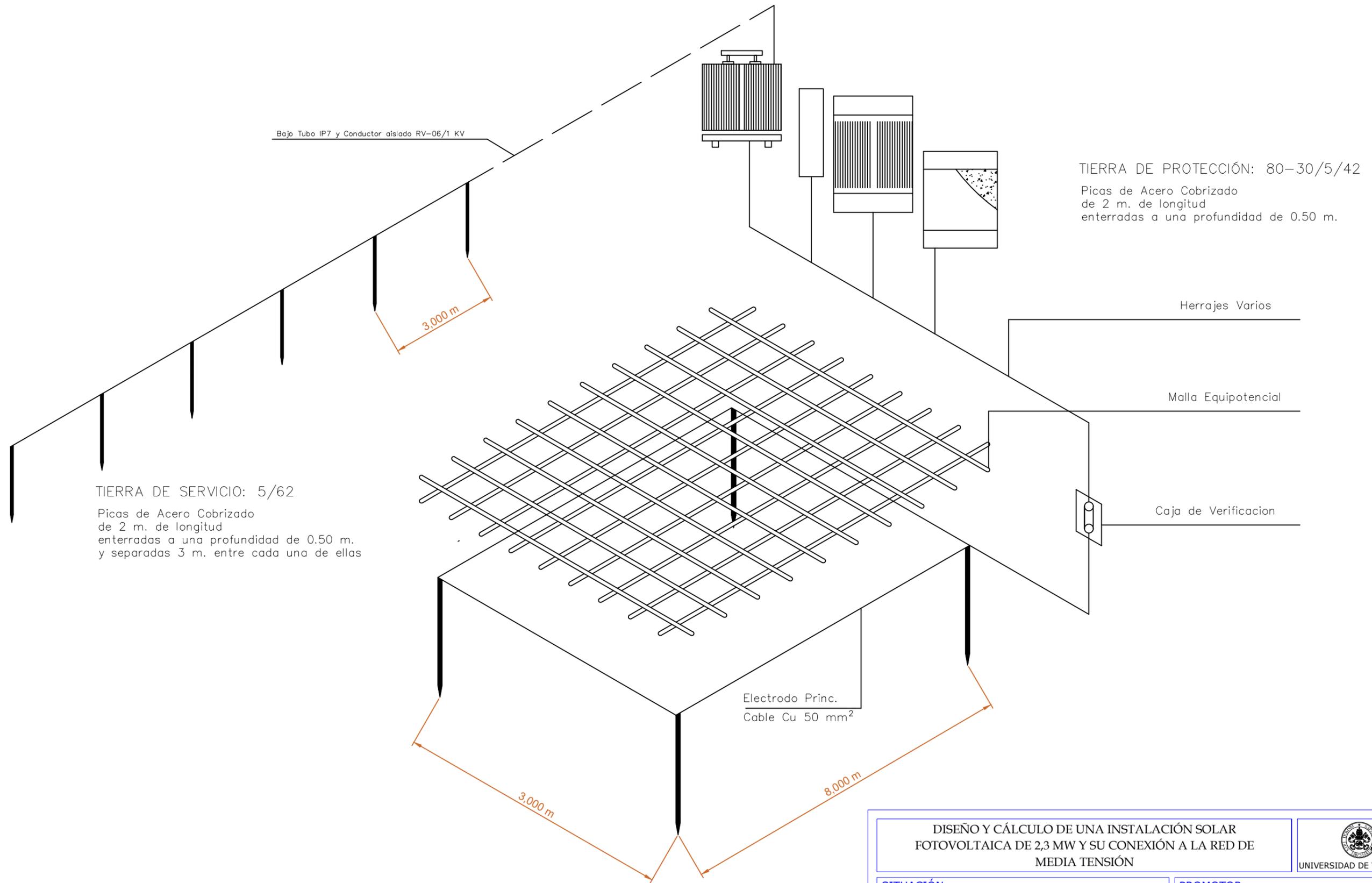
ESCALA: 1/50

EL INGENIERO ELÉCTRICO: RUBÉN HERRERA GALIANO

DIBUJADO: Rubén Herrera Galiano 03/04/2021

A3

Nº PLANO: 13



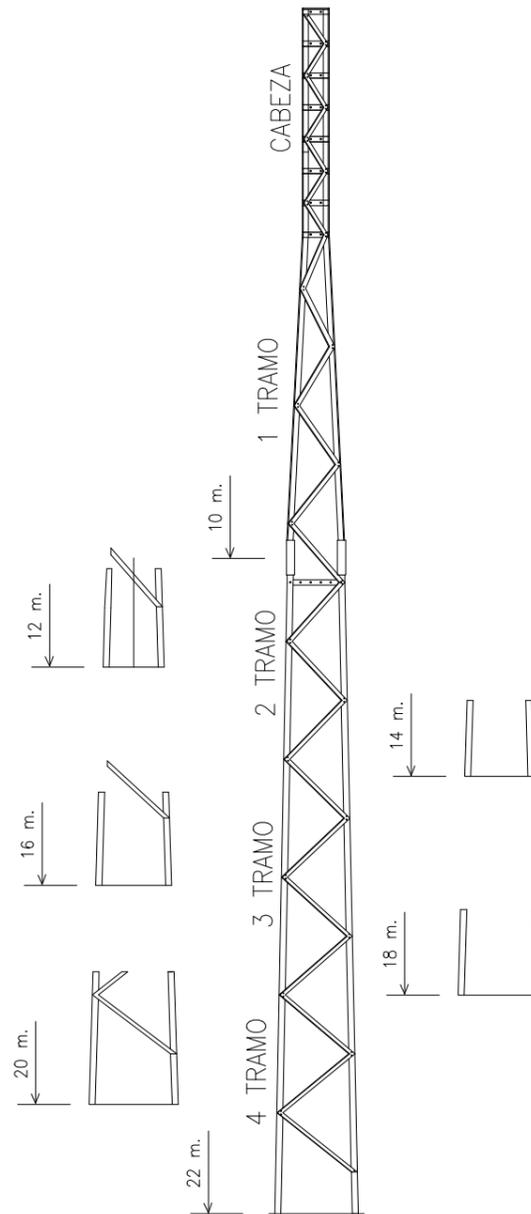
DISEÑO Y CÁLCULO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA DE 2,3 MW Y SU CONEXIÓN A LA RED DE MEDIA TENSIÓN		 UNIVERSIDAD DE VALLADOLID
SITUACIÓN: Polígono 504 Parcela 49, La Saturnina, Calvarrasa de Arriba (Salamanca)	PROMOTOR:  ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES	
PLANO DE: DETALLE PaT DEL CENTRO DE SECCIONAMIENTO	ESCALA: SE	
EL INGENIERO ELÉCTRICO: RUBÉN HERRERA GALIANO 	DIBUJADO: Rubén Herrera Galiano 03/04/2021	Nº PLANO: A3 14

PESOS

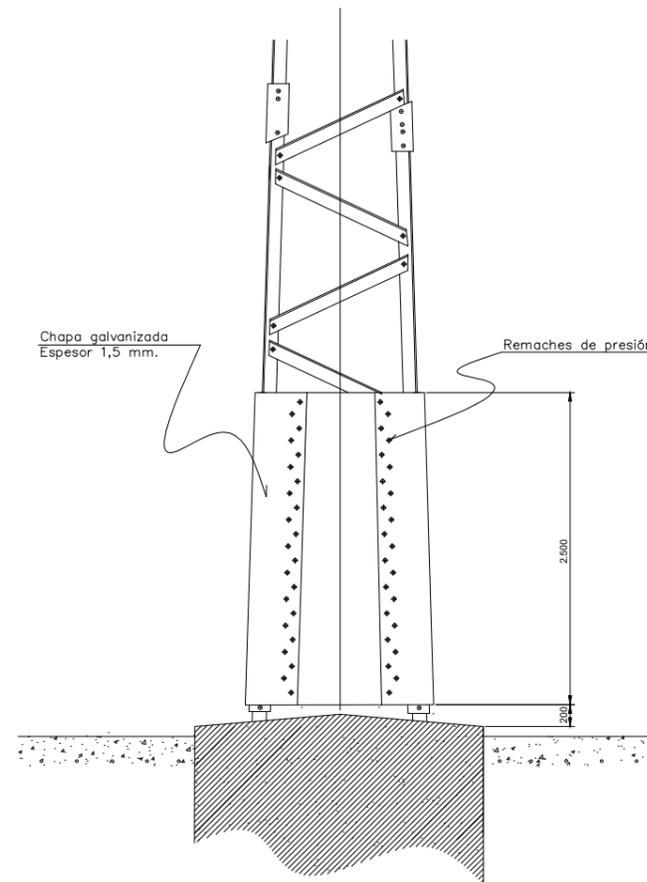
TIPO	ALTURAS TOTALES (HT)						
	10	12	14	16	18	20	22
C-500	292	349	426	493	562	655	740
C-1000	346	434	516	612	700	830	945
C-2000	441	572	687	795	963	1.112	1.233
C-3000	559	701	824	986	1.133	1.301	1.454
C-4500	688	869	1.062	1.254	1.428	1.649	1.876

ESFUERZOS

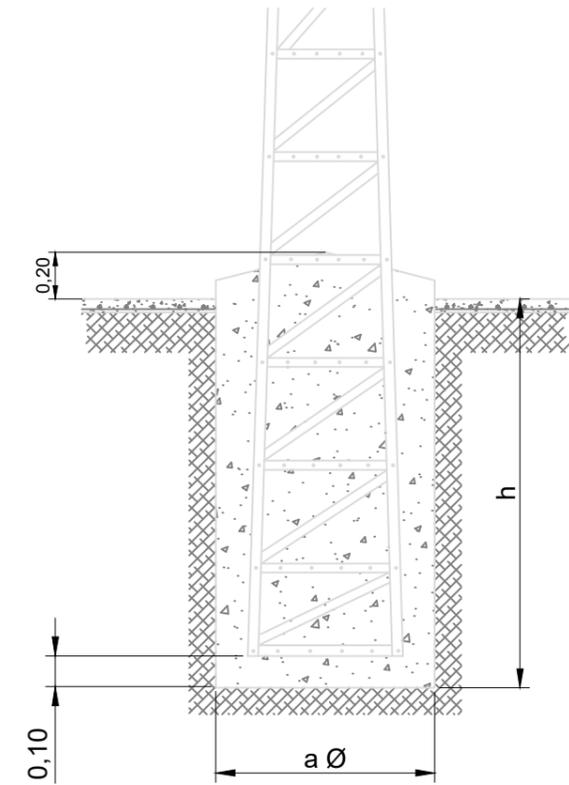
TIPO	C-500	C-1000	C-2000	C-3000	C-4500
Esfuerzo útil (CS-1,5)	510	1.020	2.039	3.058	4.587
Torsión (CS-1,5)	510	714	1.427	1.427	1.427
Desequilibrio (CS-1,5)	635	1.160	2.190	3.210	4.745
Esfuerzo Vertic. Simultáneo	612	612	612	816	816



APOYO



ANTI ESCALO



CIMENTACION

CIMENTACION	Dimensiones (m)		Volumen m ³
	a	h	
C-2000-12E	0,99	2,12	2,07

CIMENTACION	Dimensiones (m)		Volumen m ³
	a	h	
C-3000-14E	1,06	2,41	2,72

DISEÑO Y CÁLCULO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA DE 2,3 MW Y SU CONEXIÓN A LA RED DE MEDIA TENSIÓN



SITUACIÓN: Polígono 504 Parcela 49, La Saturnina, Calvarrasa de Arriba (Salamanca)

PROMOTOR: ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES

PLANO DE: APOYO METÁLICO SERIE C, CIMENTACIÓN Y ANTIESCALO

ESCALA: SE

EL INGENIERO ELÉCTRICO:

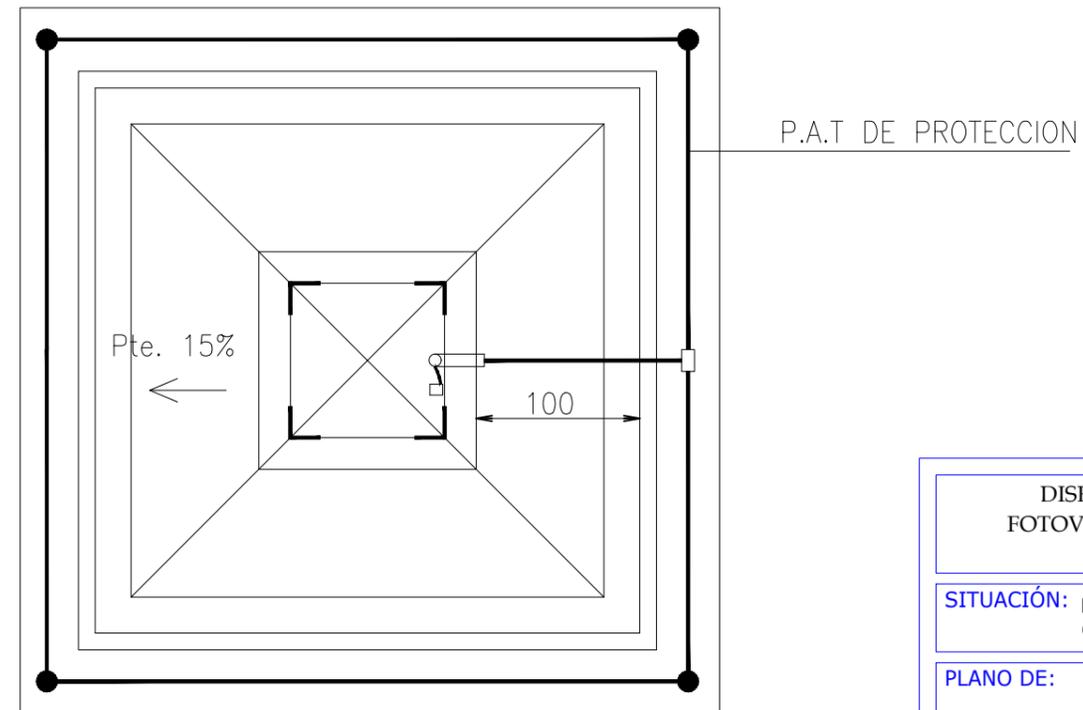
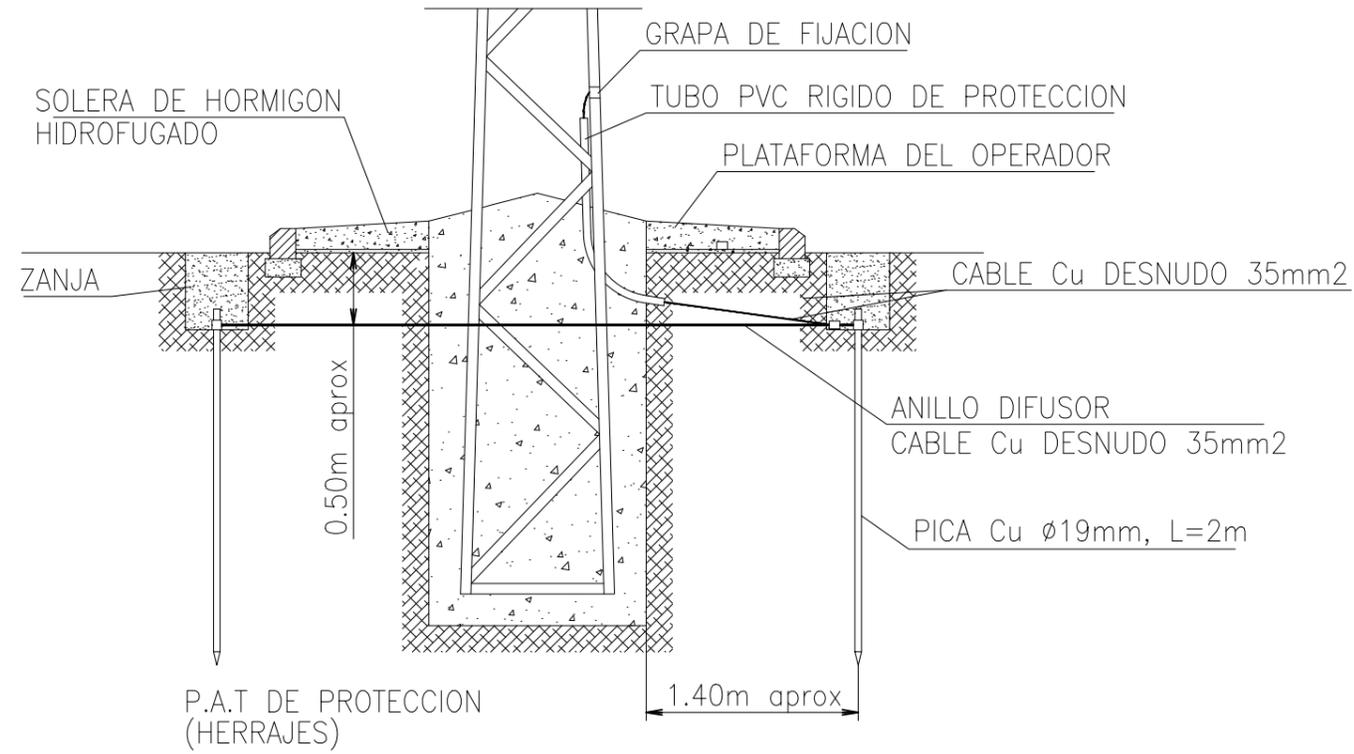
RUBÉN HERRERA GALIANO

DIBUJADO: Rubén Herrera Galiano 03/04/2021

A3

Nº PLANO:

15



DISEÑO Y CÁLCULO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR FOTVOLTAICA DE 2,3 MW Y SU CONEXIÓN A LA RED DE MEDIA TENSIÓN



SITUACIÓN: Polígono 504 Parcela 49, La Saturnina, Calvarrasa de Arriba (Salamanca)

PROMOTOR: ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES

PLANO DE: DETALLE PaT DEL NUEVO APOYO

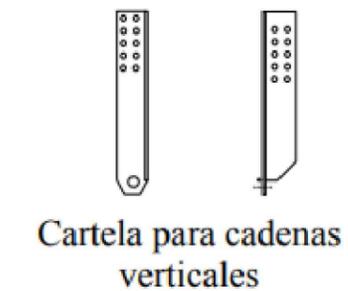
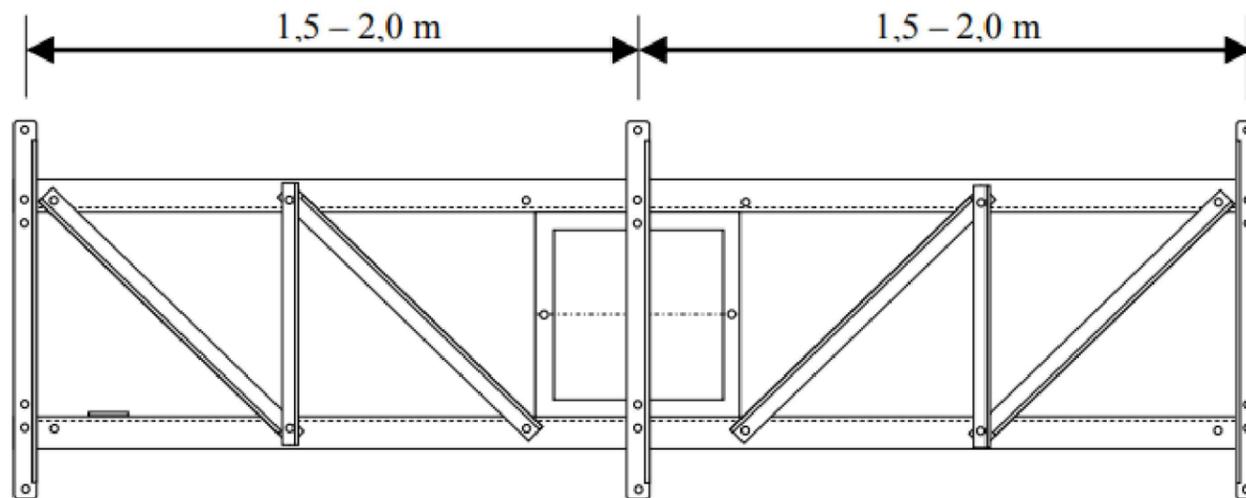
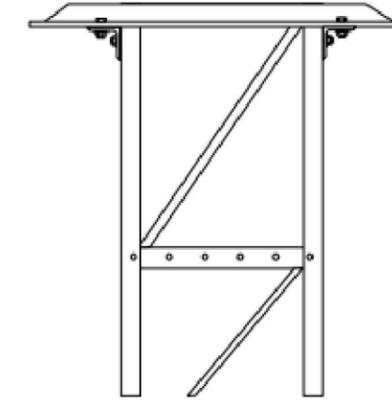
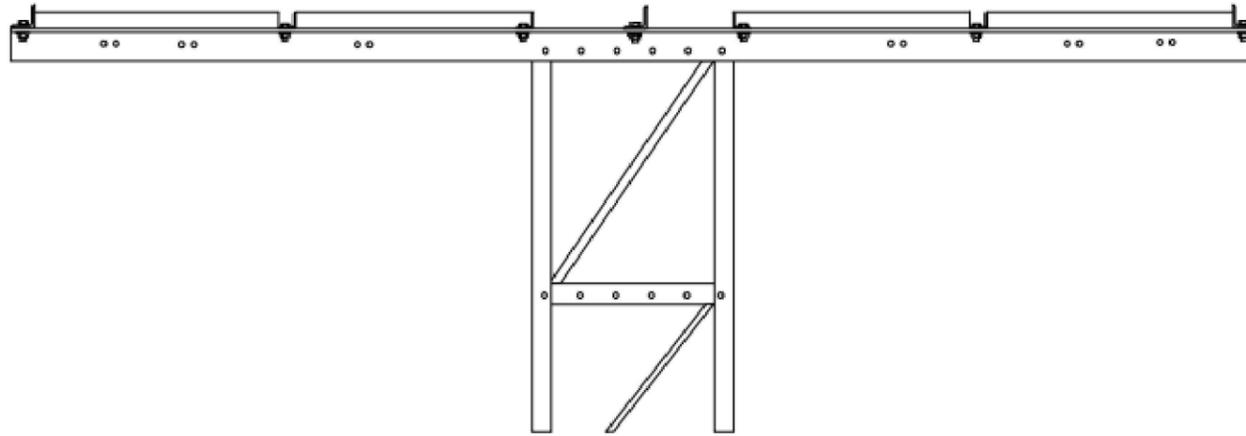
ESCALA: SE

EL INGENIERO ELÉCTRICO:
RUBÉN HERRERA GALIANO

DIBUJADO:
Rubén Herrera Galiano
03/04/2021

A3

Nº PLANO:
16



Crucetas rectas para apoyos de perfiles metálicos – Cargas

Designación	Casos de carga	Carga de trabajo más sobrecarga daN			Coeficiente de Seguridad	Carga límite especificada			Duración s
		V	L	F		Carga de ensayo daN			
						V	L	F	
RC1-10-S a RC1-20-S	A	450	--	1500	1,50	675		2250	60
	B	450	1500	--		675	2250		
RC2-10-S a RC2-20-S	A	650	--	1500		975		2250	
	B	650	1500	--		975	2250		

DISEÑO Y CÁLCULO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA DE 2,3 MW Y SU CONEXIÓN A LA RED DE MEDIA TENSIÓN



SITUACIÓN: Polígono 504 Parcela 49, La Saturnina, Calvarrasa de Arriba (Salamanca)

PROMOTOR: ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES

PLANO DE: DETALLE CRUCETAS

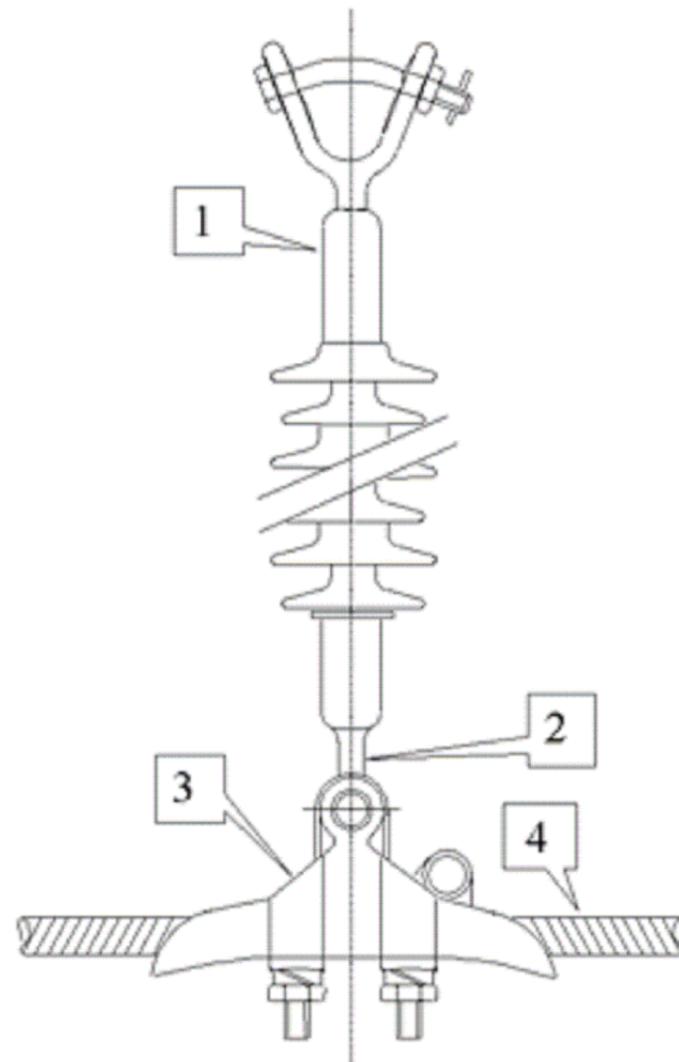
ESCALA: SE

EL INGENIERO ELÉCTRICO:
RUBÉN HERRERA GALIANO

DIBUJADO:
Rubén Herrera Galiano
03/04/2021

A3

Nº PLANO:
17

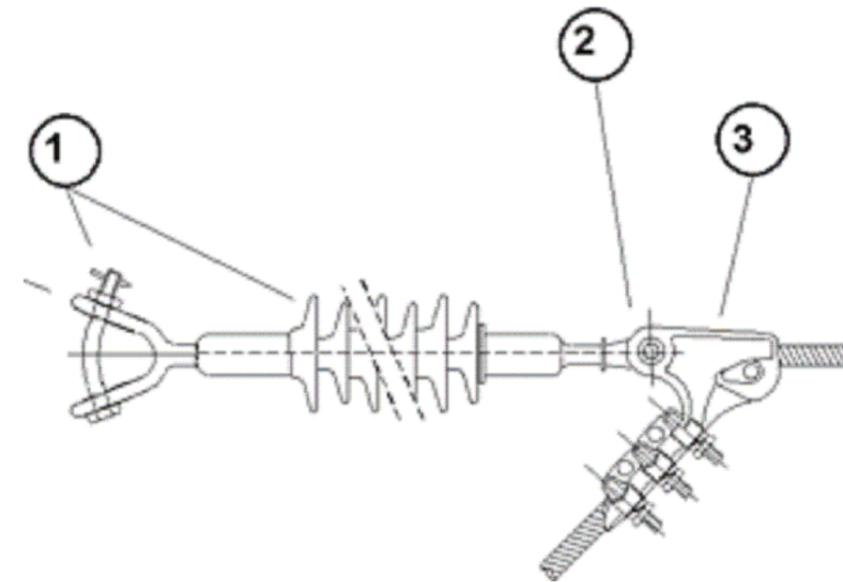


Suspension normal

MARCA	DENOMINACION
1	Aislador composite U70 YB 20
2	Alojamiento de rotula R16/17
3	Grapa de suspension GS-1

Suspension reforzada

MARCA	DENOMINACION
1	Grapa de suspension GS-2
2	Varillas de proteccion VPP-56



Amarre

MARCA	DENOMINACION
1	Aislador composite U70 YB 20
2	Alojamiento de rotula protec. R16/17
3	Grapa de amarre GA-1

DISEÑO Y CÁLCULO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA DE 2,3 MW Y SU CONEXIÓN A LA RED DE MEDIA TENSIÓN



UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

SITUACIÓN: Polígono 504 Parcela 49, La Saturnina, Calvarrasa de Arriba (Salamanca)

PROMOTOR: ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES

PLANO DE: DETALLE CADENA DE AMARRE

ESCALA: SE

EL INGENIERO ELÉCTRICO:

RUBÉN HERRERA GALIANO

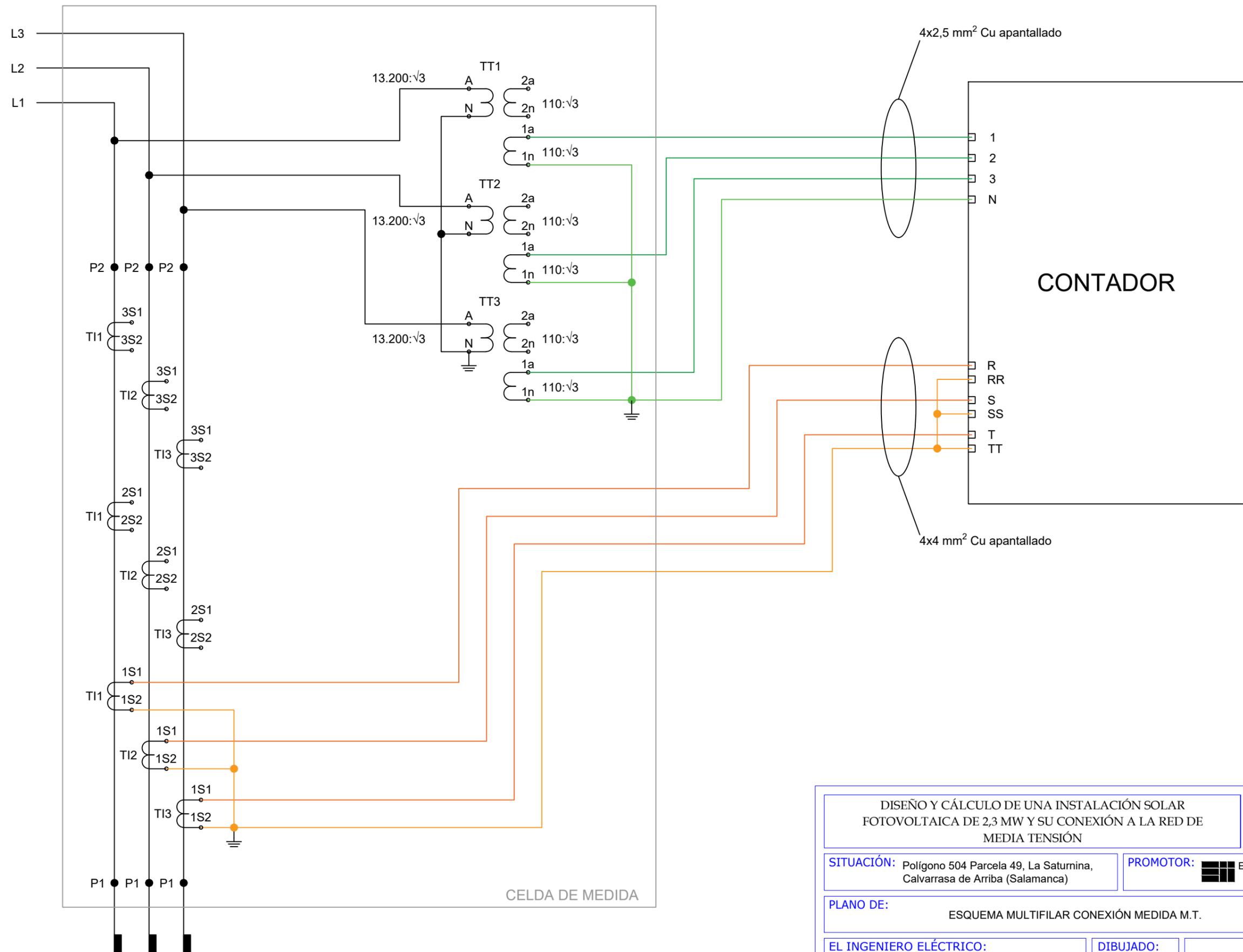
DIBUJADO:

Rubén Herrera Galiano
03/04/2021

A3

Nº PLANO:

18



DISEÑO Y CÁLCULO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR FOTVOLTAICA DE 2,3 MW Y SU CONEXIÓN A LA RED DE MEDIA TENSIÓN



SITUACIÓN: Polígono 504 Parcela 49, La Saturnina, Calvarrasa de Arriba (Salamanca)

PROMOTOR: ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES

PLANO DE: ESQUEMA MULTIFILAR CONEXIÓN MEDIDA M.T.

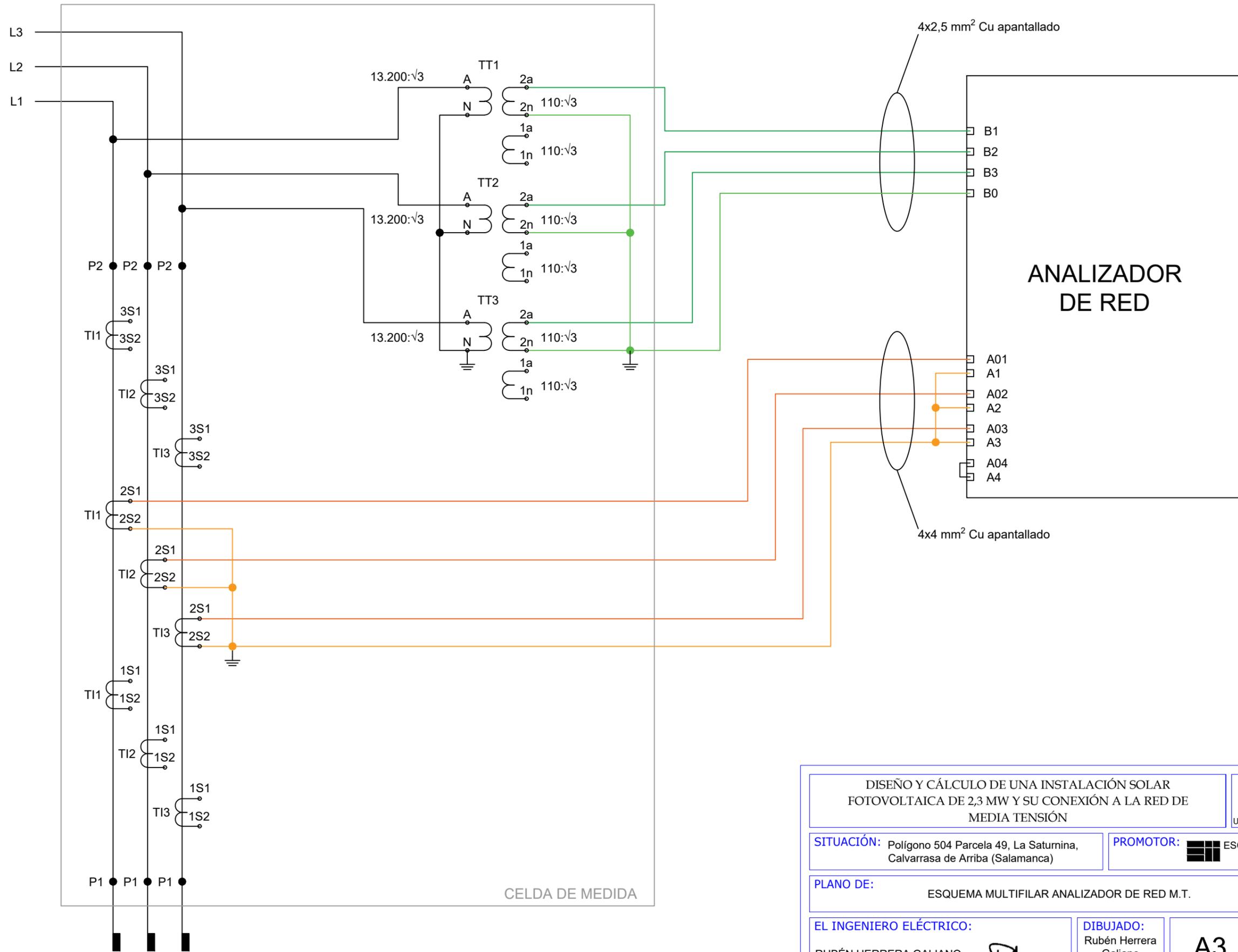
ESCALA: SE

EL INGENIERO ELÉCTRICO:
RUBÉN HERRERA GALIANO

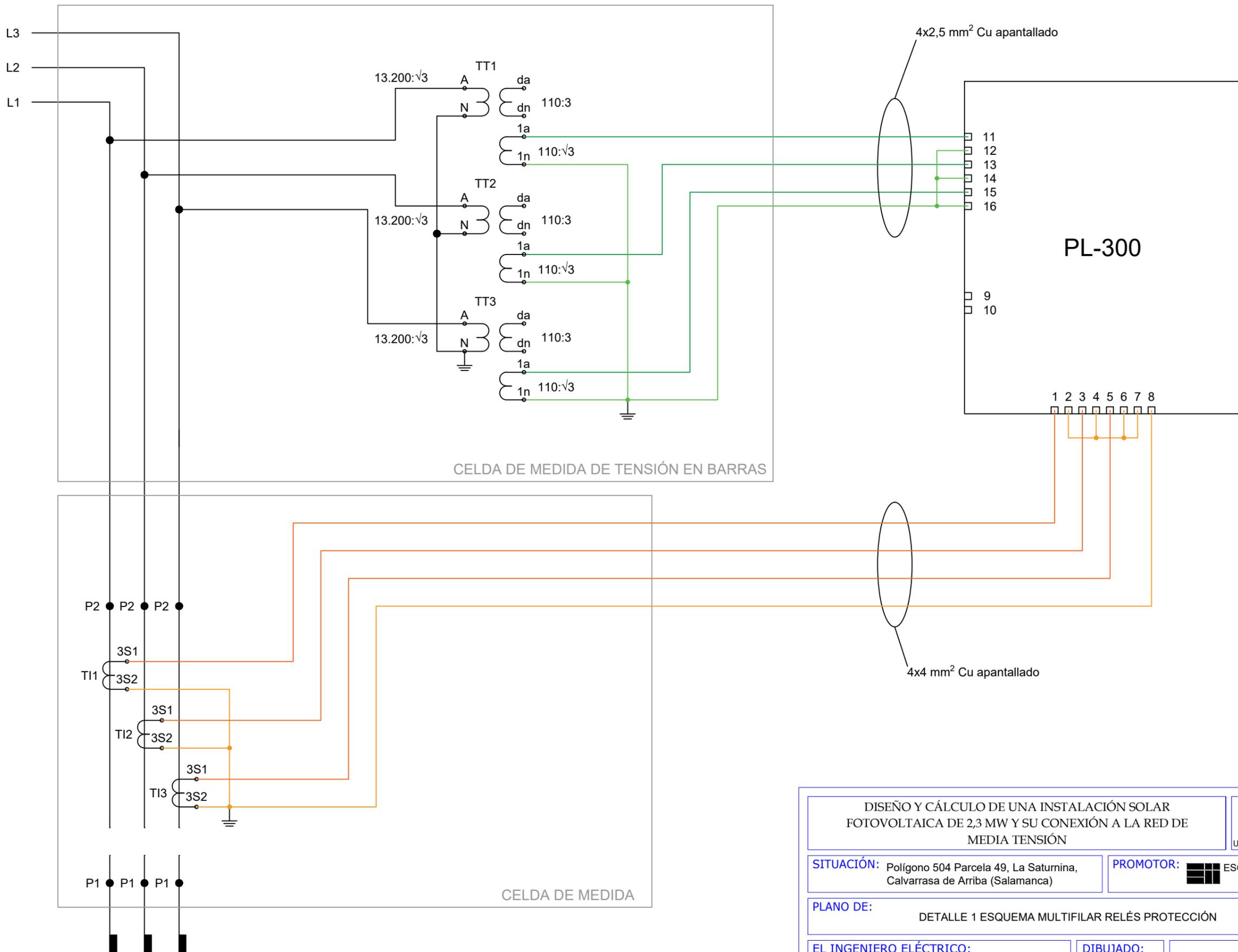
DIBUJADO:
Rubén Herrera Galiano
03/04/2021

A3

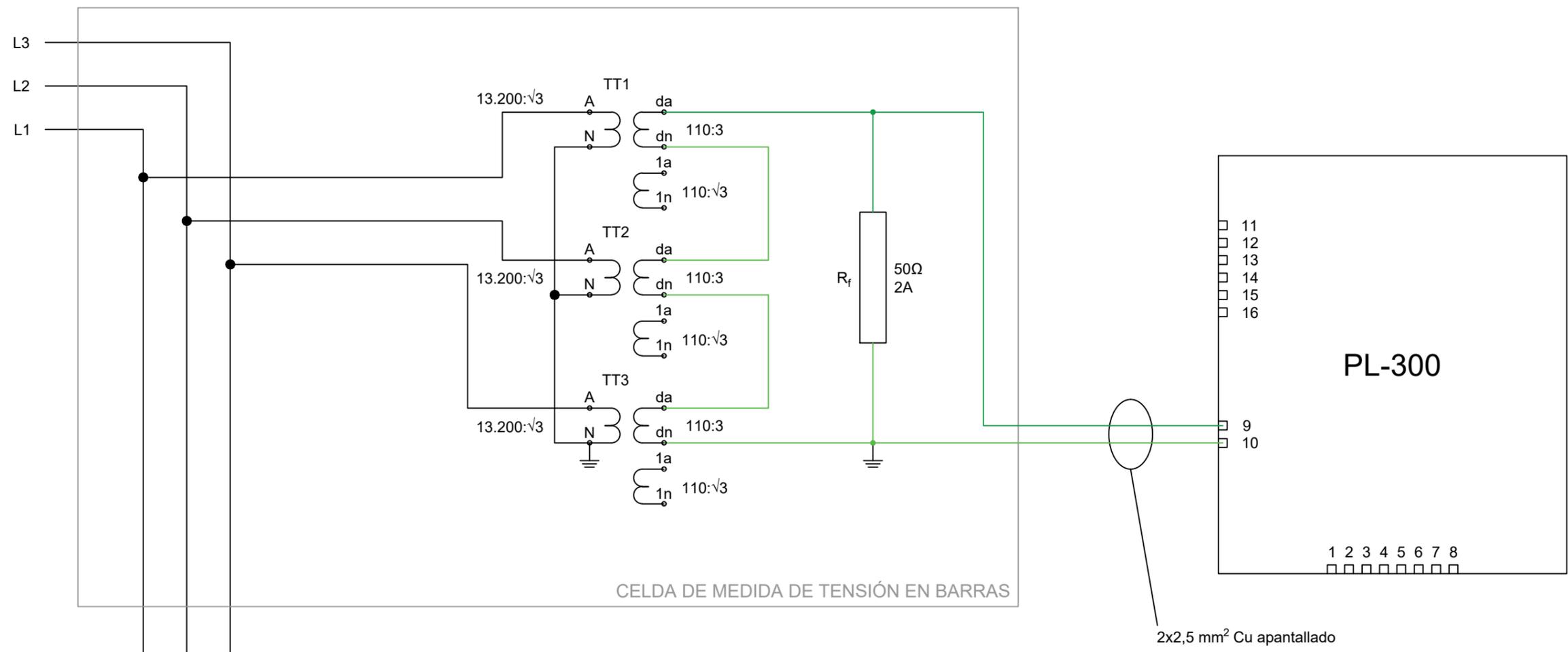
Nº PLANO:
19.1



DISEÑO Y CÁLCULO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA DE 2,3 MW Y SU CONEXIÓN A LA RED DE MEDIA TENSIÓN		 UNIVERSIDAD DE VALLADOLID
SITUACIÓN: Polígono 504 Parcela 49, La Saturnina, Calvarrasa de Arriba (Salamanca)	PROMOTOR:  ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES	
PLANO DE: ESQUEMA MULTIFILAR ANALIZADOR DE RED M.T.	ESCALA: SE	
EL INGENIERO ELÉCTRICO: RUBÉN HERRERA GALIANO 	DIBUJADO: Rubén Herrera Galiano 03/04/2021	Nº PLANO: A3 19.2



DISEÑO Y CÁLCULO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA DE 2,3 MW Y SU CONEXIÓN A LA RED DE MEDIA TENSIÓN		 UNIVERSIDAD DE VALLADOLID
SITUACIÓN: Polígono 504 Parcela 49, La Saturnina, Calvarrasa de Arriba (Salamanca)	PROMOTOR:  ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES	
PLANO DE: DETALLE 1 ESQUEMA MULTIFILAR RELÉS PROTECCIÓN	ESCALA: SE	
EL INGENIERO ELÉCTRICO: RUBÉN HERRERA GALIANO 	DIBUJADO: Rubén Herrera Galiano 03/04/2021	Nº PLANO: A3 19.3



DISEÑO Y CÁLCULO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR
FOTOVOLTAICA DE 2,3 MW Y SU CONEXIÓN A LA RED DE
MEDIA TENSIÓN



SITUACIÓN: Polígono 504 Parcela 49, La Saturnina,
Calvarrasa de Arriba (Salamanca)

PROMOTOR: ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES

PLANO DE: DETALLE 2 ESQUEMA MULTIFILAR RELÉS PROTECCIÓN

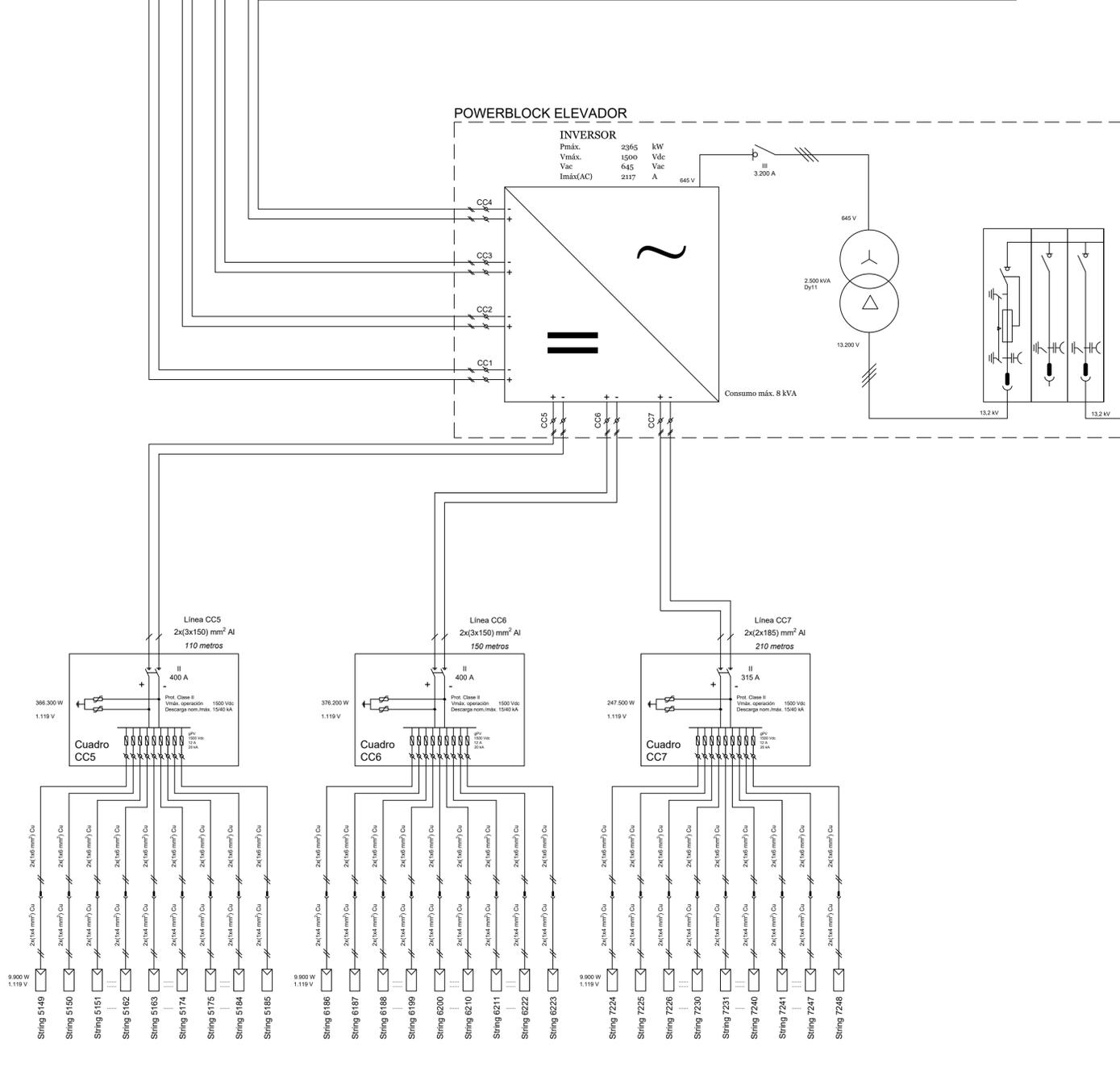
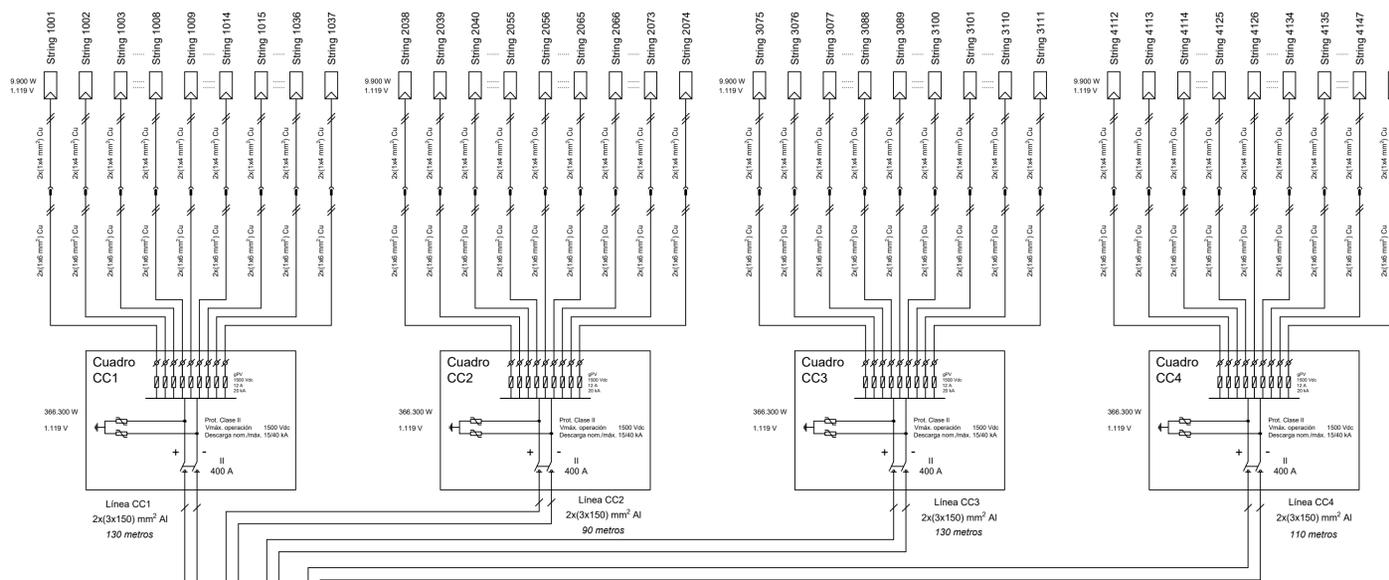
ESCALA:
SE

EL INGENIERO ELÉCTRICO:
RUBÉN HERRERA GALIANO

DIBUJADO:
Rubén Herrera
Galiano
03/04/2021

A3

Nº PLANO:
19.4

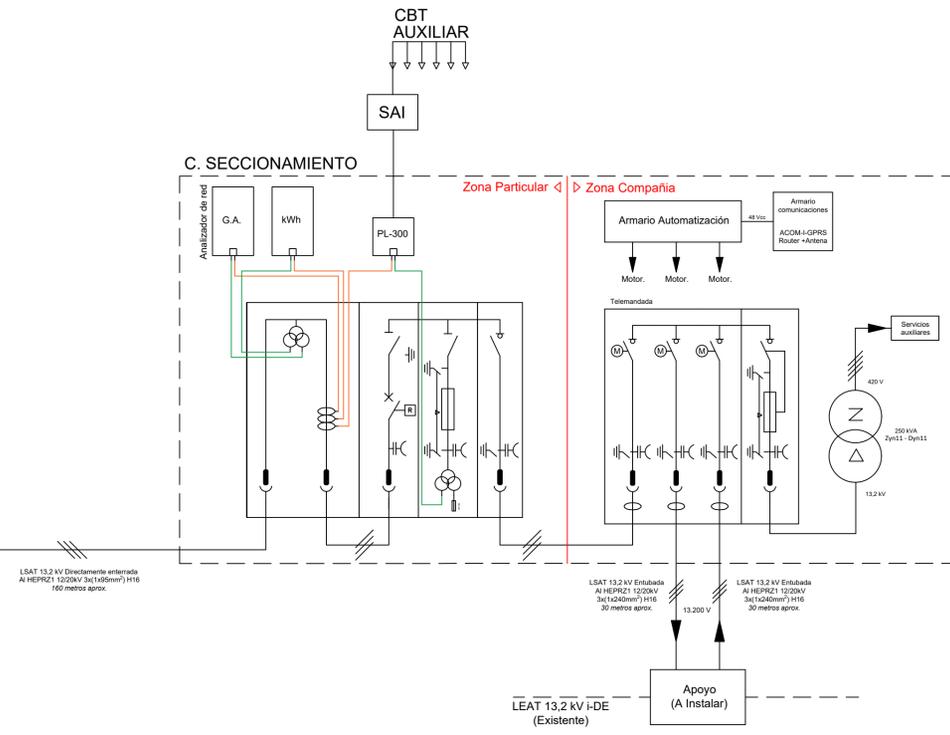


POWERBLOCK ELEVADOR

-Embarado gral.	U_n	24 kV
	I_n	630 A
-Celda línea:		
1x Interruptor-seccionador	I_n	400 A
	I_{cu}	20 kA
-Celda línea (Reserva):		
1x Interruptor-seccionador	I_n	400 A
	I_{cu}	20 kA
-Celda protección:		
1x Interruptor-seccionador	I_n	400 A
	I_{cu}	16 kA
3x Fusibles	U_n	24 kV
	I_n	160 A

C. SECCIONAMIENTO

Zona Particular		Zona Compañía			
-Embarado gral.	U_n	24 kV	U_n	24 kV	
	I_n	400 A	I_n	400 A	
-Celda línea:			-Conjunto compacto:		
1x Interruptor-seccionador	I_n	400 A	3x Celda línea para telemando:		
	I_{cu}	20 kA	1x Interruptor-seccionador acc. motor.	I_n	400 A
-Celda medida:				I_{cu}	16 kA
3x Transformador Intensidad	S_n	10 VA	-Celda protección transformador:		
	U_n	24 kV	1x Interruptor-seccionador	I_n	400 A
	r_f	125 / 5		I_{cu}	16 kA
Precisión	I_{ext}	150 %	3x Fusibles	U_n	24 kV
				I_n	35 A
3x Transformador Tensión	S_n	75 VA			
	U_n	24 kV			
	r_f	13200:√3 / 110:√3			
Precisión		0.2			



DISEÑO Y CÁLCULO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA DE 2.3 MW Y SU CONEXIÓN A LA RED DE MEDIA TENSIÓN

SITUACIÓN: Polígono 504 Parcela 49, La Saturnina, Calvarrasa de Ámbra (Salamanca) PROMOTOR: ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES

PLANO DE: ESQUEMA UNIFILAR GENERAL ESCALA: SE

EL INGENIERO ELÉCTRICO: RUBÉN HERRERA GALIANO DIBUJADO: Rubén Herrera Galiano Nº PLANO: 20

03/04/2021

ANEXO B LÍNEA Y APOYO

En la Memoria del presente documento se dan las herramientas necesarias para el cálculo del apoyo, en el presente anexo damos de forma resumida en forma de tablas, para el tense límite estático dinámico los valores de los apoyos que cumplen las prescripciones reglamentarias.

B.1. TABLAS DE UTILIZACIÓN DE APOYOS

ZONA B																			
Vano medio m	Apoyos de celosía, chapa metálica (CH) y perfiles metálicos (C) con cruceta recta Esfuerzo en daN, en función del vano y ángulo de desviación de la traza																		
	Ángulo desviación de la traza, en °																		
	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90
Seguridad Normal																			
50	111	227	342	456	569	688	823	956	1.088	1.217	1.344	1.468	1.590	1.709	1.824	1.936	2.044	2.148	2.249
60	128	243	358	471	584	695	823	956	1.088	1.217	1.344	1.468	1.590	1.709	1.824	1.936	2.044	2.148	2.249
70	145	259	373	486	598	709	823	956	1.088	1.217	1.344	1.468	1.590	1.709	1.824	1.936	2.044	2.148	2.249
80	161	276	389	502	613	723	832	956	1.088	1.217	1.344	1.468	1.590	1.709	1.824	1.936	2.044	2.148	2.249
90	178	292	405	517	628	737	845	956	1.088	1.217	1.344	1.468	1.590	1.709	1.824	1.936	2.044	2.148	2.249
100	195	308	421	533	643	752	859	964	1.088	1.217	1.344	1.468	1.590	1.709	1.824	1.936	2.044	2.148	2.249
110	212	325	437	548	658	767	873	978	1.088	1.217	1.344	1.468	1.590	1.709	1.824	1.936	2.044	2.148	2.249
120	228	341	453	564	673	781	887	992	1.094	1.217	1.344	1.468	1.590	1.709	1.824	1.936	2.044	2.148	2.249
130	245	358	469	580	689	796	902	1.006	1.107	1.217	1.344	1.468	1.590	1.709	1.824	1.936	2.044	2.148	2.249
140	262	374	486	596	704	811	917	1.020	1.120	1.219	1.344	1.468	1.590	1.709	1.824	1.936	2.044	2.148	2.249
150	278	391	502	612	720	827	931	1.034	1.134	1.232	1.344	1.468	1.590	1.709	1.824	1.936	2.044	2.148	2.249
160	295	407	518	628	736	842	946	1.048	1.148	1.245	1.344	1.468	1.590	1.709	1.824	1.936	2.044	2.148	2.249
170	312	424	535	644	752	857	961	1.063	1.162	1.259	1.353	1.468	1.590	1.709	1.824	1.936	2.044	2.148	2.249
180	328	440	551	660	767	873	976	1.077	1.176	1.272	1.365	1.468	1.590	1.709	1.824	1.936	2.044	2.148	2.249
190	345	457	567	676	783	888	991	1.092	1.190	1.286	1.378	1.468	1.590	1.709	1.824	1.936	2.044	2.148	2.249
200	362	474	584	692	799	904	1.006	1.107	1.204	1.299	1.391	1.481	1.590	1.709	1.824	1.936	2.044	2.148	2.249

ZONA B																			
Vano medio m	Apoyos de celosía, chapa metálica (CH) y perfiles metálicos (C) con cruceta recta Esfuerzo en daN, en función del vano y ángulo de desviación de la traza																		
	Ángulo desviación de la traza, en °																		
	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90
Seguridad Reforzada																			
50	139	284	427	570	712	852	990	1.126	1.261	1.392	1.521	1.647	1.770	1.890	2.006	2.118	2.226	2.331	2.431
60	160	304	447	589	730	869	1.006	1.142	1.275	1.405	1.533	1.658	1.780	1.898	2.013	2.124	2.231	2.334	2.432
70	181	324	467	608	748	886	1.023	1.157	1.289	1.419	1.545	1.669	1.789	1.907	2.020	2.130	2.235	2.337	2.434
80	202	345	486	627	766	904	1.039	1.173	1.304	1.432	1.558	1.681	1.800	1.916	2.028	2.136	2.241	2.341	2.437
90	223	365	506	646	785	922	1.056	1.189	1.319	1.447	1.571	1.693	1.811	1.925	2.037	2.144	2.247	2.346	2.441
100	244	385	526	666	804	940	1.074	1.206	1.335	1.461	1.585	1.705	1.822	1.936	2.046	2.152	2.254	2.352	2.446
110	264	406	546	685	823	958	1.091	1.222	1.351	1.476	1.599	1.718	1.834	1.947	2.056	2.161	2.262	2.359	2.451
120	285	427	567	705	842	977	1.109	1.240	1.367	1.492	1.614	1.732	1.847	1.959	2.066	2.170	2.270	2.366	2.457
130	306	447	587	725	861	995	1.127	1.257	1.384	1.508	1.628	1.746	1.860	1.971	2.077	2.180	2.279	2.374	2.464
140	327	468	607	745	881	1.014	1.146	1.275	1.401	1.524	1.644	1.760	1.873	1.983	2.089	2.190	2.288	2.382	2.471
150	348	488	627	765	900	1.033	1.164	1.292	1.418	1.540	1.659	1.775	1.887	1.996	2.100	2.201	2.298	2.390	2.479
160	369	509	648	785	920	1.053	1.183	1.310	1.435	1.556	1.675	1.790	1.901	2.009	2.112	2.212	2.308	2.400	2.487
170	390	530	668	805	940	1.072	1.201	1.328	1.452	1.573	1.691	1.805	1.915	2.022	2.125	2.224	2.318	2.409	2.495
180	410	550	689	825	959	1.091	1.220	1.347	1.470	1.590	1.707	1.820	1.930	2.035	2.137	2.235	2.329	2.418	2.504
190	431	571	709	845	979	1.110	1.239	1.365	1.487	1.607	1.723	1.835	1.944	2.049	2.150	2.247	2.340	2.428	2.513
200	452	592	730	866	999	1.130	1.258	1.383	1.505	1.624	1.739	1.851	1.959	2.063	2.163	2.259	2.351	2.438	2.522

B.2. TABLAS DE TENDIDO ZONA B

Zona B - Tense Límite Estático-Dinámico - Tabla de tendido (flechas y tensiones)

Vano máximo en metros, por separación entre conductores en apoyos con aislamiento suspendido, longitud de cadena 0,50 m.

Vano máximo en metros, por separación entre conductores en apoyos de ángulo con cadenas de amarre.

TABLA DE TENDIDO (FLECHAS Y TENSIONES) -ZONA B (Altitud de 500 a 1.000m)

CONDUCTOR 47-AL1/8-ST1 - TENSE LÍMITE ESTÁTICO DINÁMICO

En la Memoria del presente documento se dan las herramientas necesarias para el cálculo del apoyo, en el presente anexo damos de forma resumida en forma de tablas, para el tense límite estático dinámico los valores de los apoyos que cumplen las prescripciones reglamentarias.

T=Tensión en daN

CS=Coeficiente de seguridad

Masa=0,189 kg/m

Presión Viento=0,56 daN*m

CS mínimo=3,094

Coef. Dilatación=1,91E-05

Módulo de elasticidad=7.900 daN/m

F=Flecha en m

A=Vano de regulación en m

Diámetro=9,5 mm

Tensión máxima=530 daN

Carga de rotura=1.640 daN

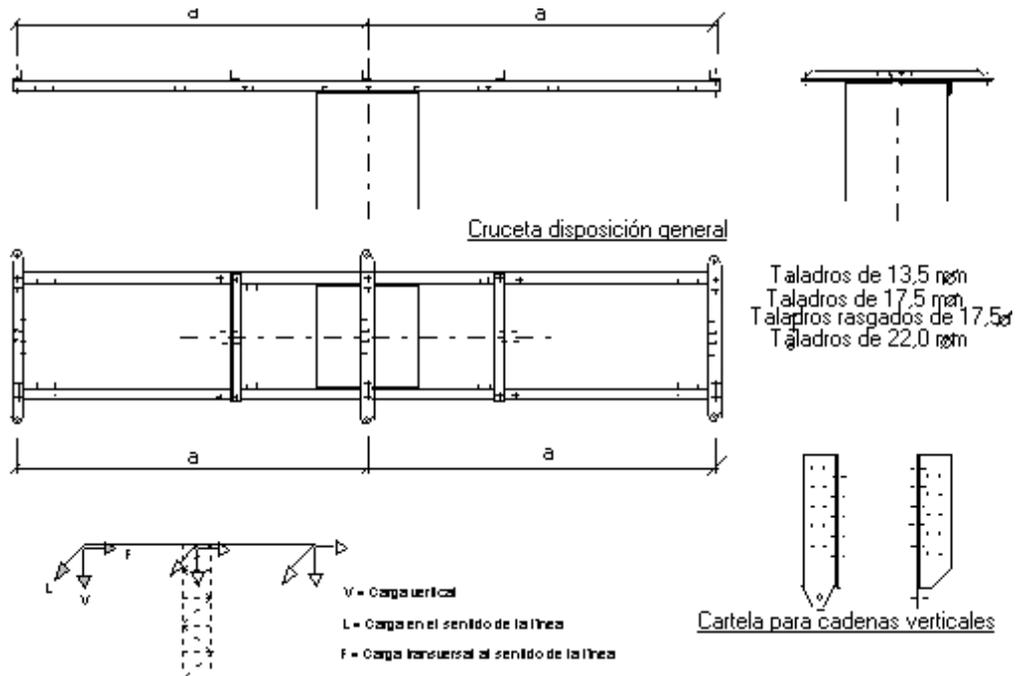
T. máxima a 15°C=245,02 daN

A	Tensión Máxima a				Flechas								Parámetro Catenaria		Oscilación de Cadenas -5° C + V/2	EDS % Cr.		A
					Máxima				Mínima									
	-15° C + H.		-5° + Viento		+ 50° C		+15° C + V.		0° + Hielo		- 5° C		Flecha					
	T	CS	T	CS	T	F	T	F	T	F	T	F	Máx.	Mín.	T	F	15° C	
40	530	3,09	444	3,70	83	0,45	323	0,36	433	0,34	480	0,08	448	2.587	450	0,15	14,94	40
50	530	3,09	442	3,71	92	0,63	335	0,55	443	0,51	453	0,13	496	2.440	431	0,24	13,89	50
60	530	3,09	440	3,73	99	0,84	346	0,76	452	0,73	420	0,20	534	2.266	410	0,37	12,85	60
70	530	3,09	439	3,74	105	1,09	356	1,01	460	0,97	384	0,30	564	2.071	388	0,53	11,93	70
80	530	3,09	437	3,75	109	1,36	364	1,29	468	1,25	346	0,43	589	1.865	367	0,73	11,18	80
90	530	3,09	436	3,76	113	1,66	371	1,60	474	1,55	308	0,61	608	1.660	348	0,97	10,60	90
100	530	3,09	435	3,77	116	2,00	377	1,94	480	1,90	273	0,85	625	1.474	332	1,26	10,15	100
110	530	3,09	434	3,78	118	2,37	383	2,32	485	2,27	245	1,15	638	1.318	318	1,59	9,82	110
120	530	3,09	433	3,79	120	2,78	387	2,73	490	2,68	222	1,50	649	1.197	307	1,96	9,56	120
130	530	3,09	432	3,79	122	3,21	391	3,17	494	3,12	205	1,91	658	1.106	298	2,37	9,35	130
140	530	3,09	432	3,80	124	3,68	395	3,64	497	3,59	192	2,36	666	1.037	290	2,82	9,19	140
150	530	3,09	431	3,80	125	4,19	398	4,15	500	4,10	183	2,85	673	986	284	3,31	9,07	150
160	530	3,09	431	3,81	126	4,72	400	4,69	503	4,64	176	3,38	678	946	279	3,83	8,96	160
170	530	3,09	430	3,81	127	5,30	403	5,27	505	5,21	170	3,95	683	915	275	4,39	8,88	170
180	530	3,09	430	3,81	127	5,90	405	5,87	507	5,82	165	4,55	687	890	272	4,99	8,80	180
190	530	3,09	430	3,82	128	6,54	407	6,52	509	6,47	161	5,19	691	871	269	5,62	8,74	190
200	530	3,09	430	3,82	129	7,22	408	7,19	511	7,14	158	5,86	694	854	266	6,29	8,69	200
225	530	3,09	429	3,82	130	9,05	412	9,04	514	8,98	153	7,69	701	824	261	8,11	8,59	225
250	530	3,09	429	3,83	131	11,11	414	11,09	517	11,04	149	9,74	705	804	258	10,16	8,52	250

Vano de regulación m	Vano máximo en m, por separación entre conductores en apoyos con aislamiento suspendido, longitud de cadena 0,50 m.					
	Cruceta de 1,75 m			Cruceta de 2,00		
	0°	2°	4°	0°	2°	4°
70	160,22	160,19	160,11	187,02	186,99	186,89
80	163,64	163,61	163,52	191,01	190,97	190,87
90	166,36	166,33	166,24	194,18	194,15	194,05
100	168,55	168,52	168,43	196,74	196,71	196,60
110	170,33	170,30	170,21	198,82	198,79	198,69
120	171,80	171,77	171,68	200,54	200,51	200,40
130	173,02	172,99	172,90	201,96	201,93	201,82
140	174,05	174,02	173,92	203,16	203,12	203,02
150	174,91	174,88	174,78	204,16	204,13	204,02
160	175,64	175,61	175,52	205,02	204,99	204,88
170	176,27	176,24	176,15	205,76	205,72	205,61
180	176,81	176,78	176,69	206,39	206,35	206,24
190	177,28	177,25	177,16	206,94	206,90	206,79
200	177,69	177,66	177,57	207,41	207,38	207,27
250	179,12	179,09	178,99	209,08	209,05	208,94

B.3. CRUCETAS Y APOYOS

B.3.1. CRUCETA RCTA PARA APOYOS DE PERFILES METÁLICOS RC

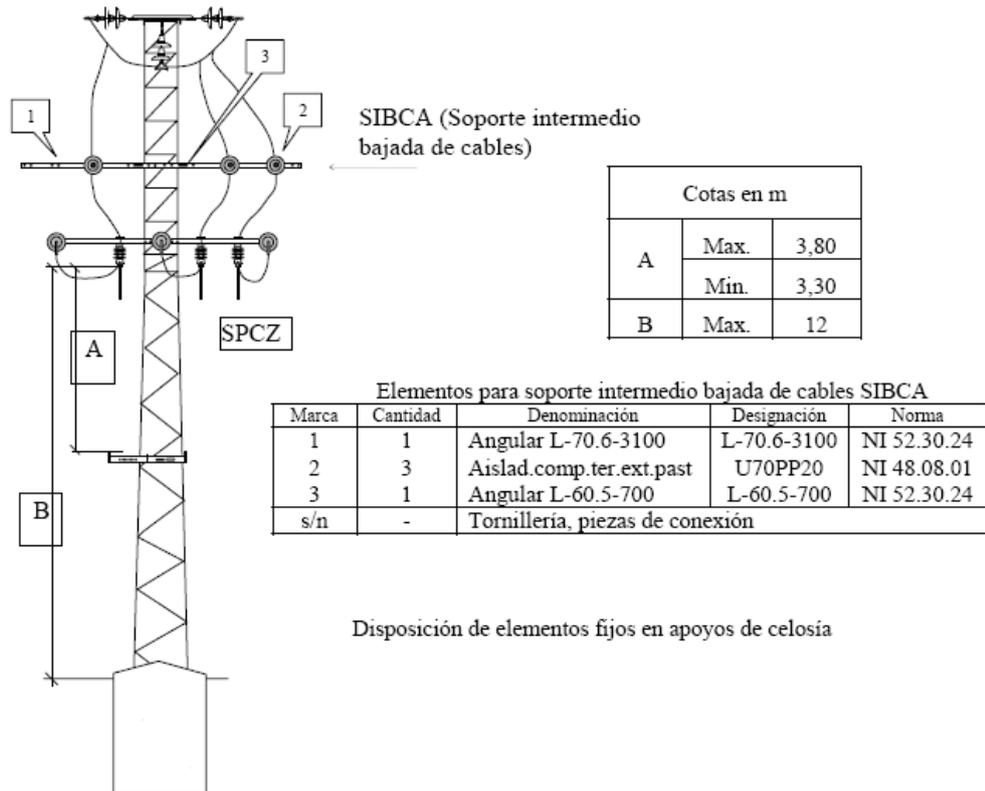


Crucetas rectas para apoyos de perfiles metálicos - Cargas

Designación	Separación entre conductores a en mm	Casos de carga	Carga de trabajo más sobrecarga daN			Coeficiente de seguridad	CÓDIGO
			V	L	F		
RC1-15/5	1500	A	250	--	1500		5231200
RC1-20/5	2000	B	250	1500	--		5231202
RC2-15/5	1500	A	450	--	2000		5231204
RC2-20/5	2000	B	450	2000	--		5231206
RC3-15/5	1500	A	800	--	2000		5231208
RC3-20/5	2000	B	800	2000	--	1,5	5231210

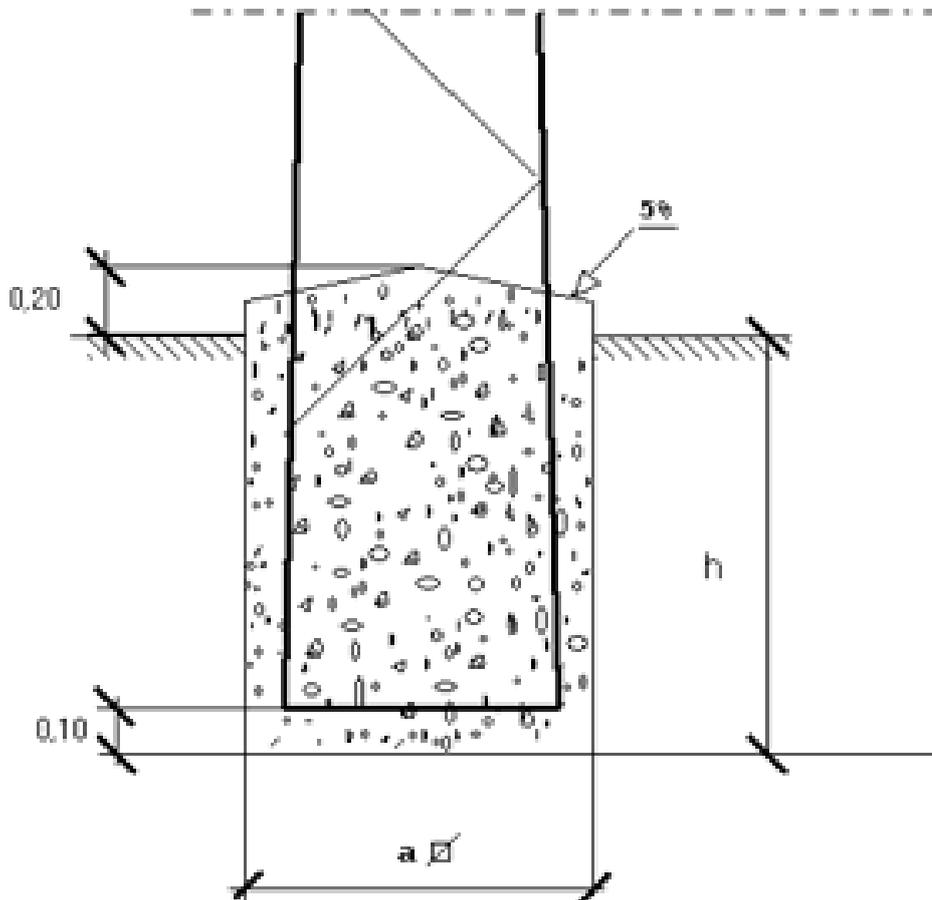
B.3.2. APOYOS DE CELOSÍA

En los apoyos de celosía se instalará un SPCZ a una distancia de los elementos en tensión entre 3,30 y 3,80 m, según se ve en la figura.



B.3.3. CIMENTACION PARA APOYOS

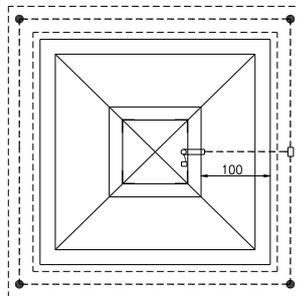
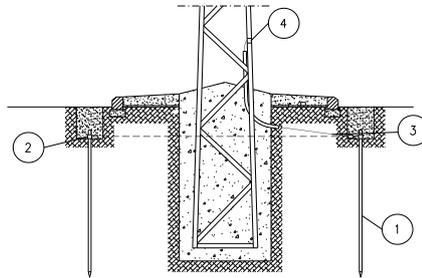
APOYOS DE PERFILES METÁLICOS, SEGÚN NORMA NI 52.10.01



DISEÑO Y CÁLCULO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA DE 2,3 MW Y
SU CONEXIÓN A LA RED DE MEDIA ENSIÓN

APOYO		CIMENTACIÓN			APOYO		CIMENTACIÓN		
Designación lberdrola	a m	h m	Vol. excav. m ³	Vol. horm. m ³	Designación lberdrola	a m	h m	Vol. excav. m ³	Vol. horm. m ³
C1000- 12E	1	1,99	1,99	2,14	C4500- 16E	1,17	2,89	3,96	4,15
C1000- 14E	1,08	2,06	2,41	2,58	C4500- 18E	1,26	2,94	4,66	4,89
C1000- 16E	1,15	2,13	2,82	3,01	C4500- 20E	1,33	2,99	5,3	5,56
C1000- 18E	1,23	2,2	3,33	3,55	C4500- 22E	1,43	3,03	6,2	6,5
C1000- 20E	1,3	2,26	3,82	4,07	C7000- 12E	1,35	2,84	5,18	5,45
C1000- 22E	1,39	2,32	4,47	4,76	C7000- 14E	1,53	2,87	6,73	7,08
C2000- 12E	1	2,3	2,3	2,44	C7000- 16E	1,69	2,91	8,32	8,75
C2000- 14E	1,08	2,37	2,76	2,93	C7000- 18E	1,88	2,93	10,35	10,89
C2000- 16E	1,15	2,43	3,22	3,41	C7000- 20E	2,04	2,96	12,32	12,96
C2000- 18E	1,24	2,48	3,82	4,04	C7000- 22E	2,22	2,98	14,68	15,44
C2000- 20E	1,31	2,54	4,36	4,61	C7000- 24E	2,38	3	17,01	17,89
C2000- 22E	1,39	2,59	5,01	5,3	C7000- 26E	2,56	3,02	19,79	20,82
C3000- 12E	1	2,51	2,51	2,66	C9000- 12E	1,35	3,02	5,5	5,77
C3000- 14E	1,09	2,58	3,06	3,23	C9000- 14E	1,53	3,06	7,15	7,5
C3000- 16E	1,16	2,64	3,56	3,75	C9000- 16E	1,69	3,09	8,83	9,26
C3000- 18E	1,25	2,69	4,21	4,44	C9000- 18E	1,88	3,11	10,99	11,53
C3000- 20E	1,32	2,75	4,79	5,05	C9000- 20E	2,04	3,14	13,07	13,71
C3000- 22E	1,41	2,79	5,55	5,85	C9000- 22E	2,22	3,16	15,56	16,32
C4500- 12E	1,01	2,75	2,81	2,96	C9000- 24E	2,38	3,18	18,04	18,92
C4500- 14E	1,1	2,82	3,41	3,59	C9000- 26E	2,56	3,2	20,97	22

B.3.4. PUESTA A TIERRA EN APOYOS. CIMENTACIÓN MONOBLOQUE EN TIERRA



Marca	Cant.	Designación	Denominación	Código	Norma
1	1 Und.	PL 14-1500	Pica cilíndrica acero-cobre de 14,6 mm de diám. y 1,5 m	50 26 164	NI 50.26.01
2	1 Und.	GC- P14,6/C50	Grapa de conexión para pica cilíndrica y cable de 50 Cu	58 26 631	NI 58 26 03
3	----- m.	C 50	Cable de cobre de 50 mm ²	54 10 050	NI 54 10 01
4	1 Und.	GCP/C16	Grapa de conexión paralela para cable de Cu	58 26 035	NI 58 26 04

ANEXO C GESTIÓN DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN

C.1. ANTECEDENTES

Se prescribe el presente Estudio de Gestión de Residuos, como anejo al presente proyecto, con objeto de dar cumplimiento a lo establecido en el Real Decreto 105/2008, de 1 de febrero, por el que se regula la producción y gestión de los residuos de construcción y demolición.

El presente estudio se redacta por encargo expreso del Promotor, y se basa en la información técnica por él proporcionada. Su objeto es servir de referencia para que el Constructor redacte y presente al Promotor un Plan de Gestión de Residuos en el que se detalle la forma en que la empresa constructora llevará a cabo las obligaciones que le incumben en relación con los residuos de construcción y demolición que se produzcan en la obra, en cumplimiento del Artículo 5 del citado Real Decreto.

Dicho Plan de Gestión de Residuos, una vez aprobado por la Dirección Facultativa y aceptado por el Promotor, pasará a formar parte de los documentos contractuales de la obra.

C.2. ESTIMACIÓN DE LA CANTIDAD DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN QUE SE GENERARÁN EN LA OBRA

En la siguiente tabla se indican las cantidades de residuos de construcción y demolición que se generarán en la obra. Los residuos están codificados con arreglo a la lista europea de residuos (LER) publicada por la Orden MAM/304/2002, de 8 de febrero.

Los tipos de residuos corresponden al capítulo 17 de la citada Lista Europea, titulado “Residuos de la construcción y demolición” y al capítulo 15 titulado “Residuos de envases”. También se incluye un concepto relativo a la basura doméstica generada por los operarios de la obra.

Los residuos que en la lista aparecen señalados con asterisco (*) se consideran peligrosos de conformidad con la Directiva 91/689/CEE.

La estimación de pesos y volúmenes de los residuos se realiza a partir del dato de la superficie total aproximada de la instalación, que en este caso es:

$$S = 15.000 \text{ m}^2$$

DISEÑO Y CÁLCULO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA DE 2,3 MW Y
SU CONEXIÓN A LA RED DE MEDIA ENSIÓN

CÓDIGO	RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN	PESO (Tm)	VOL. (m ³)
De naturaleza pétreo			
17 01 01	Hormigón	0,000	0,000
17 01 07	Mezclas de hormigón, ladrillos, tejas y materiales cerámicos, distintas a las especificadas en el código 17 01 06 (1)	0,000	0,000
17 02 02	Vidrio	0,000	0,000
17 09 04	Residuos mezclados de construcción y demolición distintos a los especificados en los códigos 17 09 01(2), 17 09 02 (3) y 17 09 03 (4)	0,000	0,000
De naturaleza no pétreo			
17 02 01	Madera	3,500	60,000
17 02 03	Plástico	1,000	10,000
17 03 02	Mezclas bituminosas distintas a las especificadas en el código 17 03 01 (5)	0,000	0,000
17 04 07	Metales mezclados	1,000	26,500
17 04 11	Cables distintos a los especificados en el código 17 04 10 (6)	0,000	0,000
17 06 04	Materiales de aislamiento distintos a los especificados en los códigos 17 06 01(7) y 17 06 03 (8)	0,000	0,000
17 08 02	Materiales de construcción a partir de yeso distintos a los especificados en el código 17 08 01 (9)	0,000	0,000
Potencialmente peligrosos y otros			
15 01 06	Envases mezclados	0,600	3,200
15 01 10 *	Envases que contienen restos de sustancias peligrosas o están contaminados por ellas	3,200	14,500
17 04 10 *	Cables que contienen hidrocarburos, alquitrán de hulla y otras sustancias peligrosas	0,000	0,000
20 03 01	Mezcla de residuos municipales (basura)	5,000	50,000
NOTAS:			
(1) 17 01 06 – Mezclas, o fracciones separadas, de hormigón, ladrillos, tejas y materiales cerámicos, que contienen sustancias peligrosas. (2) 17 09 01 – Residuos de construcción y demolición que contienen mercurio. (3) 17 09 02 – Residuos de construcción y demolición que contienen PCB. (4) 17 09 03 – Otros residuos de construcción y demolición (incluidos los residuos mezclados) que contienen sustancias peligrosas. (5) 17 03 01 – Mezclas bituminosas que contienen alquitrán de hulla. (6) 17 04 10 – Cables que contienen hidrocarburos, alquitrán de hulla y otras sustancias peligrosas. (7) 17 06 01 – Materiales de aislamiento que contienen amianto. (8) 17 06 03 – Otros materiales de aislamiento que consisten en, o contienen, sustancias peligrosas. (9) 17 08 01 – Materiales de construcción a partir de yeso contaminados con sustancias peligrosas.			

C.3. MEDIDAS DE PREVENCIÓN DE RESIDUOS EN LA OBRA

En la lista anterior puede apreciarse que la mayor parte de los residuos que se generarán en la obra son de naturaleza no peligrosa. Entre ellos predominan los residuos procedentes del transporte del material a obra en pallets. Para este tipo de residuos no se prevé ninguna medida específica de prevención más allá de las que implica un manejo cuidadoso.

En este sentido, el Constructor se encargará de almacenar separadamente estos residuos hasta su entrega al “gestor de residuos” correspondiente y, en su caso, especificará en los contratos con los subcontratistas la obligación que éstos contraen de retirar de la obra todos los residuos y envases generados por su actividad, así como de responsabilizarse de su gestión posterior.

C.4. OPERACIONES DE REUTILIZACIÓN, VALORIZACIÓN O ELIMINACIÓN A QUE SE DESTINARÁN LOS RESIDUOS QUE SE GENERARÁN EN LA OBRA

En la tabla siguiente se indican los tipos de residuos que van a ser objeto de entrega a un gestor de residuos, con indicación de la frecuencia con la que su retirada deberá llevarse a cabo.

CÓDIGO	RESIDUOS A ENTREGAR A UN GESTOR	FRECUENCIA
17 02 01	Madera	ESPORÁDICA
17 02 03	Plástico	ESPORÁDICA
17 03 02	Mezclas bituminosas distintas a las del código 17 03 01	ACELERADA
17 04 07	Metales mezclados	ACELERADA
17 04 10 *	Cables que contienen hidrocarburos, alquitrán de hulla y otras sustancias peligrosas	ACELERADA
17 04 11	Cables distintos a los especificados en el código 17 04 10	ACELERADA
17 06 04	Materiales de aislamiento distintos a los especificados en los códigos 17 06 01 y 17 06 03	ESPORÁDICA
15 01 06	Envases mezclados	ESPORÁDICA
15 01 10 *	Envases que contienen restos de sustancias peligrosas o están contaminados por ellas	ACELERADA
20 03 01	Mezcla de residuos municipales (basura)	ACELERADA (1)
<p>La frecuencia ESPORÁDICA puede consistir en la retirada de los residuos cada vez que el contenedor instalado a tal efecto esté lleno; o bien de una sola vez, en la etapa final de la ejecución del edificio.</p> <p>La frecuencia ACELERADA indica que los residuos se irán retirando separadamente (preferiblemente cada día) a medida que se vayan generando. A esta categoría corresponden los residuos producidos por la actividad de los subcontratistas.</p> <p>(1) – La basura doméstica generada por los operarios de la obra se llevará diariamente a los contenedores municipales.</p>		

C.5. MEDIDAS PARA LA SEPARACIÓN DE LOS RESIDUOS EN OBRA

Dado que las cantidades de residuos de construcción y demolición estimadas para la obra objeto del presente proyecto son inferiores a las asignadas a las fracciones indicadas en el punto 5 del artículo 5 del RD 105/2008, no será obligatorio separar los residuos por fracciones.

No obstante, los residuos de las categorías a las que se ha asignado una eliminación ACELERADA se retiraran de la obra separadamente, de acuerdo con sus características.

Aquellos a los que se ha asignado una eliminación de tipo ESPORÁDICO, podrán ser almacenados en un contenedor temporal de modo conjunto.

Los residuos previstos para VALORIZAR en la obra para la creación de rellenos se irán vertiendo progresivamente en las zonas señaladas para ello.

C.6. PLANO DE LAS INSTALACIONES PREVISTAS PARA EL ALMACENAMIENTO, MANEJO, SEPARACIÓN Y EN SU CASO, OTRAS OPERACIONES DE GESTIÓN DE LOS RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN DENTRO DE LA OBRA



En rojo se ve la zona donde está previsto el almacenamiento, manejo y separación de residuos.

C.7. PRESCRIPCIONES DEL PLIEGO DE PRESCRIPCIONES TÉCNICAS PARTICULARES DEL PROYECTO

- Se atenderán los criterios municipales establecidos (ordenanzas, condicionados de la licencia de obras), especialmente si obligan a la separación en origen de determinadas materias objeto de reciclaje o deposición. En este último caso se deberá asegurar, por parte del contratista, la realización de una evaluación económica de las condiciones en las que es viable esta operación. Y también, considerar las posibilidades reales de llevarla a cabo: que la obra o construcción lo permita y que se disponga de plantas de reciclaje o gestores adecuados.
- En la contratación de la gestión de los RCDs se deberá asegurar que los destinos finales (Planta de reciclaje, Vertedero, Cantera, Incineradora, Centro de reciclaje de plásticos y/o madera...) sean centros autorizados. Así mismo el Constructor deberá contratar sólo transportistas o gestores autorizados e inscritos en los registros correspondientes. Se realizará un control documental, de modo que los transportistas y los gestores de RCDs deberán aportar los vales de cada retirada y entrega en destino final.
- Se deberá aportar evidencia documental del destino final para aquellos RCDs (tierras, pétreos...) que sean reutilizados en otras obras o proyectos de restauración.
- Los residuos de carácter urbano generados en las obras (restos de comidas, envases, lodos de fosas sépticas...) serán gestionados de acuerdo con los preceptos marcados por la legislación vigente y las autoridades municipales.

C.8. VALORACIÓN DEL COSTE PREVISTO DE LA GESTIÓN DE LOS RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN DE LA OBRA.

El coste previsto para la manipulación y el transporte de los residuos de construcción y demolición de la obra descrita en el presente proyecto está incluido en cada uno de los costes de las unidades y partidas de obra, al haberse considerado dentro de los costes indirectos de éstas.

No obstante, en el Presupuesto del Proyecto se ha incluido un capítulo independiente, en el que se valora el coste previsto para la gestión de esos

mismos residuos dentro de la obra, entendiendo como tal gestión a la elaboración del Plan de gestión de los RCDs, su discriminación para impedir la mezcla de residuos de distinto tipo, el almacenamiento y mantenimiento de los mismos en condiciones adecuadas de higiene y seguridad, y su posterior valorización y/o entrega de los RCDs al Gestor de residuos de construcción y demolición contratado para desarrollar esa función.



VALLADOLID, junio de 2021

Fdo: Rubén Herrera Galiano
Ingeniero Eléctrico