



MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

TRABAJO FIN DE MÁSTER

INGENIERÍA DE UNA PLANTA SOLAR FOTOVOLTAICA DE 3,5MW EN LA PROVINCIA DE TOLEDO

Autor: Carmen Cordero Albalá

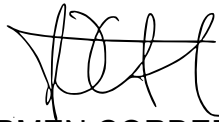
Director: M. Inmaculada Blázquez García

Madrid

JULIO de 2019

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título
INGENIERÍA DE UNA PLANTA SOLAR FOTOVOLTAICA DE 3,5MW EN
LA PROVINCIA DE TOLEDO en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad
Pontificia Comillas en el

curso académico 2018/2019 es de mi autoría, original e inédito y
no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos. El Proyecto no es
plagio de otro, ni total ni parcialmente y la información que ha sido tomada
de otros documentos está debidamente referenciada.



Fdo.: CARMEN CORDERO ALBALÁ

Fecha: 03/ 07/ 2019

Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO

BLAZQUEZ
GARCIA MARIA
INMACULADA
- 46885278P

Firmado digitalmente
por BLAZQUEZ
GARCIA MARIA
INMACULADA -
46885278P
Fecha: 2019.07.03
15:45:58 +0200

Fdo.: M. INMACULADA BLÁZQUEZ GARCÍA

Fecha: 03/ 07/ 2019

AUTORIZACIÓN PARA LA DIGITALIZACIÓN, DEPÓSITO Y DIVULGACIÓN EN RED DE PROYECTOS FIN DE GRADO, FIN DE MÁSTER, TESIS O MEMORIAS DE BACHILLERATO

1º. Declaración de la autoría y acreditación de la misma.

El autor D. CARMEN CORDERO ALBALÁ DECLARA ser el titular de los derechos de propiedad intelectual de la obra: INGENIERÍA DE UNA PLANTA SOLAR FOTOVOLTAICA DE 3,5MW EN LA PROVINCIA DE TOLEDO que ésta es una obra original, y que ostenta la condición de autor en el sentido que otorga la Ley de Propiedad Intelectual.

2º. Objeto y fines de la cesión.

Con el fin de dar la máxima difusión a la obra citada a través del Repositorio institucional de la Universidad, el autor **CEDE** a la Universidad Pontificia Comillas, de forma gratuita y no exclusiva, por el máximo plazo legal y con ámbito universal, los derechos de digitalización, de archivo, de reproducción, de distribución y de comunicación pública, incluido el derecho de puesta a disposición electrónica, tal y como se describen en la Ley de Propiedad Intelectual. El derecho de transformación se cede a los únicos efectos de lo dispuesto en la letra a) del apartado siguiente.

3º. Condiciones de la cesión y acceso

Sin perjuicio de la titularidad de la obra, que sigue correspondiendo a su autor, la cesión de derechos contemplada en esta licencia habilita para:

- a) Transformarla con el fin de adaptarla a cualquier tecnología que permita incorporarla a internet y hacerla accesible; incorporar metadatos para realizar el registro de la obra e incorporar “marcas de agua” o cualquier otro sistema de seguridad o de protección.
- b) Reproducirla en un soporte digital para su incorporación a una base de datos electrónica, incluyendo el derecho de reproducir y almacenar la obra en servidores, a los efectos de garantizar su seguridad, conservación y preservar el formato.
- c) Comunicarla, por defecto, a través de un archivo institucional abierto, accesible de modo libre y gratuito a través de internet.
- d) Cualquier otra forma de acceso (restringido, embargado, cerrado) deberá solicitarse expresamente y obedecer a causas justificadas.
- e) Asignar por defecto a estos trabajos una licencia Creative Commons.
- f) Asignar por defecto a estos trabajos un HANDLE (URL *persistente*).

4º. Derechos del autor.

El autor, en tanto que titular de una obra tiene derecho a:

- a) Que la Universidad identifique claramente su nombre como autor de la misma
- b) Comunicar y dar publicidad a la obra en la versión que ceda y en otras posteriores a través de cualquier medio.
- c) Solicitar la retirada de la obra del repositorio por causa justificada.
- d) Recibir notificación fehaciente de cualquier reclamación que puedan formular terceras personas en relación con la obra y, en particular, de reclamaciones relativas a los derechos de propiedad intelectual sobre ella.

5º. Deberes del autor.

El autor se compromete a:

- a) Garantizar que el compromiso que adquiere mediante el presente escrito no infringe ningún derecho de terceros, ya sean de propiedad industrial, intelectual o cualquier otro.
- b) Garantizar que el contenido de las obras no atenta contra los derechos al honor, a la intimidad y a la imagen de terceros.
- c) Asumir toda reclamación o responsabilidad, incluyendo las indemnizaciones por daños, que pudieran ejercitarse contra la Universidad por terceros que vieran infringidos sus derechos e intereses a causa de la cesión.

- d) Asumir la responsabilidad en el caso de que las instituciones fueran condenadas por infracción de derechos derivada de las obras objeto de la cesión.

6°. Fines y funcionamiento del Repositorio Institucional.

La obra se pondrá a disposición de los usuarios para que hagan de ella un uso justo y respetuoso con los derechos del autor, según lo permitido por la legislación aplicable, y con fines de estudio, investigación, o cualquier otro fin lícito. Con dicha finalidad, la Universidad asume los siguientes deberes y se reserva las siguientes facultades:

- La Universidad informará a los usuarios del archivo sobre los usos permitidos, y no garantiza ni asume responsabilidad alguna por otras formas en que los usuarios hagan un uso posterior de las obras no conforme con la legislación vigente. El uso posterior, más allá de la copia privada, requerirá que se cite la fuente y se reconozca la autoría, que no se obtenga beneficio comercial, y que no se realicen obras derivadas.
- La Universidad no revisará el contenido de las obras, que en todo caso permanecerá bajo la responsabilidad exclusiva del autor y no estará obligada a ejercitar acciones legales en nombre del autor en el supuesto de infracciones a derechos de propiedad intelectual derivados del depósito y archivo de las obras. El autor renuncia a cualquier reclamación frente a la Universidad por las formas no ajustadas a la legislación vigente en que los usuarios hagan uso de las obras.
- La Universidad adoptará las medidas necesarias para la preservación de la obra en un futuro.
- La Universidad se reserva la facultad de retirar la obra, previa notificación al autor, en supuestos suficientemente justificados, o en caso de reclamaciones de terceros.

Madrid, a 3 de JULIO de 2019

ACCEPTA

[Handwritten signature]

Fdo. CARMEN CORDERO ALBALÁ

Motivos para solicitar el acceso restringido, cerrado o embargado del trabajo en el Repositorio Institucional:



MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

TRABAJO FIN DE MÁSTER

INGENIERÍA DE UNA PLANTA SOLAR FOTOVOLTAICA DE 3,5MW EN LA PROVINCIA DE TOLEDO

Autor: Carmen Cordero Albalá

Director: M. Inmaculada Blázquez García

Madrid

JULIO de 2019

INGENIERÍA DE UNA PLANTA SOLAR FOTOVOLTAICA DE 3,5MW EN LA PROVINCIA DE TOLEDO

Autor: Cordero Albalá, Carmen.

Director: Blázquez García, M. Inmaculada.

Entidades Colaboradoras: Universidad Pontificia de Comillas, Osprel, S.L.

RESUMEN DEL PROYECTO

El objetivo de este proyecto es el diseño de una planta solar fotovoltaica de 3,5MW en el municipio de Alcolea de Tajo, provincia de Toledo. El propósito de dicha generación es inyectar los 3,5MW a la red de media tensión de Iberdrola Distribución. Se trata de un proyecto real, que se realizará con la promotora Renovables Bercial, S.L. y la empresa de ingeniería Osprel, S.L., estando el proyecto supervisado por M. Inmaculada Blázquez, ingeniero del ICAI. La planta solar fotovoltaica recibirá el nombre de “JUANPABLOMARIAHUGO”. La motivación que impulsa la realización de este proyecto es la contribución a la transición energética, tan promovida como inevitable en la situación actual.

Diseño del campo solar. El diseño que se lleva a cabo cubre desde la generación hasta el punto de conexión, que estará en el último apoyo previo a una subestación de Iberdrola situada a pocos metros de la planta. Para ello, se necesita diseñar un proceso que comienza por la transformación de la energía solar recibida en los módulos fotovoltaicos en energía eléctrica, consiguiendo la generación de una corriente continua en baja tensión. A continuación, se utilizarán inversores para obtener corriente alterna, lo cual es necesario para poder conectar el generador con el sistema de acondicionamiento de potencia. Se instalará un transformador de BT/MT para alcanzar los 20kV necesarios para inyectar la corriente generada en una subestación de Iberdrola Distribución.

Elementos necesarios para la planta	
Módulos	10.146
Inversores	18
Centro de transformación	1
Centro de seccionamiento	1

Cálculos. Como ejercicio necesario para el diseño anteriormente descrito, se necesitan ciertos cálculos, que justifican las magnitudes del proyecto y los elementos seleccionados para el mismo. La mayor parte de los mismos se centra en el cableado, que incluye redes de baja tensión y corriente continua entre los módulos fotovoltaicos y los inversores, redes de baja tensión y corriente alterna entre los inversores y el centro de transformación, y una red subterránea de media tensión, que conectará la planta con la línea de distribución de Iberdrola.

Cableado					
	6mm2	10mm2	16mm2	20 mm2	35mm2
Redes baja tensión c.c. (m)	11.952,3	7.924,6	5.212,6	852,0	-
Redes baja tensión c.a. (m)	1.026,5	2.519,6	1048,6	1.349,6	-
Red subterránea MT	-	-	-	-	900,0

Estudio ambiental. Para tomar las suposiciones para el diseño, influye en gran parte la situación de la parcela, así como sus condiciones físicas y meteorológicas. Por ello, se analiza el entorno de la misma. La parcela se encuentra a pocos kilómetros de la presa de Azután, en una zona con poca vegetación, pocos animales y muy llana, lo cual resulta apropiado para el proyecto que se propone. En esta zona las temperaturas son frías en invierno y muy calurosas en verano, es decir, es un área de temperaturas extremas. La temperatura media anual es 15,3°C, y las precipitaciones son de aproximadamente 380mm al año.

Se analiza el impacto que tendrá el proyecto en el medio ambiente, lo cual incluye la población, la fauna y la flora, obteniendo unas observaciones positivas del mismo. El proyecto no tiene un impacto negativo sobre la salud de los habitantes de la zona, si bien contribuyen a la generación de energía limpia, lo cual es beneficioso tanto para las personas como para la vegetación y los animales.

Estudio de seguridad y salud. El Estudio de Seguridad y Salud es un documento que recoge la normativa general descrita en la Ley 31/1995 de Prevención de Riesgos Laborales. En él se indican las indicaciones que se deben seguir en la ejecución de una obra desde el punto de vista de la seguridad. Se trata de una parte fundamental del proyecto, que todos los involucrados deberían conocer. Las medidas más importantes son el control de riesgos, la adaptación del trabajo, la planificación, la intervención técnica y la protección colectiva frente a la individual.

Pliego de condiciones. Como en todo contrato, se deben establecer las condiciones que todas las partes deben cumplir para que todo lo acordado se mantenga según lo previamente establecido. Como se trata de un proyecto complejo, se deben distinguir condiciones generales, legales, económicas y técnicas. Aun así, no es objeto de este proyecto profundizar en detalle en las condiciones de este acuerdo, si bien dar una idea general de lo que asumen ambas partes.

Presupuesto. El aspecto económico es algo a tener en cuenta en todo proyecto. Por tanto, se analizará en detalle qué elementos son necesarios y el presupuesto que esto conforma. En primer lugar se detallarán las mediciones de los elementos, los precios unitarios y finalmente el presupuesto del proyecto. Mediante este procedimiento se obtiene un presupuesto total de aproximadamente 2.100.000€, sujeto a modificaciones a medida que se avance en la ingeniería de detalle y en la instalación de la planta.

Presupuesto del proyecto

	€	€/Wp	%
Obra civil previa a la construcción	7.000,00	0,00	0,33%
Paneles fotovoltaicos	1.225.000,00	0,35	58,59%
Inversores	225.000,00	0,06	10,76%
Centro de transformación	59.000,00	0,02	2,82%
Centro de seccionamiento	55.000,00	0,02	2,63%
Cableado baja tensión corriente continua	199.041,46	0,06	9,52%
Cableado baja tensión corriente alterna	139.704,54	0,04	6,68%
Red de media tensión	148.000,00	0,04	7,08%
Puesta a tierra	18.000,00	0,01	0,86%
Sistemas de seguridad	15.000,00	0,00	0,72%
Total	2.090.746,00	0,60	

Planos. Para facilitar la comprensión del diseño descrito, se añaden los planos más relevantes para la ejecución del proyecto. Estos serán necesarios para llevar a cabo la instalación de la planta, ya que hay muchos detalles que quedan más claros de esta manera. Son especialmente útiles para ver cómo se disponen los elementos anteriormente descritos en la parcela, así como la conexión entre los mismos.

Los objetivos del proyecto se han conseguido con éxito durante este año, desde la fase de diseño hasta la entrega de la propuesta del proyecto en Industria para su aprobación. Los próximos pasos serán realizar una ingeniería de detalle y proceder a la instalación de la planta.

DESING OF A SOLAR PV PLANT OF 3,5MW LOCATED IN TOLEDO

Author: Cordero Albalá, Carmen.

Director: Blázquez García, M. Inmaculada.

Collaborating entities: Universidad Pontificia de Comillas, Osprel, S.L.

SUMMARY OF THE PROJECT

The aim of this project is the design of a solar PV plant of 3,5MW in the municipality of Alcolea de Tajo, located in Toledo. The purpose of this installation is to supply the generated energy to Iberdrola's distribution grid. It is a real project, which will be done with the promoter Renovables Bercial, S.L. and the engineering company Osprel, S.L. The supervisor of the project is M. Inmaculada Blázquez García, engineer from ICAI. The solar PV plant will be called "JUANPABLOMARIAHUGO". The motivation towards working in this project is the active contribution to the energetic transition.

Design of the solar plant. The design which has been developed covers all the process from the generation to the point in which the energy is supplied to the grid, which is the last point before the Iberdrola substation. The process starts in the transformation of the solar energy received in the solar panels into electric energy, achieving the generation of low voltage DC power. After this, inverters will be used in order to transform that generated power from DC to AC. A transformer will be installed after the inverters to reach the 20kV needed to supply the power to the grid.

Elements needed for the plant	
Solar panels	10.146
DC/AC Inverters	18
Transformer	1
Sectioning centre	1

Calculations. As a needed exercise towards achieving the design of the plant, some calculations are needed in order to justify the magnitudes and the selected elements for the project. The main calculations are used for the design of the wiring system, which includes the DC low voltage networks, which connect the panels with the inverters, the AC low voltage networks, which connect the inverters to the transformer and the medium voltage network, which connects the sectioning centre with the distribution grid.

Wiring system					
	6mm ²	10mm ²	16mm ²	20 mm ²	35mm ²
DC low voltage network (m)	11.952,3	7.924,6	5.212,6	852,0	-
AC low voltage network (m)	1.026,5	2.519,6	1048,6	1.349,6	-
Medium voltage network (m)	-	-	-	-	900,0

Environmental analysis. In order to take into account the correct assumptions for the design of the plant, it is important to analyse the location of the field, as well as its physical and meteorological conditions. The field is located a few kilometres away of the Azutan dam, in an area with not much vegetation or animals, and very flat, which is very appropriate for this particular project. In this area, the temperatures are cold in winter and very warm during the summer, it presents extreme temperatures along the year. The average temperature is 15,6°C.

The environmental impact is analysed, which includes people, animals and plants, getting to positive results. The project doesn't have a negative impact on health, but contributes to the clean energy generation, which is beneficial for people and environment.

Safety and health. The Safety and health analysis is a document which includes the general regulation described in the Law 31/1995 of Labour Risk Prevention. In it, there are described the indications to follow when supervising the works in terms of security. It is a fundamental part of the project, that every person involved should know and follow. The most important aspects are the risk control, the work adaptation, the planning, the technical intervention, and the collective protection.

Conditions Deed. This document includes all the conditions that every part needs to follow in the development of the project. As it is a complex procedure, it is necessary to make a difference between general, legal, economic and technical conditions. It is not part of this project to get into detail regarding the conditions of the contract, but only to give a general overview of them.

Budget. The budget is something to take into account in any project. An analysis has been done in order to see which elements are needed and the total amount which needs to be paid for them. In the first place, the measurements and the price of each element need to be detailed, so that the total budget of the project can be calculated. Through this procedure, the the total budget is aprox. 2.100.000€, which can be modified while the project is being developed.

Budget of the project			
	€	€/Wp	%
Land work before construction	7.000,00	0,00	0,33%
PV modules	1.225.000,00	0,35	58,59%
Inverters	225.000,00	0,06	10,76%
Transformer	59.000,00	0,02	2,82%
Sectioning centre	55.000,00	0,02	2,63%
DC low voltage networks	199.041,46	0,06	9,52%
AC low voltage networks	139.704,54	0,04	6,68%
Medium voltage networks	148.000,00	0,04	7,08%
Grounding	18.000,00	0,01	0,86%

Security systems	15.000,00	0,00	0,72%
Total	2.090.746,00	0,60	

Blueprints. In order to make easier the installation of the plant, the design is completed with some blueprints, which give detail of the most relevant parts of the project. They will be needed in order to do the development, as they make it easier for people to understand. They are especially useful to see the layout that has been previously described, as well as the connections between them.

The objectives of the project have been achieved with success during this year, from the design phase until the presentation of the proposal for its approval. The next steps will be to do a more detailed analysis and start with the construction of the plant.

ESTRUCTURA DEL PROYECTO

DOCUMENTO 1. MEMORIA

DOCUMENTO 2. PLANOS

DOCUMENTO 3. PLIEGO DE CONDICIONES

DOCUMENTO 4. PRESUPUESTO

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

DOCUMENTO 1. MEMORIA

Índice

1. Memoria.....	7
1.1. Objeto.....	7
1.2. Estado del arte.....	8
1.3. Elementos principales.....	9
1.4. Diseño del campo solar	12
1.4.1. Módulos fotovoltaicos	12
1.4.2. Inversores.....	14
1.4.3. Centro de transformación.....	17
1.4.4. Centro de seccionamiento	18
1.4.5. Cableado	19
A. Redes de baja tensión en corriente continua.....	19
B. Redes de baja tensión en corriente alterna.....	21
C. Red subterránea de media tensión.....	22
1.4.6. Obra civil e instalaciones auxiliares	24
A. Vallado perimetral	24
B. Alumbrado	24
C. Sistema de seguridad.....	25
D. Monitorización.....	25
2. Cálculos.....	27
2.1. Redes de baja tensión en corriente continua	27
2.1.1. De Strings a Inversor 1	30
2.1.2. De Strings a Inversor 2	31
2.1.3. De Strings a Inversor 3	32
2.1.4. De Strings a Inversor 4	33
2.1.5. De Strings a Inversor 5	34
2.1.6. De Strings a Inversor 6	35
2.1.7. De Strings a Inversor 7	36
2.1.8. De Strings a Inversor 8	37
2.1.9. De Strings a Inversor 9	38
2.1.10. De Strings a Inversor 10	39
2.1.11. De Strings a Inversor 11	40
2.1.12. De Strings a Inversor 12	41
2.1.13. De Strings a Inversor 13	42
2.1.14. De Strings a Inversor 14	43
2.1.15. De Strings a Inversor 15	44
2.1.16. De Strings a Inversor 16	45
2.1.17. De Strings a Inversor 17	46
2.1.18. De Strings a Inversor 18	47
2.2. Redes de baja tensión en corriente alterna.....	48
2.2.1. De Inversores a Transformador	51
2.3. Red subterránea de media tensión	52
3. Estudio ambiental	57
3.1. Parcela.....	57
3.2. Flora y fauna	57
3.3. Impacto sobre el medio ambiente.....	58
3.3.1. Impacto sobre la población	59

UNIVERSIDAD PONTIFICIA DE COMILLAS
MASTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

3.3.2.	Impacto sobre la flora y la fauna.....	59
3.3.3.	Medidas preventivas	59
4.	Estudio de seguridad y salud	61
4.1.	Sistemas de seguridad.....	61
4.1.1.	Cerramiento y acceso a la parcela.....	61
4.1.2.	Cámaras de seguridad	61
4.1.3.	Alumbrado	61
4.1.4.	Protección frente a incendios	62
4.2.	Suministro de energía y agua.....	62
4.3.	Servicios higiénicos	62

Índice de Tablas

Tabla 1: Principales características de los módulos fotovoltaicos.....	12
Tabla 2: Características de los strings.....	14
Tabla 3: Principales características de los inversores	14
Tabla 4: Magnitudes de entrada a cada inversor.....	15
Tabla 5: Características Inversores Instalación.....	17
Tabla 6: Magnitudes de salida de cada inversor	17
Tabla 7: Características principales del centro de seccionamiento.....	19
Tabla 8: Características de los conductores de baja tensión en corriente continua	20
Tabla 9: Longitud de los circuitos de baja tensión en corriente continua.....	20
Tabla 10: Características de los conductores de baja tensión en corriente alterna	22
Tabla 11: Longitud de los circuitos de baja tensión en corriente alterna.....	22
Tabla 12: Características de los cables subterráneos de media tensión	23
Tabla 13: Longitud de los circuitos de media tensión	23
Tabla 14: Condiciones de los cables de baja tensión en corriente continua	27
Tabla 15: Intensidades máximas admisibles baja tensión.....	28
Tabla 16: Caídas de tensión máximas admisibles.....	29
Tabla 17: Longitud de los circuitos de baja tensión en corriente continua.....	29
Tabla 18: Condiciones de los cables de baja tensión en corriente continua	48
Tabla 19: Longitud de los circuitos de baja tensión en corriente continua.....	50
Tabla 20: Intensidades máximas admisibles media tensión	53
Tabla 21: Resistividad térmica del terreno	53
Tabla 22: Factores de corrección en función de la resistividad térmica del terreno.....	53
Tabla 23: Factores de corrección en función de la profundidad de la zanja.....	54

Índice de Figuras

Figura 1: Montaje de módulos sobre la estructura fija	10
Figura 2: Inversor ABB de 175kV	10
Figura 3: Esquema de la planta	11
Figura 4: Esquema del centro de seccionamiento	18
Figura 5: Zanja para baja tensión y menos de 8 circuitos	21
Figura 6: Zanja para baja tensión y más de 8 circuitos	21
Figura 7: Zanja Media Tensión	23

1. Memoria

1.1. Objeto

El objeto de este proyecto es la ingeniería y el diseño de una planta solar fotovoltaica de 3,5MW situada en el municipio de Alcolea de Tajo, en la provincia de Toledo. El proyecto se clasifica según el RD 413/2014 en el grupo b.1.1. “Instalaciones que utilizan únicamente como energía primaria la energía solar mediante tecnología fotovoltaica”.

Se trata de un proyecto real, que se realizará con la promotora Renovables Bercial, S.L. y la empresa de ingeniería Osprel, S.L., estando el proyecto supervisado por Inmaculada Blázquez, ingeniero del ICAI. La planta solar fotovoltaica recibirá el nombre de “JUANPABLOMARIAHUGO”.

Para llevar a cabo la instalación de una planta solar fotovoltaica se necesita solicitar a Iberdrola Distribución el acceso a red y a Red Eléctrica la conexión, es decir, que haya capacidad suficiente en la red para conectar dicha instalación. Una vez obtenidos los permisos, se deben realizar estudios para comprobar la viabilidad de la construcción, presentando un informe de compatibilidad urbanística y un informe de no afección a cultura, patrimonio, arqueología y zona BIC. Finalmente, se debe presentar el diseño de la planta junto con los planos de la misma, los cálculos y análisis necesarios, un pliego de condiciones y un estudio de seguridad y salud, para proceder a la construcción e instalación del campo solar.

Se incluye a continuación información básica sobre la parcela que se utilizará para este proyecto, pues resulta necesaria para el diseño que se detalla más adelante.

- Provincia: Toledo
- Municipio: Alcolea de Tajo
- Referencia Catastral: 45007A015009360000AX, polígono 15, parcela 936
- Superficie: 8,65 hectáreas
- Coordenadas UTM (HUSO 30):
 - Latitud norte 39° 46' 48,68''
 - Longitud este 5° 5' 3,17''
- Temperatura media anual: 15,6°C

Se detallarán más adelante otros aspectos de la parcela, cuando se trate el entorno de la misma en el estudio ambiental.

1.2. Motivación

La motivación que impulsa la realización de este proyecto es la contribución a la transición energética, tan promovida como inevitable en la situación actual. Cada vez es mayor la conciencia y los medios que incentivan la reducción de contaminantes, siendo la generación de energía limpia es una de las grandes aportaciones al cuidado del medio ambiente.

La Unión Española de Fotovoltaica (UNEF) publicó hace unos meses los resultados de 2018, en los que se destacaba la cifra de 621,7MW instalados de nueva potencia en el último año. Con esto se demostró que la tendencia sigue siendo creciente, pues se registra un crecimiento del 97% respecto a la potencia instalada en 2017 (135MW) y casi un 500% respecto al año anterior (55MW).

La principal razón por la cual los expertos explican este crecimiento desorbitado es la rentabilidad del sector, siendo los costes un 20% del que era hace 10 años. Además, el autoconsumo ha jugado un papel fundamental en estos resultados, siendo un 90% del total de potencia instalada en el último año. Esto se debe, en parte, a la derogación del “Impuesto al Sol” que ha tenido lugar entre octubre de 2018 y febrero de 2019.

Será interesante por tanto observar las nuevas iniciativas gubernamentales en relación a la generación fotovoltaica y al autoconsumo que, por el momento, parecen positivas. Las propuestas como el autoconsumo compartido o la opción de vender la energía excedente al mercado mayorista, parecen ser aliadas frente a la transición energética previamente mencionada. Esto resulta interesante para instalaciones pequeñas como la que se plantea en este proyecto.

Por lo tanto, se trata de un tema bastante explorado pero que, a su vez, presenta multitud de oportunidades para los próximos años, siendo tan rentable como novedoso y planteándose como una alternativa cada vez más real a tecnologías convencionales.

1.3. Estado del arte

La instalación de una planta solar fotovoltaica cuenta generalmente con los subsistemas descritos a continuación.

Generador fotovoltaico. Con la instalación de módulos solares conectados en serie, se consigue transformar la energía solar recibida en energía eléctrica mediante el efecto fotovoltaico. Este consiste en utilizar la radiación solar para generar un movimiento de electrones entre las distintas capas de las células solares, con lo que se consigue crear una corriente continua de baja tensión proporcional a la radiación incidente. Para esta instalación los strings estarán formados por 28 módulos en serie.

Inversores. Tras la generación de corriente continua de baja tensión en los módulos solares, se utilizan inversores para obtener corriente alterna, lo cual es necesario para

poder conectar el generador con el sistema de acondicionamiento de potencia. Para ello, habrá que usar las protecciones necesarias frente a sobretensiones y sobre intensidades. Se puede utilizar un inversor central o varios inversores parciales más pequeños. En este caso, para evitar caídas de tensión elevadas y por comodidad en mantenimiento, se ha planteado una solución con varios inversores parciales, como se detallará posteriormente.

Sistema de acondicionamiento de tensión. En este punto de la instalación se tiene una corriente alterna de baja tensión. Se utilizará un transformador de BT/MT para alcanzar los 20kV necesarios para inyectar la corriente generada en una subestación de Iberdrola Distribución, que se encuentra muy cerca de la finca donde se va a construir la planta solar. Dado que se necesita atravesar una pequeña carretera para acceder a la subestación, se utilizará una línea subterránea de MT.

Sistemas auxiliares. Para terminar, será necesario añadir sistemas auxiliares de medición, control, comunicación, alumbrado, y seguridad para garantizar el buen funcionamiento de la planta. Esto se englobará en la sección de sistemas auxiliares, donde se aportará una descripción general de los mismos.

1.4. Elementos principales

A continuación se muestran los principales detalles de los elementos de la planta solar fotovoltaica, que se desarrollarán en más profundidad en los siguientes apartados. Con esto se pretende dar una idea general de las magnitudes del proyecto y de los elementos necesarios para la instalación.

En primer lugar, las magnitudes principales de la planta son las que se indican a continuación:

- Potencia de pico: 3,5MW – Es la potencia aceptada por Iberdrola Distribución
- Potencia nominal: 3,3MW – Es la potencia aceptada por Red Eléctrica
- Relación entre potencias: 5,71%
- Tensión de red: 20kV – Es la tensión a la que se debe inyectar la corriente en la subestación de Iberdrola Distribución

Teniendo en cuenta estas magnitudes que se deben alcanzar, se procede a dimensionar cada uno de los elementos, en lo que se incluye la selección del fabricante y el número de elementos necesarios.

Módulos fotovoltaicos. Serán del fabricante Q-Cells, tendrán una potencia de 345Wp y se instalarán sobre una estructura metálica fija con una inclinación de 30°. Con dichas características, se puede calcular el número de módulos necesarios para generar la energía prevista.

$$\text{Número de módulos fotovoltaicos} = \frac{\text{Potencia generada}}{\text{Potencia módulo}} = \frac{3.500.000}{345} = 10.145$$

Se instalarán 10.146 módulos, ya que es necesario contar con un número par para la conexión de polos.

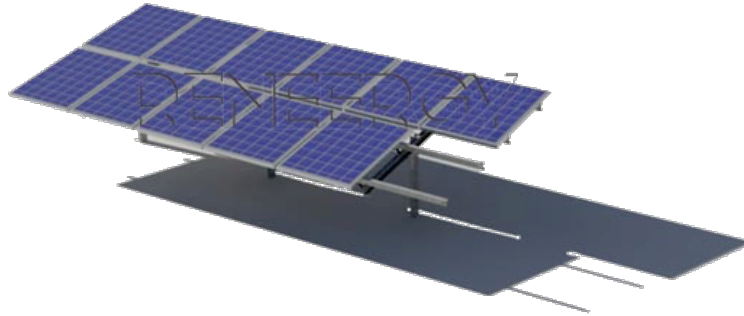


Figura 1: Montaje de módulos sobre la estructura fija

Inversores. Serán del fabricante ABB y tendrán una potencia de 175kW a la temperatura crítica de diseño (45°C). Inicialmente se han diseñado inversores con una repotenciación de 11%, que concuerda con la aceptación de conexión de REE, que permite 3,3MW nominales, por lo que serán necesarios 18 inversores. Para ganar exactitud, finalmente se han dispuesto esos mismos 18 inversores, 17 de ellos con una repotenciación de 10,4% (20 strings a la entrada) y uno de ellos con una repotenciación de 15,9% (21 strings a la entrada).



Figura 2: Inversor ABB de 175kW

A cada inversor se conectará un máximo de 20 strings en paralelo formado por 28 módulos en serie. Una vez seleccionados los inversores, se pueden definir otras dos magnitudes intermedias, además de las previamente mencionadas:

- Tensión de generación en corriente continua: 1,5kV – Es la tensión de entrada al inversor
- Tensión de generación en corriente alterna: 800V – Es la tensión de salida del inversor

Cableado de BT. Será al aire siempre que pueda ir sobre las estructuras metálicas y enterrado bajo tubo en el resto de los casos. Se utilizarán cables de distintos diámetros, que se calcularán utilizando como restricción la caída de tensión en ellos.

Cableado de MT. Como se ha indicado previamente, dado que se debe atravesar una carretera, el cableado que conecta la instalación con la subestación de Iberderola Distribución será enterrado bajo tubo, para lo cual se debe analizar cuál es la mejor disposición que garantice la máxima seguridad.

Centro de transformación. Será del fabricante Ormazabal y tendrá una potencia de 3,5MW, lo cual es más que suficiente si se tiene en cuenta que la potencia nominal que se entrega a la red no superará los 3,3MW nominales. A la entrada de este centro de transformación se conecta la salida de cada inversor, es decir, tendrá 18 entradas y una salida al centro de seccionamiento.

Centro de seccionamiento. También será del fabricante Ormazabal por facilidad en la interoperabilidad. El centro de seccionamiento será de 2L + 1LM + 1P, es decir, cuenta con tres entradas, una de ellas con medición de potencia, y una protección.

Sistemas auxiliares. El sistema de vallado tendrá una altura de 2m y ocupará todo el perímetro de la parcela, con el objetivo de proteger la parcela frente a robos e intrusión. Dicho vallado perimetral sostendrá también el sistema de seguridad, es decir, las cámaras y alarmas para evitar intrusiones. El alumbrado será de tipo exterior y tendrá una altura de 6m. Finalmente, para la instalación de puesta a tierra se conectarán a tierra todas las masas metálicas de la instalación así como el vallado.

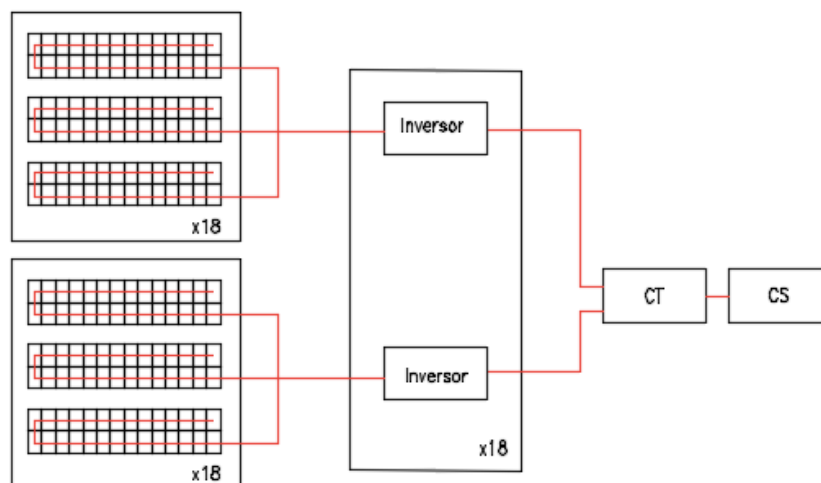


Figura 3: Esquema de la planta

En el esquema de la planta se observan los strings formados por 28 módulos, los grupos de 18 strings que se conectan a la entrada de cada inversor, la salida de los 18 inversores conectada a la entrada del centro de transformación, y la salida de este al centro de

seccionamiento. De aquí sale la conexión a red en una red de media tensión, que se conectará directamente a la línea de Iberdrola Distribución.

1.5. Diseño del campo solar

1.5.1. Módulos fotovoltaicos

Los módulos fotovoltaicos que se van a utilizar son del modelo Q.PRIME L-G5 345 del fabricante Q-Cells. Por tratarse del primer elemento seleccionado, todos los cálculos del proyecto se basan en las características de estos, por lo que si se cambiase de módulos habría que recalcular las magnitudes del resto de elementos.

Las principales características de estos se muestran en la Tabla 1: Principales características de los módulos fotovoltaicos. En el Anexo 1: Módulos solares monocristalinos Q.PRIME L-G5 325-345 se pueden encontrar el resto de magnitudes de las placas fotovoltaicas.

Principales características de los módulos fotovoltaicos		
Potencia	[W]	345
Intensidad	[A]	8,99
Tensión	[V]	38,4
Corriente de cortocircuito	[A]	9,46
Corriente en circuito abierto	[A]	46,3
Eficiencia	[%]	17,7

Tabla 1: Principales características de los módulos fotovoltaicos

Dado que la generación debe ser de 3,5MW y los módulos seleccionados son de 345 W, se necesitará instalar al menos 10.145 paneles en el campo solar.

$$\text{Número de módulos} = \frac{\text{Potencia generada}}{\text{Potencia módulos}} = \frac{3.500.000 \text{ W}}{345 \text{ W}} = 10.145$$

Se instalarán 10.146 módulos para garantizar la compatibilidad de conexión entre polos, ya que para esto se necesita un número par.

Los módulos deben ser independientes en cuanto a referencia y numeración, con el objetivo de ser fácilmente localizables en caso de avería. Además, para aumentar la seguridad y la eficacia, se instalarán interruptores automáticos y fusibles para que un fallo en un panel no afecte al resto de la instalación.

La inclinación óptima de los módulos se ha obtenido mediante dos procedimientos distintos.

- En primer lugar, se ha llevado a cabo una simulación en PVSyst 6.40, con lo que se obtiene la producción anual para distintas inclinaciones. Con este método, se obtiene que la inclinación óptima de los módulos es 31°.
- En segundo lugar, se ha calculado utilizando la fórmula que se indica en el “Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones Conectadas a Red. PCT-C-REV” del IDAE.

$$\text{Inclinación óptima} = 3,7 + 0,69 * \text{latitud} = 3,7 + 0,69 * 39,85 = 31,20^\circ$$

El montaje de los módulos se hará sobre estructuras metálicas prefabricadas de acero galvanizado S235 JR y conformado en frío. Dado que fabricar estructuras a medida encarecería excesivamente el presupuesto, se han seleccionado estructuras del fabricante Reenergy, del grupo Asturmadi, con una inclinación de 30°, por ser el ángulo disponible entre los estándar del fabricante que más se parece al que hemos obtenido por los métodos descritos. Las estructuras tendrán dos filas de siete módulos verticalmente dispuestos, por lo que harán falta 725 estructuras.

$$\text{Número de estructuras} = \frac{10.146}{7 * 2} = 725$$

Dichas estructuras son fijas, aunque podría resultar interesante analizar qué beneficio se obtendría si fuesen con seguimiento estacional con dos posiciones. Irán ancladas al terreno con un sistema telescópico, con el objetivo de compensar las leves inclinaciones del terreno, consiguiendo una mayor uniformidad en la altura de los módulos. El anclaje al terreno se conseguirá estabilizar con una profundidad de 24cm en las patas delanteras y de 30cm en las traseras, diferencia que se justifica por el momento que se crea por la inclinación de los módulos. Cada estructura soportará 14 módulos, dispuestos en dos filas de 7, colocados de manera vertical. La altura a la que se colocarán los paneles es de 10cm respecto al suelo, lo cual sitúa el borde superior de los módulos a 2,06m del suelo. Dichas medidas son apropiadas, dado que consiguen una posición suficientemente alta para aislar los módulos del suelo y evitar así una mayor exposición a la suciedad y al polvo del terreno, pero lo suficientemente accesible para facilitar la limpieza y el mantenimiento de los mismos.

La distancia entre una fila de módulos y la siguiente será de 5,01m, puesto que es lo que se ha calculado para garantizar que en ningún momento una fila de paneles proyectará su sombra sobre la fila siguiente. La distancia es suficiente para el montaje, por lo que esto no supone una restricción.

El procedimiento de montaje se llevará a cabo de forma manual, dado que no se suelen utilizar técnicas automatizadas para ello.

La conexión de los paneles se realizará en strings, que son agrupaciones de 28 módulos en serie. Las magnitudes de los mismos se muestran en la Tabla 2: Características de los strings.

Características de los strings		
Número de módulos en serie	[-]	28
Número de strings	[-]	362
Tensión string	[V]	1.075
Corriente string	[A]	8,99
Potencia string	[W]	9.660

Tabla 2: Características de los strings

1.5.2. Inversores

Los inversores que se van a utilizar son del fabricante ABB, modelo PVS-175@1500, cuyas magnitudes principales se muestran en la Tabla 3: Principales características de los inversores. En el Anexo 2: Inversores ABB se pueden encontrar el resto de magnitudes de dichos elementos.

Principales características de los inversores		
Tensión máxima entrada	[V]	1.500
Número de MPPT independientes	[-]	12
Rango de tensión de entrada MPPT	[V]	800 - 1.350
Corriente de cortocircuito MPPT	[A]	30
Número de entradas para cada MPPT	[-]	2

Tabla 3: Principales características de los inversores

Con estas magnitudes, el cálculo del número de inversores necesarios en la instalación es sencillo:

$$\text{Número de inversores} = \frac{\text{Potencia generada}}{\text{Potencia inversor}} = \frac{3.500.000}{175.000} = 20$$

Sin embargo, para conseguir un mayor rendimiento en los inversores, se propone una repotenciación de los mismos, que consiste en aumentar la potencia de entrada en cada inversor por encima de su límite. Esto conseguirá además una reducción del número de inversores y, por tanto, una reducción de costes. Para decidir la repotenciación que se llevará a cabo se tendrán en cuenta dos aspectos:

- La potencia nominal en red permitida por REE es de 3,3MW
- La repotenciación suele estar recomendada en un rango de 5% a 15%

Se analizarán distintos escenarios para ver cuál es el óptimo en este caso.

Escenario 1: Instalación con 19 inversores

$$Potencia = Potencia\ inversor * número\ de\ inversores = 175.000 * 19 = 3.325.000W$$

$$Repotenciación = \frac{3.500.000}{3.325.000} - 1 = 5,3\%$$

La potencia es adecuada para la inyección en red, ya que REE permite redondear al primer decimal. La repotenciación también es adecuada, ya que se encuentra dentro del rango recomendado.

Escenario 2: Instalación con 18 inversores

$$Potencia = Potencia\ inversor * número\ de\ inversores = 175.000 * 18 = 3.150.000W$$

$$Repotenciación = \frac{3.500.000}{3.150.000} - 1 = 11,1\%$$

La potencia es adecuada para la inyección en red, ya que no alcanza el límite permitido por REE. La repotenciación también es adecuada, ya que se encuentra dentro del rango recomendado.

Escenario 3: Instalación con 17 inversores

$$Potencia = Potencia\ inversor * número\ de\ inversores = 175.000 * 17 = 2.975.000W$$

$$Repotenciación = \frac{3.500.000}{2.975.000} - 1 = 17,65\%$$

La potencia es adecuada para la inyección en red, ya que no alcanza el límite permitido por REE. La repotenciación no es la más adecuada, ya que se encuentra fuera del rango recomendado.

Por lo tanto, se llevará a cabo el Escenario 2, es decir, 18 inversores con una repotenciación del 11% y una potencia de 3,15MW nominales, por tratarse de una opción más barata que el Escenario 1 pero igualmente válida. Las características a la entrada del inversor se muestran en la Tabla 4: Magnitudes de entrada a cada inversor.

Magnitudes de entrada a cada inversor		
Tensión máxima entrada	[V]	1.500
Corriente máxima entrada	[A]	360
Rango de tensión de entrada MPPT	[V]	800 - 1.350
Potencia máxima	[MW]	3,3
Potencia nominal	[MW]	3,15

Tabla 4: Magnitudes de entrada a cada inversor

Con esto también es posible calcular el número de strings a la entrada de cada inversor.

$$\text{Número de strings por inversor} = \frac{\text{Número de strings}}{\text{Número de inversores}} = \frac{362}{18} = 20,1$$

Se considerarán 20 inversores, ya que el resultado que se obtiene es muy próximo a 20. Con esto, se consigue una potencia de 3,48MW de generación, lo cual se acerca mucho al objetivo inicial.

Se podría plantear una solución más exacta que consistiría en instalar 17 de los inversores con una repotenciación de 10,4%, es decir, introduciendo en ellos 20 strings, y el último con una repotenciación de 15,9%, es decir, introduciendo en él 21 strings. Con esto se conseguiría una potencia generada de 3,49MW.

Aunque teóricamente esto sea correcto, es necesario comprobar por tensión, por intensidad y por potencia que esto no sobrepasa los límites a la entrada del inversor:

- Método por límite de tensión. La tensión máxima a la entrada de cada inversor es de 1.500 V. Dado que la tensión de strings en paralelo no cambia respecto a la de un solo string, se puede observar que los 1.075V no sobrepasan el límite a la entrada del inversor.
- Método por límite de intensidad. La intensidad a la entrada del inversor es la suma de las intensidades de los strings que llegan a él. Por tanto, si entran 21 strings, la intensidad sería:

$$\begin{aligned}\text{Intensidad entrada inversor} &= \text{Número de strings} * \text{Intensidad string} = \\ &= 21 * 8,99 = 188,8A < 360A\end{aligned}$$

Por tanto, se puede observar que la corriente tampoco sobrepasa el límite establecido.

- Método por límite de potencia. La potencia a la entrada del inversor es la suma de las potencias de los distintos strings. Al repotenciar, la potencia generada en los strings será un 11% mayor que la teórica de entrada al inversor.

$$\begin{aligned}\text{Potencia teórica inversor} * \text{Repotenciación} &= N^{\circ} \text{ de strings} * \text{Potencia string} \\ 175.000 * 1,11 &= N^{\circ} \text{ de strings} * 9.660 \\ N^{\circ} \text{ de strings} &= 20,1\end{aligned}$$

Por lo tanto, se cumple el límite de potencia a la entrada del inversor, lo cual es evidente, pues es lo que se ha utilizado para calcular la repotenciación de los mismos.

Con esto se justifica el diseño de los inversores: se instalarán 18 inversores, 17 de ellos con una repotenciación del 10,4% (20 strings a la entrada) y uno con una repotenciación del 15,9% (21 strings a la entrada). Tabla 5: Características Inversores Instalación muestra esto con más detalles, siendo la solución que más se acerca a los 3,5MW inicialmente propuestos.

Características inversores instalación			
Inversor	Strings entrada	Potencia entrada	Repotenciación
1-17	20	193.200	10,4%
18	21	202.860	15,9%

Tabla 5: Características Inversores Instalación

$$Potencia\ total = 193.200 * 17 + 202.860 = 3.487.260MW$$

Como se ha explicado previamente, los inversores convertirán la corriente continua monofásica en corriente alterna trifásica, siendo las características de salida las que se muestran en la Tabla 6: Magnitudes de salida de cada inversor.

Magnitudes de salida de cada inversor		
Tensión de salida	[V]	800
Corriente de salida	[A]	134
Potencia máxima	[W]	185.000

Tabla 6: Magnitudes de salida de cada inversor

1.5.3. Centro de transformación

El centro de transformación eleva la tensión de la corriente alterna que sale de los inversores a la necesaria para poder ser inyectada en la red. A este llegan los 18 cables de salida de los inversores, con las magnitudes descritas previamente. Por tanto, se ha seleccionado un centro de transformación prefabricado BT/MT del fabricante Ormazabal, modelo “Kiosco compacto miniblok”, cuya tensión máxima es 24kV y su potencia 630kVA, lo cual se ajusta sin problema a las magnitudes que se necesitan en esta instalación. Con esto, se consigue aumentar la tensión de 800V de salida de los inversores a 20kV, que es la que se necesita para el acceso a la red de distribución de Iberdrola.

El diseño del centro de transformación es compacto en una caseta prefabricada de hormigón, es decir, cuenta con la protección ideal para una instalación al aire libre como esta. Los detalles del centro de transformación seleccionado se pueden encontrar en el Anexo 3: Centros de transformación Ormazabal.

El montaje del centro de transformación es sencillo, puesto que viene preparado para su instalación directa. Sin embargo, dado que se va a colocar sobre tierra, el terreno debe adecuarse para el posicionamiento de la caseta prefabricada. En primer lugar se realizará

una excavación donde se añadirá una capa de 10 cm de arena. Sobre esta base, se añadirá hormigón en masa H-125, con un mallazo de armadura formado por varillas de acero corrugado de 6 mm de diámetro, en cuadros de 15x15 cm para armar el hormigón de cimentación de la plataforma. Se llenará el hueco con el mismo material hasta que este sobresalga levemente sobre el nivel de la parcela. La caseta prefabricada se dispondrá sobre la plataforma hormigonada.

1.5.4. Centro de seccionamiento

El centro de seccionamiento es el punto de conexión entre la planta de generación y la red de distribución, por lo que a él tienen acceso tanto el propietario de la planta como Iberdrola Distribución. El centro de seccionamiento se instalará también en una caseta prefabricada que incluye todo lo necesario para la evacuación de energía de MT a la red.

El procedimiento de montaje será el mismo que para el centro de transformación, pero el mallazo de armadura será de tipo electro soldado, con el objetivo de mantener la equipotencialidad entre la plataforma y el resto de puntos de la caseta, excepto las puertas y rejillas de ventilación.

El esquema siguiente, Figura 4: Esquema del centro de seccionamiento, muestra el modo de conexión a la red de Iberdrola teniendo en cuenta los sistemas de Telecontrol y Telemida, así como las protecciones necesarias de acuerdo con el RD 413/2014.

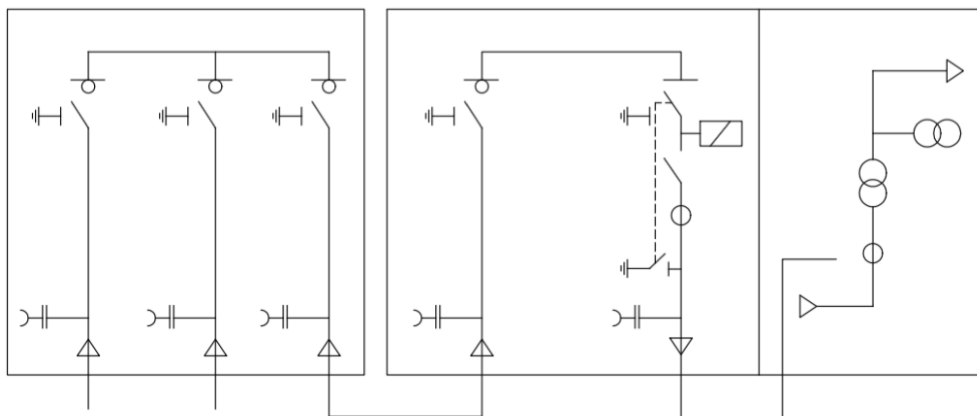


Figura 4: Esquema del centro de seccionamiento

A la izquierda se puede encontrar la unidad de Telecontrol y Medida, necesaria para el control de la planta por parte de Iberdrola. La celda para el telemando, es una celda compacta que contiene:

- 2L+1LM – Es un interruptor rotativo III que tiene conexión, seccionamiento y puesta a tierra. Su tensión nominal es de 24 kV y su intensidad nominal de 400 A.

La corriente de cortocircuito tiene un valor de 16 kA. El interruptor dispone de mando motor y de indicador de presencia de tensión.

- 1P – Es un interruptor rotativo III que tiene conexión, seccionamiento y doble puesta a tierra. Su tensión nominal es de 24 kV y su intensidad nominal de 400 A. La corriente de cortocircuito tiene un valor de 16 kA. El interruptor dispone de mando manual BR y de indicador de presencia de tensión, contactos auxiliares y cartuchos fusibles.

Además, el centro de seccionamiento se incluye una celda con relés de protección para que la instalación pueda ser desconectada instantáneamente en caso de avería o de no cumplir los límites establecidos. Cuenta con un interruptor automático de corte general, situado en el punto de interconexión entre la planta y la red.

A la derecha, en la celda de Medida de Interconexión, se incluyen un transformador de tensión y uno de intensidad para llevar a cabo la medición de potencia. Estos transformadores son de medida de tipo 1 según la normativa de Iberdrola MT 2.80.14, es decir, tienen una precisión de $\pm 0,2\%$ del valor nominal.

Todas las celdas están aisladas con gas SF₆, especialmente necesario para los relés de protección y para las celdas de conexión.

Las magnitudes del centro de seccionamiento se muestran en la Tabla 7: Características principales del centro de seccionamiento.

Características principales del centro de seccionamiento		
Tipo	[-]	2L+1LM+1P
Tensión nominal	[kV]	20
Tensión máxima	[kV]	24

Tabla 7: Características principales del centro de seccionamiento

La salida del centro de seccionamiento será, como se ha indicado previamente, el conductor con el que se realice la conexión a la red de Iberdrola Distribución. La subestación se encuentra a unos 300 metros de la instalación fotovoltaica, pero se utilizará una línea de MT subterránea, ya que se debe atravesar una carretera para llegar a ella. La conexión se realizará en el último apoyo previo a la subestación, con el objetivo de facilitar dicha unión, aunque esto ya no es objeto de este proyecto.

1.5.5. Cableado

A. Redes de baja tensión en corriente continua

Las redes de baja tensión en corriente continua están formadas por las conexiones que van desde los módulos fotovoltaico a la entrada de cada inversor. Dichas conexiones son tanto al aire como subterráneas. Las características de estos cables se muestran en la Tabla 8: Características de los conductores de baja tensión en corriente continua.

Características de los conductores de baja tensión en corriente continua		
Designación	[-]	PV1-F
Conductor	[-]	Cobre electrolítico
Flexibilidad	[-]	Flexible clase 5
Aislamiento	[-]	HEPR, goma tipo EI6/EI8
Cubierta	[-]	Doble capa EVA, compuesto EM4/EM8
Tensión máxima FV	[V]	2.000
Tensión máxima sistemas de c.c.	[V]	900/1.800
Temperatura ambiente máxima	[°C]	-40
Temperatura máxima servicio	[°C]	120
Temperatura máx. cortocircuito	[°C]	250
Vida útil a 90°C	[años]	30

Tabla 8: Características de los conductores de baja tensión en corriente continua

Posteriormente, en el apartado de Cálculos, se indica en detalle el procedimiento del cálculo de sección de cada cable por tramo, teniendo en cuenta la limitación por caída de tensión y las intensidades máximas admisibles. Todo ello se calculará teniendo en cuenta el Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión. Con esto, se obtiene la longitud total que se necesita en función de la sección, tal y como se muestra en la Tabla 9: Longitud de los circuitos de baja tensión en corriente continua

Longitud de los circuitos de baja tensión en corriente continua				
Strings-inversores	6	10	16	25
	11.952,30	7.924,6	5.212,6	852,0

Tabla 9: Longitud de los circuitos de baja tensión en corriente continua

Las zanjas deben realizarse optimizando la distancia, la profundidad, y evitando el desprendimiento de arena o piedras sobre los cables. La profundidad de estas será distinta según el número de circuitos que alberguen. Si la zanja incluye menos de 8 circuitos, la profundidad será de 0,70m, mientras que si incluye más será de 1,10m.

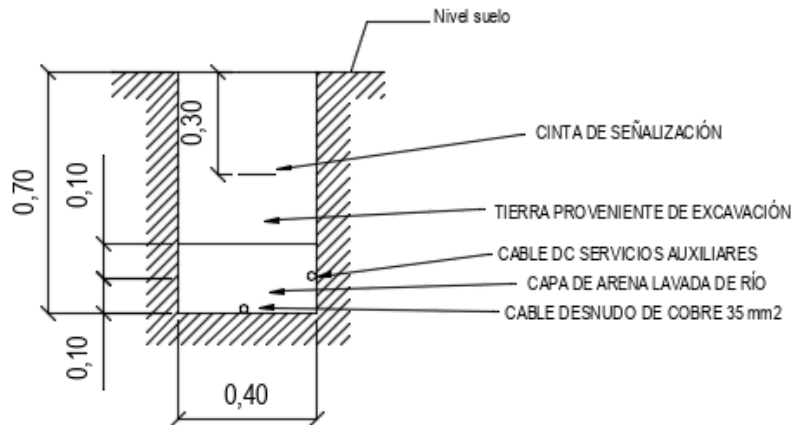


Figura 5: Zanja para baja tensión y menos de 8 circuitos

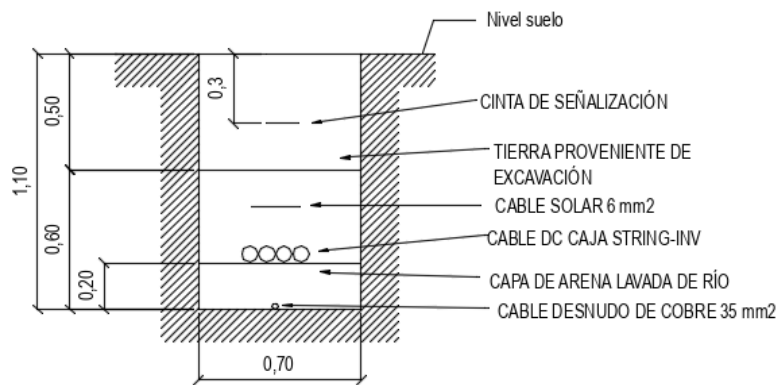


Figura 6: Zanja para baja tensión y más de 8 circuitos

B. Redes de baja tensión en corriente alterna

Las redes de baja tensión en corriente alterna, tal y como se ha indicado previamente, irán de la salida de los inversores a la entrada del centro de transformación. Dichas conexiones son tanto al aire como subterráneas. Las características de estos cables se muestran en la Tabla 10: Características de los conductores de baja tensión en corriente .

Características de los conductores de baja tensión en corriente continua		
Designación	[-]	PV1-F
Conductor	[-]	Cobre electrolítico
Flexibilidad	[-]	Flexible clase 5
Aislamiento	[-]	HEPR, goma tipo EI6/EI8
Cubierta	[-]	Doble capa EVA, compuesto EM4/EM8
Tensión nominal c.a.	[V]	600/1.000
Tensión máxima sistemas de c.a.	[V]	700/1.200

Temperatura ambiente máxima	[°C]	-40
Temperatura máxima servicio	[°C]	120
Temperatura máx. cortocircuito	[°C]	250
Vida útil a 90°C	[años]	30

Tabla 10: Características de los conductores de baja tensión en corriente alterna

Posteriormente, en el apartado de Cálculos, se indica en detalle el procedimiento del cálculo de sección de cada cable, teniendo en cuenta la limitación por caída de tensión y las intensidades máximas admisibles. Todo ello se calculará teniendo en cuenta el Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión. Con esto, se obtiene la longitud total que se necesita en función de la sección, tal y como se muestra en la Tabla 11: Longitud de los circuitos de baja tensión en corriente alterna.

Longitud de los circuitos de baja tensión en corriente alterna				
Inversores-trafo	6	10	16	25
	1.026,50	2.519,60	1048,60	1.349,60

Tabla 11: Longitud de los circuitos de baja tensión en corriente alterna

Las zanjas deben realizarse optimizando la distancia, la profundidad, y evitando el desprendimiento de arena o piedras sobre los cables. La profundidad de estas será distinta según el número de circuitos que alberguen. Si la zanja incluye menos de 8 circuitos, la profundidad será de 0,70m, mientras que si incluye más será de 1,10m. Los esquemas de las zanjas son los mismos que se muestran en el apartado A. Redes de baja tensión en corriente continua.

C. Red subterránea de media tensión

Para el dimensionamiento de los cables subterráneos se tendrá en cuenta la normativa vigente para las instalaciones de MT, es decir, la norma UNE HD 620 y el Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en líneas eléctricas de alta tensión.

Para los conductores de 20kV se debe diseñar un asilamiento suficiente para la protección de las conexiones, por lo que cada cable irá cubierto por un tubo de plástico.

Las zanjas deben realizarse optimizando la distancia, la profundidad, y evitando el desprendimiento de arena o piedras sobre los cables. La profundidad de estas será 110cm, ya que es suficiente para el paso de conductores por debajo de una carretera.

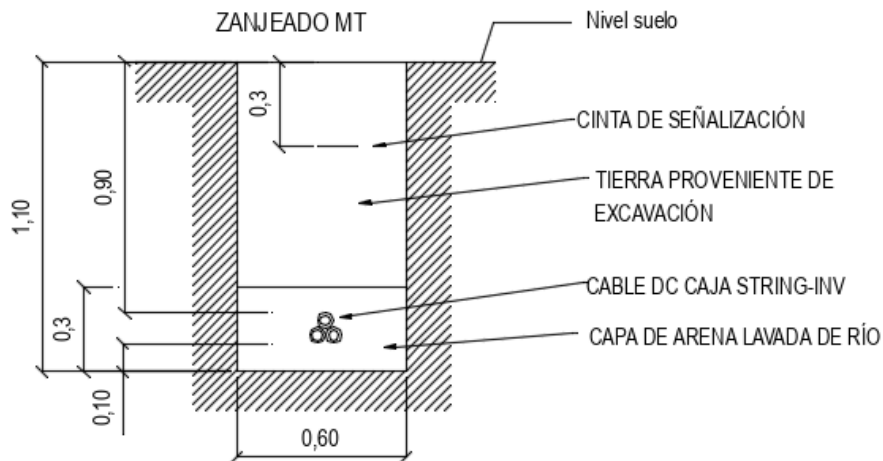


Figura 7: Zanja Media Tensión

La construcción de las zanjas se hace en distintas etapas. En primer lugar se añade una capa 10cm de arena como solera de limpieza, sobre la cual se disponen los tubos de plástico aislante que albergan los conductores. Estos se cubren con arena, hasta conseguir una capa de 10cm sobre los mismos. Se añaden aproximadamente 0,5m de tierra proveniente de excavación. Se coloca posteriormente una cinta de señalización recorriendo toda la longitud de la zanja, indicando que bajo esta se encuentran enterrados conductores de media tensión. Esto se cubre nuevamente con tierra. Para terminar, se debe reponer el pavimento que existía previo a la construcción de la zanja.

Las condiciones para las que se dimensionan los conductores se muestran en la Tabla 12: Características de los cables subterráneos de media tensión.

Características de los cables subterráneos de media tensión		
Potencia máxima	[MW]	3,3
Tensión máxima	[kV]	20
Intensidad de cortocircuito	[A]	130
Temperatura máxima	[°C]	105
Temperatura máx. cortocircuito	[°C]	250

Tabla 12: Características de los cables subterráneos de media tensión

De la misma manera que se calcularon las secciones para los cables de BT, se procede a calcular la longitud de cable para cada sección en la red de MT, tal y como se muestra en la Tabla 12: Longitud de los circuitos de media tensión.

Longitud de los circuitos de media tensión		
Trafo-red	35	50
	0	900

Tabla 13: Longitud de los circuitos de media tensión

1.5.6. Obra civil e instalaciones auxiliares

La parcela que se utilizará para la construcción de la planta solar fotovoltaica tiene unas condiciones apropiadas para la instalación que se propone. Aun así, se debe adecuar el terreno para conseguir que las características de este sean las mejores y, con ello, el rendimiento de la planta sea el máximo.

La parcela cuenta con varias encinas esparcidas de manera desordenada, lo cual podría resultar un inconveniente teniendo en cuenta la sombra que proyectan. Sin embargo, de las 8,65 hectáreas que tiene la finca, se utilizarán 60.268,7m² para la instalación de los paneles solares fotovoltaicos, ya que se trata de una extensión suficiente para conseguir la generación propuesta. Por tanto, los módulos se agruparán esquivando las encinas y sus sombras, sin necesidad de retirarlas.

Puesto que el terreno es bastante plano, se procederá directamente a retirar el cultivo y a compactar la tierra para que la sujeción de todo aquello que vaya hincado en ella tenga una sujeción rígida.

A. Vallado perimetral

El vallado es necesario para evitar la intrusión de personas o animales en el recinto, protegiendo así la instalación y garantizando un mejor funcionamiento. Los postes de metal galvanizado tendrán una altura de 2m, un diámetro de 48mm y 1,2mm de espesor. Sobre cada poste habrá un brazo de 30cm inclinado a 45° hacia el interior de la parcela, con tres hilos de alambre tensado para una mayor seguridad. Cada 3m habrá un dado de anclaje y un bloque de hormigón para fijar dichos postes al terreno. La malla de alambre 50/14 galvanizado de 2mm de diámetro que unirá dichos postes será de simple torsión y contará con un alambre tensado en la parte inferior y otro en la parte superior con el objetivo de conseguir un sistema más rígido.

B. Alumbrado

El alumbrado exterior dispondrá de columnas de acero galvanizado de 4 metros de altura, que deberán diseñarse para evitar en la medida de lo posible que sus sombras incidan sobre los paneles solares. Además, se podrán aprovechar para que sobre ellas se instalen las cámaras de seguridad. El sistema de alumbrado contará también con un cableado interior con manguera de 3 x 2,5 mm² que hará que la corriente llegue a los terminales, donde se encontrará la luminaria de tipo óptica cerrada con lámparas de clase VSAP 150W. Para la protección frente a cortocircuitos y sobreintensidades, se utilizarán interruptores magnetotérmicos.

Cada columna de luz estará conectada a tierra mediante una pica de toma de tierra, y se utilizará un conductor de 16 mm² para unir todas las picas.

El funcionamiento del alumbrado será manual, aunque tendrá un modo automático que irá conectado al sistema de seguridad.

C. Sistema de seguridad

La planta contará con un sistema de seguridad que utilizará cámaras instaladas en el perímetro de la finca y por las cuales se pueda mantener un control de toda la instalación. También contará con un sistema de alarmas que harán llegar un aviso en caso de detectar anomalías en el campo solar.

D. Monitorización

La monitorización de los inversores es una opción interesante a observar dado que puede aumentar notablemente la eficiencia de la planta. Esto es, mediante el análisis en tiempo real de los datos de cada inversor, así como de los strings y cadenas, se puede sacar una mayor rentabilidad de su funcionamiento. Se trata de una solución habitual en plantas solares fotovoltaicas cuyo objetivo principal es detectar cualquier anomalía en estos elementos para poder adoptar soluciones de manera inmediata. Los sistemas de monitorización son fundamentales para un correcto mantenimiento dada la larga vida de las plantas fotovoltaicas.

Para ello, es necesario un control meteorológico de radiación y temperatura, control para la detección de fallos de manera instantánea, así como datos de corriente, tensión y potencia en cada punto en tiempo real. Todos estos datos tienen que poder ser accesibles en todo momento en el sistema de control a través de una red tipo Ethernet.

2. Cálculos

2.1. Redes de baja tensión en corriente continua

El cálculo de las redes de baja tensión en corriente continua se realizará siguiendo la normativa descrita en el Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión. Existen dos métodos para dimensionar los cables, que se explican a continuación:

Método de la Intensidad Máxima Admisible

Se trata de calcular la sección del cable teniendo en cuenta qué corriente es capaz de soportar. En este caso, se debe calcular en primer lugar la intensidad que va por cada cable, utilizando la ley de Ohm, dado que la potencia es conocida y la tensión es la nominal.

A continuación, se deben definir las condiciones de estudio, como se muestra en la Tabla 14: Condiciones de los cables de baja tensión en corriente continua. Con ello, se pueden obtener los factores de corrección que se utilizarán en este método.

Condiciones estándar cables de baja tensión en corriente continua			
Magnitud			Factor de corrección
Redes aéreas (ITC-BT-06)			
Número de cables	2	[-]	0,89
Temperatura ambiente máxima	30	[°C]	1,10
Exposición directa al sol	No	[-]	1,00
Redes subterráneas (ITC-BT-07)			
Temperatura del terreno	25	[°C]	1,00
Resistividad térmica del terreno	1,5	[k·m/W]	1,00
Agrupaciones – número de cables	2	[-]	0,90
Profundidad de la zanja	0,70-1,10	[m]	1,00

Tabla 14: Condiciones de los cables de baja tensión en corriente continua

Para las redes aéreas, se considera una temperatura de ambiente media de 30°C en las horas en las que incide el sol en la planta. Se tiene en cuenta que circulan dos cables (fase y neutro), ya que se trata de una instalación en corriente continua. Dichos conductores van por la parte trasera de los módulos, es decir, no se encuentran expuestos directamente al sol.

Para las redes subterráneas, se considera una temperatura media del terreno de 25°C en las horas en las que incide el sol en la planta y una resistividad térmica del mismo de

1,5k·m/W. Se instalará un circuito por tubo y se enterrarán en zanjas a una profundidad de 0,7m o 1,10m, según el número de circuitos que se entierren en la zanja.

Una vez definida la intensidad y los factores de corrección se debe suponer una sección de cable que se considere adecuada, lo que dará una Intensidad máxima admisible, según la Tabla C-52-1-bis – UNE-HD 60.364-5-52, que se puede encontrar en el Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión. En la Tabla 15: Intensidades máximas admisibles baja tensión se pueden ver dichos valores extraídos del reglamento.

Intensidades máximas admisibles baja tensión		
Sección (mm ²)	Intensidad admisible al aire	Intensidad admisible enterrada
10	51	86
16	68	110
25	86	142
35	107	170
50	131	206
70	167	248
95	203	299
120	236	344

Tabla 15: Intensidades máximas admisibles baja tensión

La intensidad máxima admisible que se obtiene tras la suposición se debe corregir multiplicándola por los factores de corrección previamente obtenidos, y esta intensidad corregida debe ser mayor que la intensidad calculada al principio, que es la que circula realmente por el conductor.

Intensidad máxima admisible corregida > Intensidad del conductor

Si esto no se cumple, se debe repetir el procedimiento suponiendo un diámetro de conductor mayor tantas veces como sea necesario hasta conseguir dimensionar el cable correctamente.

Método de Caída de Tensión Máxima Admisible

En este método, en lugar de fijar un límite de intensidad se dimensiona limitando la caída de tensión en los cables. Como se indica en el reglamento, la caída de tensión entre el generador y el punto de interconexión a la red de distribución no será superior a 1,5% para la intensidad nominal. En esta instalación hay un cable entre strings e inversor, entre inversor y transformador, y entre centro de seccionamiento y punto de interconexión a la red de distribución. En la Tabla 16: Caídas de tensión máximas admisibles se expone la que se ha asignado a cada tramo para garantizar que el total no supera el 1,5% permitido por el reglamento. Esta asignación es arbitraria pero se ha decidido conscientemente teniendo en cuenta las longitudes de los cables que se manejan en cada tramo.

Caídas de tensión máximas admisibles	
Tramo	Δu
Strings - Inversor	0,25%
Inversor - Transformador	0,50%
Centro de seccionamiento - Red de distribución	0,75%

Tabla 16: Caídas de tensión máximas admisibles

El procedimiento que se sigue para el cálculo de secciones de los cables consiste, en primer lugar, en saber la longitud de cable necesaria en cada tramo. Se tendrán en cuenta también la intensidad y potencia nominal del cable, ya que intervienen en el cálculo de la caída de tensión. Una vez recopilados estos datos, se realiza un proceso de prueba y error, es decir, se asume que la sección de todos los cables es 6mm² y se comprueba que la caída de tensión no supere 0,25%, como se indica en la tabla anterior como la máxima admisible en este tramo. La caída de tensión se calcula con las siguientes fórmulas:

$$\Delta U(V) = \frac{2 * longitud * Intensidad}{\gamma * sección}$$

siendo γ la conductividad del cobre en m/(Ω /mm²), que es 58 a temperatura ambiente.

$$\Delta u(\%) = \frac{\Delta U}{Tensión\ del\ cable * Número\ de\ cables}$$

En caso de que la caída de tensión sea mayor que el límite establecido de 0,25%, se vuelve a calcular para un diámetro de 10mm². Se repite este proceso con diámetros de 16mm² y 25mm, en caso de ser necesario, hasta conseguir una caída de tensión apropiada en todos los cables.

De esta manera, la longitud total de los circuitos en función de la sección del conductor queda como se describe en la Tabla 17: Longitud de los circuitos de baja tensión en corriente continua.

Longitud de los circuitos de baja tensión en corriente continua				
Strings-inversores	6	10	16	25
	11.952,3	7.924,6	5.212,6	852,0

Tabla 17: Longitud de los circuitos de baja tensión en corriente continua

A continuación, en las tablas que se añaden, se muestran todos los cálculos realizados para establecer las secciones de los conductores, siguiendo en cada uno de ellos el procedimiento anteriormente descrito.

2.1.1. De Strings a Inversor 1

Desde	Hasta	Área	Longitud (m)		Potencia kW	Intensidad A	Caída de tensión (V)	Caída de tensión (%)	Longitud de los circuitos (m)			
			Enterrada	Equivalente					6	10	16	25
String 1	Inversor 1	17,7	26,1	43,8	9,660	8,99	2,263	0,21%	87,6	-	-	-
String 2	Inversor 1	10,5	19,6	30,1	9,660	8,99	1,555	0,14%	60,2	-	-	-
String 3	Inversor 1	24,5	19,3	43,8	9,660	8,99	2,263	0,21%	87,6	-	-	-
String 4	Inversor 1	5,5	10,9	16,4	9,660	8,99	0,847	0,08%	32,8	-	-	-
String 5	Inversor 1	19,1	11,2	30,3	9,660	8,99	1,566	0,15%	60,6	-	-	-
String 6	Inversor 1	33,4	10,6	44,0	9,660	8,99	2,273	0,21%	88,0	-	-	-
String 7	Inversor 1	0,0	1,7	1,7	9,660	8,99	0,088	0,01%	3,4	-	-	-
String 8	Inversor 1	10,8	2,8	13,6	9,660	8,99	0,700	0,07%	27,1	-	-	-
String 9	Inversor 1	25,0	2,4	27,4	9,660	8,99	1,416	0,13%	54,8	-	-	-
String 10	Inversor 1	39,2	2,0	41,2	9,660	8,99	2,129	0,20%	82,4	-	-	-
String 11	Inversor 1	0,0	3,0	3,0	9,660	8,99	0,155	0,01%	6,0	-	-	-
String 12	Inversor 1	0,0	3,0	3,0	9,660	8,99	0,155	0,01%	6,0	-	-	-
String 13	Inversor 1	15,6	4,6	20,2	9,660	8,99	1,044	0,10%	40,4	-	-	-
String 14	Inversor 1	28,6	4,5	33,1	9,660	8,99	1,710	0,16%	66,2	-	-	-
String 15	Inversor 1	42,5	4,2	46,7	9,660	8,99	2,413	0,22%	93,4	-	-	-
String 16	Inversor 1	56,9	3,7	60,6	9,660	8,99	1,879	0,17%	-	121,2	-	-
String 17	Inversor 1	0,0	11,6	11,6	9,660	8,99	0,599	0,06%	23,2	-	-	-
String 18	Inversor 1	6,9	11,9	18,8	9,660	8,99	0,971	0,09%	37,6	-	-	-
String 19	Inversor 1	0,0	10,5	10,5	9,660	8,99	0,543	0,05%	21,0	-	-	-
String 20	Inversor 1	8,3	11,8	20,1	9,660	8,99	1,039	0,10%	40,2	-	-	-

2.1.2. De Strings a Inversor 2

Desde	Hasta	Área	Longitud (m)		Potencia kW	Intensidad A	Caída de tensión (V)	Caída de tensión (%)	Longitud de los circuitos (m)			
			Enterrada	Equivalente					6	10	16	25
String 1	Inversor 2	22,2	11,6	33,8	9,660	8,99	1,746	0,16%	67,6	-	-	-
String 2	Inversor 2	36,4	11,3	47,7	9,660	8,99	2,465	0,23%	95,4	-	-	-
String 3	Inversor 2	50,5	11,0	61,5	9,660	8,99	1,907	0,18%	-	123,0	-	-
String 4	Inversor 2	28,7	2,5	31,2	9,660	8,99	1,612	0,15%	62,4	-	-	-
String 5	Inversor 2	14,1	2,3	16,4	9,660	8,99	0,847	0,08%	32,8	-	-	-
String 6	Inversor 2	0,0	2,7	2,7	9,660	8,99	0,140	0,01%	5,4	-	-	-
String 7	Inversor 2	0,0	2,7	2,7	9,660	8,99	0,140	0,01%	5,4	-	-	-
String 8	Inversor 2	14,0	3,1	17,1	9,660	8,99	0,884	0,08%	34,2	-	-	-
String 9	Inversor 2	28,1	2,9	31,0	9,660	8,99	1,602	0,15%	62,0	-	-	-
String 10	Inversor 2	56,7	2,7	59,4	9,660	8,99	1,841	0,17%	-	118,8	-	-
String 11	Inversor 2	42,3	2,4	44,7	9,660	8,99	2,310	0,21%	89,4	-	-	-
String 12	Inversor 2	35,7	4,1	39,8	9,660	8,99	2,057	0,19%	79,6	-	-	-
String 13	Inversor 2	21,4	4,0	25,4	9,660	8,99	1,312	0,12%	50,8	-	-	-
String 14	Inversor 2	6,9	3,8	10,7	9,660	8,99	0,553	0,05%	21,4	-	-	-
String 15	Inversor 2	0,0	2,7	2,7	9,660	8,99	0,140	0,01%	5,4	-	-	-
String 16	Inversor 2	0,0	2,6	2,6	9,660	8,99	0,135	0,01%	5,2	-	-	-
String 17	Inversor 2	14,1	3,7	17,8	9,660	8,99	0,920	0,09%	35,6	-	-	-
String 18	Inversor 2	28,3	3,6	31,9	9,660	8,99	1,648	0,15%	63,8	-	-	-
String 19	Inversor 2	42,6	3,2	45,8	9,660	8,99	2,366	0,22%	91,6	-	-	-
String 20	Inversor 2	57,0	2,5	59,5	9,660	8,99	1,845	0,17%	-	119,0	-	-

2.1.3. De Strings a Inversor 3

Desde	Hasta	Longitud (m)			Potencia kW	Intensidad A	Caída de tensión (V)	Caída de tensión (%)	Longitud de los circuitos (m)			
		Aérea	Enterrada	Equivalente					6	10	16	25
String 1	Inversor 3	2,3	3,7	6,0	9,660	8,99	0,310	0,03%	12,0	-	-	-
String 2	Inversor 3	16,3	3,5	19,8	9,660	8,99	1,023	0,10%	39,6	-	-	-
String 3	Inversor 3	30,5	3,2	33,7	9,660	8,99	1,741	0,16%	67,4	-	-	-
String 4	Inversor 3	44,7	2,9	47,6	9,660	8,99	2,459	0,23%	95,2	-	-	-
String 5	Inversor 3	58,9	2,6	61,5	9,660	8,99	1,907	0,18%	-	123,0	-	-
String 6	Inversor 3	72,9	2,4	75,3	9,660	8,99	2,334	0,22%	-	150,6	-	-
String 7	Inversor 3	0,0	11,6	11,6	9,660	8,99	0,599	0,06%	23,2	-	-	-
String 8	Inversor 3	11,3	11,9	23,2	9,660	8,99	1,199	0,11%	46,4	-	-	-
String 9	Inversor 3	25,7	12,4	38,1	9,660	8,99	1,969	0,18%	76,2	-	-	-
String 10	Inversor 3	40,0	13,0	53,0	9,660	8,99	1,643	0,15%	-	106,0	-	-
String 11	Inversor 3	54,1	13,3	67,4	9,660	8,99	2,089	0,19%	-	134,8	-	-
String 12	Inversor 3	68,5	13,6	82,1	9,660	8,99	1,591	0,15%	-	-	164,2	-
String 13	Inversor 3	83,0	14,1	97,1	9,660	8,99	1,881	0,17%	-	-	194,2	-
String 14	Inversor 3	15,3	4,1	19,4	9,660	8,99	1,002	0,09%	38,8	-	-	-
String 15	Inversor 3	0,0	1,7	1,7	9,660	8,99	0,088	0,01%	3,4	-	-	-
String 16	Inversor 3	0,0	1,7	1,7	9,660	8,99	0,088	0,01%	3,4	-	-	-
String 17	Inversor 3	13,7	2,9	16,6	9,660	8,99	0,858	0,08%	33,2	-	-	-
String 18	Inversor 3	27,6	2,6	30,2	9,660	8,99	1,560	0,15%	60,4	-	-	-
String 19	Inversor 3	21,3	4,3	25,6	9,660	8,99	1,323	0,12%	51,2	-	-	-
String 20	Inversor 3	7,0	4,0	11,0	9,660	8,99	0,568	0,05%	22,0	-	-	-

2.1.4. De Strings a Inversor 4

Desde	Hasta	Área	Longitud (m)		Potencia kW	Intensidad A	Caída de tensión (V)	Caída de tensión (%)	Longitud de los circuitos (m)			
			Enterrada	Equivalente					6	10	16	25
String 1	Inversor 4	0,0	2,2	2,2	9,660	8,99	0,114	0,01%	4,4	-	-	-
String 2	Inversor 4	6,0	4,2	10,2	9,660	8,99	0,527	0,05%	20,4	-	-	-
String 3	Inversor 4	20,5	4,5	25,0	9,660	8,99	1,292	0,12%	50,0	-	-	-
String 4	Inversor 4	28,6	13,1	41,7	9,660	8,99	2,155	0,20%	83,4	-	-	-
String 5	Inversor 4	14,1	12,7	26,8	9,660	8,99	1,385	0,13%	53,6	-	-	-
String 6	Inversor 4	0,0	10,9	10,9	9,660	8,99	0,563	0,05%	21,8	-	-	-
String 7	Inversor 4	0,0	10,9	10,9	9,660	8,99	0,563	0,05%	21,8	-	-	-
String 8	Inversor 4	13,9	12,5	26,4	9,660	8,99	1,364	0,13%	52,8	-	-	-
String 9	Inversor 4	28,2	12,8	41,0	9,660	8,99	2,118	0,20%	82,0	-	-	-
String 10	Inversor 4	42,8	13,2	56,0	9,660	8,99	1,736	0,16%	-	112,0	-	-
String 11	Inversor 4	57,5	13,5	71,0	9,660	8,99	2,201	0,20%	-	142,0	-	-
String 12	Inversor 4	2,5	0,0	2,5	9,660	8,99	0,129	0,01%	5,0	-	-	-
String 13	Inversor 4	16,7	0,0	16,7	9,660	8,99	0,863	0,08%	33,4	-	-	-
String 14	Inversor 4	31,1	0,0	31,1	9,660	8,99	1,607	0,15%	62,2	-	-	-
String 15	Inversor 4	45,4	0,0	45,4	9,660	8,99	2,346	0,22%	90,8	-	-	-
String 16	Inversor 4	60,0	0,0	60,0	9,660	8,99	1,860	0,17%	-	120,0	-	-
String 17	Inversor 4	25,4	9,6	35,0	9,660	8,99	1,808	0,17%	70,0	-	-	-
String 18	Inversor 4	39,9	9,5	49,4	9,660	8,99	2,552	0,24%	98,8	-	-	-
String 19	Inversor 4	54,1	9,2	63,3	9,660	8,99	1,962	0,18%	-	126,6	-	-
String 20	Inversor 4	68,2	8,9	77,1	9,660	8,99	2,390	0,22%	-	154,2	-	-

2.1.5. De Strings a Inversor 5

Desde	Hasta	Área	Longitud (m)		Potencia kW	Intensidad A	Caída de tensión (V)	Caída de tensión (%)	Longitud de los circuitos (m)			
			Enterrada	Equivalente					6	10	16	25
String 1	Inversor 5	82,7	8,1	90,8	9.660	8,99	1,759	0,16%	-	-	181,6	-
String 2	Inversor 5	14,9	17,1	32,0	9.660	8,99	1,653	0,15%	64,0	-	-	-
String 3	Inversor 5	23,6	18,2	41,8	9.660	8,99	2,160	0,20%	83,6	-	-	-
String 4	Inversor 5	37,8	18,2	56,0	9.660	8,99	1,736	0,16%	-	112,0	-	-
String 5	Inversor 5	52,2	18,3	70,5	9.660	8,99	2,186	0,20%	-	141,0	-	-
String 6	Inversor 5	13,1	24,4	37,5	9.660	8,99	1,938	0,18%	75,0	-	-	-
String 7	Inversor 5	14,1	24,5	38,6	9.660	8,99	1,994	0,19%	77,2	-	-	-
String 8	Inversor 5	28,4	24,6	53,0	9.660	8,99	1,643	0,15%	-	106,0	-	-
String 9	Inversor 5	42,9	25,0	67,9	9.660	8,99	2,105	0,20%	-	135,8	-	-
String 10	Inversor 5	24,4	7,9	32,3	9.660	8,99	1,669	0,16%	64,6	-	-	-
String 11	Inversor 5	38,6	9,2	47,8	9.660	8,99	2,470	0,23%	95,6	-	-	-
String 12	Inversor 5	52,9	9,4	62,3	9.660	8,99	1,931	0,18%	-	124,6	-	-
String 13	Inversor 5	67,3	9,3	76,6	9.660	8,99	2,375	0,22%	-	153,2	-	-
String 14	Inversor 5	25,5	9,5	35,0	9.660	8,99	1,808	0,17%	70,0	-	-	-
String 15	Inversor 5	0,0	1,8	1,8	9.660	8,99	0,093	0,01%	3,6	-	-	-
String 16	Inversor 5	13,7	2,4	16,1	9.660	8,99	0,832	0,08%	32,2	-	-	-
String 17	Inversor 5	28,0	2,7	30,7	9.660	8,99	1,586	0,15%	61,4	-	-	-
String 18	Inversor 5	42,4	2,8	45,2	9.660	8,99	2,335	0,22%	90,4	-	-	-
String 19	Inversor 5	56,6	3,2	59,8	9.660	8,99	1,854	0,17%	-	119,6	-	-
String 20	Inversor 5	70,8	3,3	74,1	9.660	8,99	2,297	0,21%	-	148,2	-	-

2.1.6. De Strings a Inversor 6

Desde	Hasta	Longitud (m)			Potencia kW	Intensidad A	Caída de tensión (V)	Caída de tensión (%)	Longitud de los circuitos (m)				
		Aérea	Enterrada	Equivalente					6	10	16	25	
String 1	Inversor 6	85,2	3,6	88,8	9.660	8,99	1,721	0,16%	-	-	177,6	-	
String 2	Inversor 6	10,1	11,2	21,3	9.660	8,99	1,101	0,10%	42,6	-	-	-	
String 3	Inversor 6	23,4	11,1	34,5	9.660	8,99	1,783	0,17%	69,0	-	-	-	
String 4	Inversor 6	38,5	10,9	49,4	9.660	8,99	0,613	0,06%	-	-	-	-	
String 5	Inversor 6	52,6	10,8	63,4	9.660	8,99	1,965	0,18%	-	126,8	-	-	
String 6	Inversor 6	66,6	10,6	77,2	9.660	8,99	2,393	0,22%	-	154,4	-	-	
String 7	Inversor 6	80,5	10,4	90,9	9.660	8,99	1,761	0,16%	-	-	181,8	-	
String 8	Inversor 6	76,6	8,7	85,3	9.660	8,99	1,653	0,15%	-	-	170,6	-	
String 9	Inversor 6	3,2	0,0	3,2	9.660	8,99	0,165	0,02%	6,4	-	-	-	
String 10	Inversor 6	17,9	0,0	17,9	9.660	8,99	0,925	0,09%	35,8	-	-	-	
String 11	Inversor 6	31,8	0,0	31,8	9.660	8,99	1,643	0,15%	63,6	-	-	-	
String 12	Inversor 6	46,1	0,0	46,1	9.660	8,99	2,382	0,22%	92,2	-	-	-	
String 13	Inversor 6	92,4	16,2	108,6	9.660	8,99	2,104	0,20%	-	-	217,2	-	
String 14	Inversor 6	7,1	7,6	14,7	9.660	8,99	0,760	0,07%	29,4	-	-	-	
String 15	Inversor 6	21,5	9,0	30,5	9.660	8,99	1,576	0,15%	61,0	-	-	-	
String 16	Inversor 6	46,7	9,0	55,7	9.660	8,99	1,727	0,16%	-	111,4	-	-	
String 17	Inversor 6	95,2	25,4	120,6	9.660	8,99	2,337	0,22%	-	-	241,2	-	
String 18	Inversor 6	16,4	9,5	25,9	9.660	8,99	1,338	0,12%	51,8	-	-	-	
String 19	Inversor 6	105,1	34,9	140,0	9.660	8,99	1,736	0,16%	-	-	-	280,0	
String 20	Inversor 6	106,3	35,2	141,5	9.660	8,99	1,755	0,16%	-	-	-	283,0	

2.1.7. De Strings a Inversor 7

Desde	Hasta	Longitud (m)			Potencia kW	Intensidad A	Caída de tensión (V)	Caída de tensión (%)	Longitud de los circuitos (m)			
		Aérea	Enterrada	Equivalente					6	10	16	25
String 1	Inversor 7	62,2	25,5	87,7	9.660	8,99	1,699	0,16%	-	-	175,4	-
String 2	Inversor 7	76,6	25,4	102,0	9.660	8,99	1,976	0,18%	-	-	204,0	-
String 3	Inversor 7	90,5	25,4	115,9	9.660	8,99	2,246	0,21%	-	-	231,8	-
String 4	Inversor 7	104,5	25,4	129,9	9.660	8,99	2,517	0,23%	-	-	259,8	-
String 5	Inversor 7	119,1	25,4	144,5	9.660	8,99	1,792	0,17%	-	-	-	289,0
String 6	Inversor 7	0,0	3,2	3,2	9.660	8,99	0,165	0,02%	6,4	-	-	-
String 7	Inversor 7	7,4	3,4	10,8	9.660	8,99	0,558	0,05%	21,6	-	-	-
String 8	Inversor 7	0,0	3,0	3,0	9.660	8,99	0,155	0,01%	6,0	-	-	-
String 9	Inversor 7	13,7	3,7	17,4	9.660	8,99	0,899	0,08%	34,8	-	-	-
String 10	Inversor 7	27,7	3,2	30,9	9.660	8,99	1,597	0,15%	61,8	-	-	-
String 11	Inversor 7	41,8	3,0	44,8	9.660	8,99	2,315	0,22%	89,6	-	-	-
String 12	Inversor 7	56,1	2,7	58,8	9.660	8,99	1,823	0,17%	-	117,6	-	-
String 13	Inversor 7	70,2	2,4	72,6	9.660	8,99	2,251	0,21%	-	145,2	-	-
String 14	Inversor 7	84,2	1,9	86,1	9.660	8,99	1,668	0,16%	-	-	172,2	-
String 15	Inversor 7	98,2	1,6	99,8	9.660	8,99	1,934	0,18%	-	-	199,6	-
String 16	Inversor 7	6,1	10,7	16,8	9.660	8,99	0,868	0,08%	33,6	-	-	-
String 17	Inversor 7	20,4	1,0	21,4	9.660	8,99	1,106	0,10%	42,8	-	-	-
String 18	Inversor 7	34,6	10,7	45,3	9.660	8,99	2,341	0,22%	90,6	-	-	-
String 19	Inversor 7	48,7	10,6	59,3	9.660	8,99	1,838	0,17%	-	118,6	-	-
String 20	Inversor 7	62,8	10,4	73,2	9.660	8,99	2,269	0,21%	-	146,4	-	-

2.1.8. De Strings a Inversor 8

Desde	Hasta	Área	Longitud (m)		Potencia kW	Intensidad A	Caída de tensión (V)	Caída de tensión (%)	Longitud de los circuitos (m)			
			Enterrada	Equivalente					6	10	16	25
String 1	Inversor 8	77,8	12,2	90,0	9.660	8,99	1,744	0,16%	-	-	180,0	-
String 2	Inversor 8	92,1	12,4	104,5	9.660	8,99	2,025	0,19%	-	-	209,0	-
String 3	Inversor 8	106,3	12,8	119,1	9.660	8,99	2,308	0,21%	-	-	238,2	-
String 4	Inversor 8	11,6	1,4	13,0	9.660	8,99	0,672	0,06%	26,0	-	-	-
String 5	Inversor 8	2,2	3,7	5,9	9.660	8,99	0,305	0,03%	11,8	-	-	-
String 6	Inversor 8	15,6	3,5	19,1	9.660	8,99	0,987	0,09%	38,2	-	-	-
String 7	Inversor 8	29,6	3,7	33,3	9.660	8,99	1,721	0,16%	66,6	-	-	-
String 8	Inversor 8	44,8	3,3	48,1	9.660	8,99	2,485	0,23%	96,2	-	-	-
String 9	Inversor 8	58,9	3,1	62,0	9.660	8,99	1,922	0,18%	-	124,0	-	-
String 10	Inversor 8	72,8	2,8	75,6	9.660	8,99	2,344	0,22%	-	151,2	-	-
String 11	Inversor 8	86,9	2,6	89,5	9.660	8,99	1,734	0,16%	-	-	179,0	-
String 12	Inversor 8	100,7	2,3	103,0	9.660	8,99	1,996	0,19%	-	-	206,0	-
String 13	Inversor 8	114,9	2,2	117,1	9.660	8,99	2,269	0,21%	-	-	234,2	-
String 14	Inversor 8	4,9	2,8	7,7	9.660	8,99	0,398	0,04%	15,4	-	-	-
String 15	Inversor 8	0,0	3,0	3,0	9.660	8,99	0,155	0,01%	6,0	-	-	-
String 16	Inversor 8	69,8	10,7	80,5	9.660	8,99	2,496	0,23%	-	161,0	-	-
String 17	Inversor 8	83,8	10,5	94,3	9.660	8,99	1,827	0,17%	-	-	188,6	-
String 18	Inversor 8	98,0	10,3	108,3	9.660	8,99	2,098	0,20%	-	-	216,6	-
String 19	Inversor 8	112,1	10,0	122,1	9.660	8,99	2,366	0,22%	-	-	244,2	-
String 20	Inversor 8	0,0	11,3	11,3	9.660	8,99	0,584	0,05%	22,6	-	-	-

2.1.9. De Strings a Inversor 9

Desde	Hasta	Área	Longitud (m)		Potencia kW	Intensidad A	Caída de tensión (V)	Caída de tensión (%)	Longitud de los circuitos (m)			
			Enterrada	Equivalente					6	10	16	25
String 1	Inversor 9	0,0	20,1	20,1	9.660	8,99	1,039	0,10%	40,2	-	-	-
String 2	Inversor 9	19,6	2,3	21,9	9.660	8,99	1,132	0,11%	43,8	-	-	-
String 3	Inversor 9	5,7	2,5	8,2	9.660	8,99	0,424	0,04%	16,4	-	-	-
String 4	Inversor 9	8,3	2,0	10,3	9.660	8,99	0,532	0,05%	20,6	-	-	-
String 5	Inversor 9	22,7	2,2	24,9	9.660	8,99	1,287	0,12%	49,8	-	-	-
String 6	Inversor 9	0,0	2,4	2,4	9.660	8,99	0,124	0,01%	4,8	-	-	-
String 7	Inversor 9	13,0	2,9	15,9	9.660	8,99	0,822	0,08%	31,8	-	-	-
String 8	Inversor 9	27,6	3,1	30,7	9.660	8,99	1,586	0,15%	61,4	-	-	-
String 9	Inversor 9	41,7	3,3	45,0	9.660	8,99	2,325	0,22%	90,0	-	-	-
String 10	Inversor 9	56,3	3,4	59,7	9.660	8,99	1,851	0,17%	-	119,4	-	-
String 11	Inversor 9	70,6	3,5	74,1	9.660	8,99	2,297	0,21%	-	148,2	-	-
String 12	Inversor 9	84,8	3,6	88,4	9.660	8,99	1,713	0,16%	-	-	176,8	-
String 13	Inversor 9	11,5	11,4	22,9	9.660	8,99	1,183	0,11%	45,8	-	-	-
String 14	Inversor 9	11,8	13,0	24,8	9.660	8,99	1,281	0,12%	49,6	-	-	-
String 15	Inversor 9	26,0	13,1	39,1	9.660	8,99	2,020	0,19%	78,2	-	-	-
String 16	Inversor 9	40,4	13,3	53,7	9.660	8,99	1,665	0,15%	-	107,4	-	-
String 17	Inversor 9	55,0	13,5	68,5	9.660	8,99	2,124	0,20%	-	137,0	-	-
String 18	Inversor 9	69,4	13,6	83,0	9.660	8,99	2,573	0,24%	-	166,0	-	-
String 19	Inversor 9	83,8	13,9	97,7	9.660	8,99	1,893	0,18%	-	-	195,4	-
String 20	Inversor 9	0,0	10,5	10,5	9.660	8,99	0,543	0,05%	21,0	-	-	-

2.1.10. De Strings a Inversor 10

Desde	Hasta	Longitud (m)			Potencia kW	Intensidad A	Caída de tensión (V)	Caída de tensión (%)	Longitud de los circuitos (m)			
		Área	Enterrada	Equivalente					6	10	16	25
String 1	Inversor 10	0,0	10,4	10,4	9.660	8,99	0,537	0,05%	20,8	-	-	-
String 2	Inversor 10	14,4	10,3	24,7	9.660	8,99	1,276	0,12%	49,4	-	-	-
String 3	Inversor 10	28,4	10,1	38,5	9.660	8,99	1,989	0,19%	77,0	-	-	-
String 4	Inversor 10	1,8	1,8	3,6	9.660	8,99	0,186	0,02%	7,2	-	-	-
String 5	Inversor 10	0,0	1,8	1,8	9.660	8,99	0,093	0,01%	3,6	-	-	-
String 6	Inversor 10	10,9	1,1	12,0	9.660	8,99	0,620	0,06%	24,0	-	-	-
String 7	Inversor 10	25,4	1,5	26,9	9.660	8,99	1,390	0,13%	53,8	-	-	-
String 8	Inversor 10	40,0	1,8	41,8	9.660	8,99	2,160	0,20%	83,6	-	-	-
String 9	Inversor 10	36,3	3,3	39,6	9.660	8,99	2,046	0,19%	79,2	-	-	-
String 10	Inversor 10	22,1	3,4	25,5	9.660	8,99	1,318	0,12%	51,0	-	-	-
String 11	Inversor 10	8,1	3,7	11,8	9.660	8,99	0,610	0,06%	23,6	-	-	-
String 12	Inversor 10	0,0	3,7	3,7	9.660	8,99	0,191	0,02%	7,4	-	-	-
String 13	Inversor 10	6,7	3,8	10,5	9.660	8,99	0,543	0,05%	21,0	-	-	-
String 14	Inversor 10	21,1	3,8	24,9	9.660	8,99	1,287	0,12%	49,8	-	-	-
String 15	Inversor 10	35,1	3,5	38,6	9.660	8,99	1,994	0,19%	77,2	-	-	-
String 16	Inversor 10	49,5	3,4	52,9	9.660	8,99	1,640	0,15%	-	105,8	-	-
String 17	Inversor 10	10,3	11,0	21,3	9.660	8,99	1,101	0,10%	42,6	-	-	-
String 18	Inversor 10	11,0	11,5	22,5	9.660	8,99	1,163	0,11%	45,0	-	-	-
String 19	Inversor 10	25,4	11,3	36,7	9.660	8,99	1,896	0,18%	73,4	-	-	-
String 20	Inversor 10	39,5	11,2	50,7	9.660	8,99	1,572	0,15%	-	101,4	-	-

2.1.11. De Strings a Inversor 11

Desde	Hasta	Longitud (m)			Potencia kW	Intensidad A	Caída de tensión (V)	Caída de tensión (%)	Longitud de los circuitos (m)			
		Área	Enterrada	Equivalente					6	10	16	25
String 1	Inversor 11	53,6	11,0	64,6	9.660	8,99	2,003	0,19%	-	129,2	-	-
String 2	Inversor 11	67,5	10,8	78,3	9.660	8,99	2,427	0,23%	-	156,6	-	-
String 3	Inversor 11	3,1	2,1	5,2	9.660	8,99	0,269	0,02%	10,4	-	-	-
String 4	Inversor 11	0,0	2,1	2,1	9.660	8,99	0,109	0,01%	4,2	-	-	-
String 5	Inversor 11	10,7	2,3	13,0	9.660	8,99	0,672	0,06%	26,0	-	-	-
String 6	Inversor 11	25,2	2,2	27,4	9.660	8,99	1,416	0,13%	54,8	-	-	-
String 7	Inversor 11	39,2	2,0	41,2	9.660	8,99	2,129	0,20%	82,4	-	-	-
String 8	Inversor 11	53,5	2,0	55,5	9.660	8,99	1,721	0,16%	-	111,0	-	-
String 9	Inversor 11	67,7	1,9	69,6	9.660	8,99	2,158	0,20%	-	139,2	-	-
String 10	Inversor 11	55,6	3,1	58,7	9.660	8,99	1,820	0,17%	-	117,4	-	-
String 11	Inversor 11	41,1	2,8	43,9	9.660	8,99	2,268	0,21%	87,8	-	-	-
String 12	Inversor 11	26,2	2,3	28,5	9.660	8,99	1,473	0,14%	57,0	-	-	-
String 13	Inversor 11	12,3	3,7	16,0	9.660	8,99	0,827	0,08%	32,0	-	-	-
String 14	Inversor 11	0,0	3,1	3,1	9.660	8,99	0,160	0,01%	6,2	-	-	-
String 15	Inversor 11	28,7	2,0	30,7	9.660	8,99	1,586	0,15%	61,4	-	-	-
String 16	Inversor 11	14,6	2,2	16,8	9.660	8,99	0,868	0,08%	33,6	-	-	-
String 17	Inversor 11	0,8	2,4	3,2	9.660	8,99	0,165	0,02%	6,4	-	-	-
String 18	Inversor 11	0,0	1,8	1,8	9.660	8,99	0,093	0,01%	3,6	-	-	-
String 19	Inversor 11	13,3	2,2	15,5	9.660	8,99	0,801	0,07%	31,0	-	-	-
String 20	Inversor 11	27,7	2,4	30,1	9.660	8,99	1,555	0,14%	60,2	-	-	-

2.1.12. De Strings a Inversor 12

Desde	Hasta	Longitud (m)			Potencia kW	Intensidad A	Caída de tensión (V)	Caída de tensión (%)	Longitud de los circuitos (m)			
		Área	Enterrada	Equivalente					6	10	16	25
String 1	Inversor 12	42,1	2,8	44,9	9.660	8,99	2,320	0,22%	89,8	-	-	-
String 2	Inversor 12	56,4	3,1	59,5	9.660	8,99	1,845	0,17%	-	119,0	-	-
String 3	Inversor 12	71,1	3,3	74,4	9.660	8,99	2,306	0,21%	-	148,8	-	-
String 4	Inversor 12	34,4	2,9	37,3	9.660	8,99	1,927	0,18%	74,6	-	-	-
String 5	Inversor 12	20,0	2,7	22,7	9.660	8,99	1,173	0,11%	45,4	-	-	-
String 6	Inversor 12	5,7	2,5	8,2	9.660	8,99	0,424	0,04%	16,4	-	-	-
String 7	Inversor 12	0,0	2,6	2,6	9.660	8,99	0,134	0,01%	5,2	-	-	-
String 8	Inversor 12	9,1	2,8	11,9	9.660	8,99	0,615	0,06%	23,8	-	-	-
String 9	Inversor 12	23,1	2,7	25,8	9.660	8,99	1,333	0,12%	51,6	-	-	-
String 10	Inversor 12	37,4	2,5	39,9	9.660	8,99	2,062	0,19%	79,8	-	-	-
String 11	Inversor 12	51,5	2,2	53,7	9.660	8,99	1,665	0,15%	-	107,4	-	-
String 12	Inversor 12	38,1	11,1	49,2	9.660	8,99	2,542	0,24%	98,4	-	-	-
String 13	Inversor 12	0,0	2,1	2,1	9.660	8,99	0,109	0,01%	4,2	-	-	-
String 14	Inversor 12	8,7	2,3	11,0	9.660	8,99	0,568	0,05%	22,0	-	-	-
String 15	Inversor 12	22,9	2,5	25,4	9.660	8,99	1,312	0,12%	50,8	-	-	-
String 16	Inversor 12	37,7	2,7	40,4	9.660	8,99	2,087	0,19%	80,8	-	-	-
String 17	Inversor 12	52,2	2,9	55,1	9.660	8,99	1,708	0,16%	-	110,2	-	-
String 18	Inversor 12	66,6	3,4	70,0	9.660	8,99	2,170	0,20%	-	140,0	-	-
String 19	Inversor 12	57,3	2,9	60,2	9.660	8,99	1,866	0,17%	-	120,4	-	-
String 20	Inversor 12	42,8	2,8	45,6	9.660	8,99	2,356	0,22%	91,2	-	-	-

2.1.13. De Strings a Inversor 13

Desde	Hasta	Longitud (m)			Potencia kW	Intensidad A	Caída de tensión (V)	Caída de tensión (%)	Longitud de los circuitos (m)			
		Aérea	Enterrada	Equivalente					6	10	16	25
String 1	Inversor 13	28,5	2,7	31,2	9.660	8,99	1,612	0,15%	62,4	-	-	-
String 2	Inversor 13	14,0	2,6	16,6	9.660	8,99	0,858	0,08%	33,2	-	-	-
String 3	Inversor 13	0,0	2,9	2,9	9.660	8,99	0,150	0,01%	5,8	-	-	-
String 4	Inversor 13	0,5	2,9	3,4	9.660	8,99	0,176	0,02%	6,8	-	-	-
String 5	Inversor 13	14,8	2,7	17,5	9.660	8,99	0,904	0,08%	35,0	-	-	-
String 6	Inversor 13	29,1	2,5	31,6	9.660	8,99	1,633	0,15%	63,2	-	-	-
String 7	Inversor 13	43,0	2,2	45,2	9.660	8,99	2,335	0,22%	90,4	-	-	-
String 8	Inversor 13	57,1	1,9	59,0	9.660	8,99	1,829	0,17%	-	118,0	-	-
String 9	Inversor 13	71,1	1,7	72,8	9.660	8,99	2,257	0,21%	-	145,6	-	-
String 10	Inversor 13	85,1	1,6	86,7	9.660	8,99	1,680	0,16%	-	-	173,4	-
String 11	Inversor 13	52,4	3,0	55,4	9.660	8,99	1,717	0,16%	-	110,8	-	-
String 12	Inversor 13	38,2	3,2	41,4	9.660	8,99	2,139	0,20%	82,8	-	-	-
String 13	Inversor 13	24,1	3,3	27,4	9.660	8,99	1,416	0,13%	54,8	-	-	-
String 14	Inversor 13	9,8	3,4	13,2	9.660	8,99	0,682	0,06%	26,4	-	-	-
String 15	Inversor 13	0,0	2,5	2,5	9.660	8,99	0,129	0,01%	5,0	-	-	-
String 16	Inversor 13	5,0	3,4	8,4	9.660	8,99	0,434	0,04%	16,8	-	-	-
String 17	Inversor 13	19,2	3,1	22,3	9.660	8,99	1,152	0,11%	44,6	-	-	-
String 18	Inversor 13	33,1	3,1	36,2	9.660	8,99	1,870	0,17%	72,4	-	-	-
String 19	Inversor 13	47,3	2,9	50,2	9.660	8,99	1,556	0,14%	-	100,4	-	-
String 20	Inversor 13	61,4	2,6	64,0	9.660	8,99	1,984	0,18%	-	128,0	-	-

2.1.14. De Strings a Inversor 14

Desde	Hasta	Longitud (m)			Potencia kW	Intensidad A	Caída de tensión (V)	Caída de tensión (%)	Longitud de los circuitos (m)			
		Área	Enterrada	Equivalente					6	10	16	25
String 1	Inversor 14	43,6	3,0	46,6	9.660	8,99	2,408	0,22%	93,2	-	-	-
String 2	Inversor 14	29,2	2,9	32,1	9.660	8,99	1,659	0,15%	64,2	-	-	-
String 3	Inversor 14	14,8	2,7	17,5	9.660	8,99	0,904	0,08%	35,0	-	-	-
String 4	Inversor 14	0,0	2,3	2,3	9.660	8,99	0,119	0,01%	4,6	-	-	-
String 5	Inversor 14	0,0	2,0	2,0	9.660	8,99	0,103	0,01%	4,0	-	-	-
String 6	Inversor 14	14,2	3,0	17,2	9.660	8,99	0,889	0,08%	34,4	-	-	-
String 7	Inversor 14	28,3	2,9	31,2	9.660	8,99	1,612	0,15%	62,4	-	-	-
String 8	Inversor 14	42,6	2,6	45,2	9.660	8,99	2,335	0,22%	90,4	-	-	-
String 9	Inversor 14	0,0	11,4	11,4	9.660	8,99	0,589	0,05%	22,8	-	-	-
String 10	Inversor 14	4,8	12,2	17,0	9.660	8,99	0,878	0,08%	34,0	-	-	-
String 11	Inversor 14	18,9	12,0	30,9	9.660	8,99	1,597	0,15%	61,8	-	-	-
String 12	Inversor 14	33,3	12,1	45,4	9.660	8,99	2,346	0,22%	90,8	-	-	-
String 13	Inversor 14	47,1	11,8	58,9	9.660	8,99	1,826	0,17%	-	117,8	-	-
String 14	Inversor 14	61,0	11,7	72,7	9.660	8,99	2,254	0,21%	-	145,4	-	-
String 15	Inversor 14	75,0	1,4	76,4	9.660	8,99	2,368	0,22%	-	152,8	-	-
String 16	Inversor 14	31,0	3,6	34,6	9.660	8,99	1,788	0,17%	69,2	-	-	-
String 17	Inversor 14	16,8	3,7	20,5	9.660	8,99	1,059	0,10%	41,0	-	-	-
String 18	Inversor 14	2,7	3,9	6,6	9.660	8,99	0,341	0,03%	13,2	-	-	-
String 19	Inversor 14	0,0	2,6	2,6	9.660	8,99	0,134	0,01%	5,2	-	-	-
String 20	Inversor 14	51,4	2,7	54,1	9.660	8,99	1,677	0,16%	-	108,2	-	-

2.1.15. De Strings a Inversor 15

Desde	Hasta	Longitud (m)			Potencia kW	Intensidad A	Caída de tensión (V)	Caída de tensión (%)	Longitud de los circuitos (m)			
		Área	Enterrada	Equivalente					6	10	16	25
String 1	Inversor 15	37,2	3,2	40,4	9.660	8,99	2,087	0,19%	80,8	-	-	-
String 2	Inversor 15	23,1	3,9	27,0	9.660	8,99	1,395	0,13%	54,0	-	-	-
String 3	Inversor 15	9,1	3,9	13,0	9.660	8,99	0,672	0,06%	26,0	-	-	-
String 4	Inversor 15	0,0	2,6	2,6	9.660	8,99	0,134	0,01%	5,2	-	-	-
String 5	Inversor 15	38,9	10,6	49,5	9.660	8,99	2,558	0,24%	99,0	-	-	-
String 6	Inversor 15	0,0	10,6	10,6	9.660	8,99	0,548	0,05%	21,2	-	-	-
String 7	Inversor 15	28,5	11,4	39,9	9.660	8,99	2,062	0,19%	79,8	-	-	-
String 8	Inversor 15	14,4	11,6	26,0	9.660	8,99	1,343	0,12%	52,0	-	-	-
String 9	Inversor 15	0,0	11,6	11,6	9.660	8,99	0,599	0,06%	23,2	-	-	-
String 10	Inversor 15	0,0	11,6	11,6	9.660	8,99	0,599	0,06%	23,2	-	-	-
String 11	Inversor 15	21,7	4,5	26,2	9.660	8,99	1,354	0,13%	52,4	-	-	-
String 12	Inversor 15	7,3	4,2	11,5	9.660	8,99	0,594	0,06%	23,0	-	-	-
String 13	Inversor 15	0,0	2,2	2,2	9.660	8,99	0,114	0,01%	4,4	-	-	-
String 14	Inversor 15	6,2	4,1	10,3	9.660	8,99	0,532	0,05%	20,6	-	-	-
String 15	Inversor 15	20,5	3,7	24,2	9.660	8,99	1,250	0,12%	48,4	-	-	-
String 16	Inversor 15	34,4	3,1	37,5	9.660	8,99	1,938	0,18%	75,0	-	-	-
String 17	Inversor 15	17,3	2,4	19,7	9.660	8,99	1,018	0,09%	39,4	-	-	-
String 18	Inversor 15	2,8	2,2	5,0	9.660	8,99	0,258	0,02%	10,0	-	-	-
String 19	Inversor 15	0,0	2,1	2,1	9.660	8,99	0,109	0,01%	4,2	-	-	-
String 20	Inversor 15	12,4	3,1	15,5	9.660	8,99	0,801	0,07%	31,0	-	-	-

2.1.16. De Strings a Inversor 16

Desde	Hasta	Longitud (m)			Potencia kW	Intensidad A	Caída de tensión (V)	Caída de tensión (%)	Longitud de los circuitos (m)			
		Área	Enterrada	Equivalente					6	10	16	25
String 1	Inversor 16	26,4	2,8	29,2	9.660	8,99	1,509	0,14%	58,4	-	-	-
String 2	Inversor 16	40,3	2,4	42,7	9.660	8,99	2,206	0,21%	85,4	-	-	-
String 3	Inversor 16	0,0	11,7	11,7	9.660	8,99	0,605	0,06%	23,4	-	-	-
String 4	Inversor 16	6,9	11,7	18,6	9.660	8,99	0,961	0,09%	37,2	-	-	-
String 5	Inversor 16	21,0	11,3	32,3	9.660	8,99	1,669	0,16%	64,6	-	-	-
String 6	Inversor 16	15,1	3,4	18,5	9.660	8,99	0,956	0,09%	37,0	-	-	-
String 7	Inversor 16	0,7	3,2	3,9	9.660	8,99	0,202	0,02%	7,8	-	-	-
String 8	Inversor 16	0,0	3,4	3,4	9.660	8,99	0,176	0,02%	6,8	-	-	-
String 9	Inversor 16	13,9	3,1	17,0	9.660	8,99	0,878	0,08%	34,0	-	-	-
String 10	Inversor 16	28,0	2,9	30,9	9.660	8,99	1,597	0,15%	61,8	-	-	-
String 11	Inversor 16	16,0	3,1	19,1	9.660	8,99	0,987	0,09%	38,2	-	-	-
String 12	Inversor 16	1,6	2,7	4,3	9.660	8,99	0,222	0,02%	8,6	-	-	-
String 13	Inversor 16	0,0	2,6	2,6	9.660	8,99	0,134	0,01%	5,2	-	-	-
String 14	Inversor 16	12,6	2,7	15,3	9.660	8,99	0,791	0,07%	30,6	-	-	-
String 15	Inversor 16	38,6	13,2	51,8	9.660	8,99	1,606	0,15%	-	103,6	-	-
String 16	Inversor 16	24,2	12,9	37,1	9.660	8,99	1,917	0,18%	74,2	-	-	-
String 17	Inversor 16	9,9	12,7	22,6	9.660	8,99	1,168	0,11%	45,2	-	-	-
String 18	Inversor 16	0,0	11,4	11,4	9.660	8,99	0,589	0,05%	22,8	-	-	-
String 19	Inversor 16	5,0	13,0	18,0	9.660	8,99	0,930	0,09%	36,0	-	-	-
String 20	Inversor 16	18,9	12,7	31,6	9.660	8,99	1,633	0,15%	63,2	-	-	-

2.1.17. De Strings a Inversor 17

Desde	Hasta	Longitud (m)			Potencia kW	Intensidad A	Caída de tensión (V)	Caída de tensión (%)	Longitud de los circuitos (m)			
		Área	Enterrada	Equivalente					6	10	16	25
String 1	Inversor 17	28,7	2,5	31,2	9.660	8,99	1,612	0,15%	62,4	-	-	-
String 2	Inversor 17	14,8	2,8	17,6	9.660	8,99	0,909	0,08%	35,2	-	-	-
String 3	Inversor 17	0,0	1,9	1,9	9.660	8,99	0,098	0,01%	3,8	-	-	-
String 4	Inversor 17	0,0	1,9	1,9	9.660	8,99	0,098	0,01%	3,8	-	-	-
String 5	Inversor 17	14,5	2,8	17,3	9.660	8,99	0,894	0,08%	34,6	-	-	-
String 6	Inversor 17	28,4	2,5	30,9	9.660	8,99	1,597	0,15%	61,8	-	-	-
String 7	Inversor 17	23,4	5,1	28,5	9.660	8,99	1,473	0,14%	57,0	-	-	-
String 8	Inversor 17	9,1	4,8	13,9	9.660	8,99	0,718	0,07%	27,8	-	-	-
String 9	Inversor 17	0,0	3,3	3,3	9.660	8,99	0,171	0,02%	6,6	-	-	-
String 10	Inversor 17	6,0	5,2	11,2	9.660	8,99	0,579	0,05%	22,4	-	-	-
String 11	Inversor 17	19,8	5,0	24,8	9.660	8,99	1,281	0,12%	49,6	-	-	-
String 12	Inversor 17	33,7	4,6	38,3	9.660	8,99	1,979	0,18%	76,6	-	-	-
String 13	Inversor 17	48,0	4,1	52,1	9.660	8,99	1,615	0,15%	-	104,2	-	-
String 14	Inversor 17	14,1	3,9	18,0	9.660	8,99	0,930	0,09%	36,0	-	-	-
String 15	Inversor 17	0,0	2,1	2,1	9.660	8,99	0,109	0,01%	4,2	-	-	-
String 16	Inversor 17	0,0	2,1	2,1	9.660	8,99	0,109	0,01%	4,2	-	-	-
String 17	Inversor 17	14,3	4,0	18,3	9.660	8,99	0,946	0,09%	36,6	-	-	-
String 18	Inversor 17	8,9	4,5	13,4	9.660	8,99	0,692	0,06%	26,8	-	-	-
String 19	Inversor 17	0,0	3,2	3,2	9.660	8,99	0,165	0,02%	6,4	-	-	-
String 20	Inversor 17	5,0	5,0	10,0	9.660	8,99	0,517	0,05%	20,0	-	-	-

2.1.18. De Strings a Inversor 18

Desde	Hasta	Longitud (m)			Potencia kW	Intensidad A	Caída de tensión (V)	Caída de tensión (%)	Longitud de los circuitos (m)			
		Área	Enterrada	Equivalente					6	10	16	25
String 1	Inversor 18	19,0	4,4	23,4	9.660	8,99	1,209	0,11%	46,8	-	-	-
String 2	Inversor 18	33,4	3,0	36,4	9.660	8,99	1,881	0,17%	72,8	-	-	-
String 3	Inversor 18	36,5	13,3	49,8	9.660	8,99	2,573	0,24%	99,6	-	-	-
String 4	Inversor 18	21,7	12,8	34,5	9.660	8,99	1,783	0,17%	69,0	-	-	-
String 5	Inversor 18	7,8	13,1	20,9	9.660	8,99	1,080	0,10%	41,8	-	-	-
String 6	Inversor 18	0,0	11,7	11,7	9.660	8,99	0,605	0,06%	23,4	-	-	-
String 7	Inversor 18	7,2	13,7	20,9	9.660	8,99	1,080	0,10%	41,8	-	-	-
String 8	Inversor 18	21,1	13,3	34,4	9.660	8,99	1,777	0,17%	68,8	-	-	-
String 9	Inversor 18	35,1	12,8	47,9	9.660	8,99	2,475	0,23%	95,8	-	-	-
String 10	Inversor 18	20,1	20,1	40,2	9.660	8,99	2,077	0,19%	80,4	-	-	-
String 11	Inversor 18	5,7	19,3	25,0	9.660	8,99	1,292	0,12%	50,0	-	-	-
String 12	Inversor 18	0,0	20,4	20,4	9.660	8,99	1,054	0,10%	40,8	-	-	-
String 13	Inversor 18	9,2	20,5	29,7	9.660	8,99	1,535	0,14%	59,4	-	-	-
String 14	Inversor 18	23,4	20,3	43,7	9.660	8,99	2,258	0,21%	87,4	-	-	-
String 15	Inversor 18	37,5	20,0	57,5	9.660	8,99	1,783	0,17%	-	115,0	-	-
String 16	Inversor 18	51,5	19,6	71,1	9.660	8,99	2,204	0,20%	-	142,2	-	-
String 17	Inversor 18	14,0	11,3	25,3	9.660	8,99	1,307	0,12%	50,6	-	-	-
String 18	Inversor 18	0,0	11,3	11,3	9.660	8,99	0,584	0,05%	22,6	-	-	-
String 19	Inversor 18	0,0	11,3	11,3	9.660	8,99	0,584	0,05%	22,6	-	-	-
String 20	Inversor 18	7,9	10,3	18,2	9.660	8,99	0,940	0,09%	36,4	-	-	-
String 21	Inversor 18	0,0	2,4	2,4	9.660	8,99	0,126	0,01%	4,7	-	-	-

2.2. Redes de baja tensión en corriente alterna

El cálculo de las redes de baja tensión en corriente alterna se realizará siguiendo la normativa descrita en el Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión. Existen dos métodos para dimensionar los cables, que se explican a continuación:

Método de la Intensidad Máxima Admisible

Se trata de calcular la sección del cable teniendo en cuenta qué corriente es capaz de soportar. En este caso, se debe calcular en primer lugar la intensidad que va por cada cable, utilizando la ley de Ohm para trifásica, dado que la potencia es conocida y la tensión es la nominal.

A continuación, se deben definir las condiciones de estudio, como se muestra en la Tabla 18: Condiciones de los cables de baja tensión en corriente continua. Con ello, se pueden obtener los factores de corrección que se utilizarán en este método.

Condiciones estándar cables de baja tensión en corriente continua			
Magnitud			Factor de corrección
Redes aéreas (ITC-BT-06)			
Número de cables	3	[-]	0,89
Temperatura ambiente máxima	30	[°C]	1,10
Exposición directa al sol	No	[-]	1,00
Redes subterráneas (ITC-BT-07)			
Temperatura del terreno	25	[°C]	1,00
Resistividad térmica del terreno	1,5	[k·m/W]	1,00
Agrupaciones – número de cables	3	[-]	0,90
Profundidad de la zanja	0,70-1,10	[m]	1,00

Tabla 18: Condiciones de los cables de baja tensión en corriente continua

Para las redes aéreas, se considera una temperatura de ambiente media de 30°C en las horas en las que incide el sol en la planta. Se tiene en cuenta que circulan tres cables, ya que se trata de una instalación en corriente alterna. Dichos conductores van por la parte trasera de los módulos, es decir, no se encuentran expuestos directamente al sol.

Para las redes subterráneas, se considera una temperatura media del terreno de 25°C en las horas en las que incide el sol en la planta y una resistividad térmica del mismo de 1,5k·m/W. Se instalará un circuito por tubo y se enterrarán en zanjas a una profundidad de 0,70m o 1,10m, según el número de circuitos que correspondan a cada zanja.

Una vez definida la intensidad y los factores de corrección se debe suponer una sección de cable que se considere adecuada, lo que dará una Intensidad máxima admisible, según la Tabla C-52-1-bis – UNE-HD 60.364-5-52, que se puede encontrar en el Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión. En la Tabla 15: Intensidades máximas admisibles baja tensión se pueden ver dichos valores extraídos del reglamento.

La intensidad máxima admisible que se obtiene tras la suposición se debe corregir multiplicándola por los factores de corrección previamente obtenidos, y esta intensidad corregida debe ser mayor que la intensidad calculada al principio, que es la que circula realmente por el conductor.

Intensidad máxima admisible corregida > Intensidad del conductor

Si esto no se cumple, se debe repetir el procedimiento suponiendo un diámetro de conductor mayor tantas veces como sea necesario hasta conseguir dimensionar el cable correctamente.

Método de Caída de tensión Máxima Admisible

En este método, en lugar de fijar un límite de intensidad se dimensiona limitando la caída de tensión en los cables. Como se indica en el apartado anterior, en la Tabla 18: Condiciones de los cables de baja tensión en corriente continua, la caída de tensión máxima admisible para este tramo es de 0,50%.

El procedimiento que se sigue para el cálculo de secciones de los cables consiste, en primer lugar, en saber la longitud de cable necesaria en cada tramo. Se tendrán en cuenta también la intensidad y potencia nominal del cable, ya que intervienen en el cálculo de la caída de tensión. Una vez recopilados estos datos, se realiza un proceso de prueba y error, es decir, se asume que la sección de todos los cables es 6mm² y se comprueba que la caída de tensión no supere 0,50%. La caída de tensión se calcula con las siguientes fórmulas:

$$\Delta U(V) = \frac{\sqrt{3} * longitud * Intensidad}{\gamma * sección}$$

siendo γ la conductividad del cobre en m/(Ω /mm²), que es 58 a temperatura ambiente.

$$\Delta u(\%) = \frac{\Delta U}{Tensión\ del\ cable * Número\ de\ cables}$$

En caso de que la caída de tensión sea mayor que el límite establecido de 0,50%, se vuelve a calcular para un diámetro de 10mm². Se repite este proceso con diámetros de 16mm² y 25mm², en caso de ser necesario, hasta conseguir una caída de tensión apropiada en todos los cables.

De esta manera, la longitud total de los circuitos en función de la sección del conductor queda como se describe en la Tabla 19: Longitud de los circuitos de baja tensión en corriente continua

Longitud de los circuitos de baja tensión en corriente continua				
Strings-inversores	6	10	16	25
	1.026,5	2.519,6	1048,6	1.349,6

Tabla 19: Longitud de los circuitos de baja tensión en corriente continua

A continuación, en las tablas que se añaden, se muestran todos los cálculos realizados para establecer las secciones de los conductores, siguiendo en cada uno de ellos el procedimiento anteriormente descrito.

2.2.1. De Inversores a Transformador

Desde	Hasta	Longitud (m)		Potencia kW	Intensidad A	Caída de tensión (V)	Caída de tensión (%)	Longitud de los circuitos (m)			
		Aérea	Enterrada	Equivalente				6	10	16	25
Inversor 1	Trafo	0,0	111,1	111,1	8,99	5,151	0,48%	222,3	-	-	-
Inversor 2	Trafo	0,0	112,8	112,8	8,99	5,227	0,49%	225,6	-	-	-
Inversor 3	Trafo	0,0	122,5	122,5	8,99	3,406	0,32%	-	245,0	-	-
Inversor 4	Trafo	0,0	73,5	73,5	8,99	3,406	0,32%	147,0	-	-	-
Inversor 5	Trafo	0,0	112,8	112,8	8,99	5,227	0,49%	225,6	-	-	-
Inversor 6	Trafo	0,0	143,5	143,5	8,99	3,990	0,37%	-	287,0	-	-
Inversor 7	Trafo	0,0	29,7	29,7	8,99	1,376	0,13%	59,4	-	-	-
Inversor 8	Trafo	0,0	73,3	73,3	8,99	3,397	0,32%	146,6	-	-	-
Inversor 9	Trafo	0,0	183,3	183,3	8,99	5,097	0,47%	-	366,6	-	-
Inversor 10	Trafo	0,0	325,0	325,0	8,99	3,615	0,34%	-	-	-	650,0
Inversor 11	Trafo	0,0	177,8	177,8	8,99	4,944	0,46%	-	355,6	-	-
Inversor 12	Trafo	0,0	349,8	349,8	8,99	3,891	0,36%	-	-	-	699,6
Inversor 13	Trafo	0,0	183,0	183,0	8,99	5,088	0,47%	-	366,0	-	-
Inversor 14	Trafo	0,0	153,6	153,6	8,99	4,271	0,40%	-	307,2	-	-
Inversor 15	Trafo	0,0	276,4	276,4	8,99	4,803	0,45%	-	-	552,8	-
Inversor 16	Trafo	0,0	134,8	134,8	8,99	3,748	0,35%	-	269,6	-	-
Inversor 17	Trafo	0,0	265,9	265,9	8,99	4,621	0,43%	-	-	531,8	-
Inversor 18	Trafo	0,0	161,3	161,3	8,99	4,485	0,42%	-	322,6	-	-

2.3. Red subterránea de media tensión

La red subterránea de media tensión irá desde el centro de seccionamiento hasta el último apoyo previo a la subestación de la red de distribución en la que se va a inyectar la generación de la planta. Dado que el centro de transformación y el de seccionamiento se encontrarán uno junto al otro, se realizará el cálculo a partir de la salida del centro de seccionamiento.

El dimensionamiento de la red subterránea de media tensión se realizará siguiendo la normativa de media y alta tensión. Esto consistirá fundamentalmente en el cálculo de la sección óptima, para lo cual se tendrán que tener en cuenta las magnitudes a la salida del centro de transformación. Para ello, se tendrán en cuenta dos criterios: intensidad máxima admisible y caída de tensión máxima admisible.

Método de la intensidad máxima admisible

$$Intensidad\ nominal\ del\ transformador = \frac{P}{\sqrt{3} * U * \cos\phi} = \frac{3.500.000}{\sqrt{3} * 20.000 * 1} = 101A$$

Las intensidades máximas admisibles para las distintas secciones se puede encontrar en la

Intensidades máximas admisibles media tensión	
Sección (mm2)	Aislamiento HEPR
25	105
35	125
50	145
70	180
95	215
120	245
150	275

Tabla 20: Intensidades máximas admisibles media tensión.

Intensidades máximas admisibles media tensión	
Sección (mm2)	Aislamiento HEPR
25	105
35	125
50	145
70	180

95	215
120	245
150	275

Tabla 20: Intensidades máximas admisibles media tensión

Como se describió anteriormente en las redes de baja tensión, la intensidad máxima admisible debe corregirse según los factores de corrección que asemejan las condiciones concretas de la planta al caso base para el cual están definidos estos valores.

La resistividad térmica se puede estimar teniendo en cuenta las características del terreno que se describen en la Tabla 21: Resistividad térmica del terreno.

Resistividad térmica del terreno	
Resistividad (k·m/W)	Naturaleza del terreno
0,40	Inundado
0,50	Muy húmedo
0,70	Húmedo
0,85	Poco húmedo
1,00	Seco
1,20	Arcilloso muy seco
1,50	Arenoso muy seco
2,00	Piedra arenisca
2,50	Piedra caliza
3,00	Piedra granítica

Tabla 21: Resistividad térmica del terreno

En este caso, el terreno de la finca se parece a piedra caliza, por lo que se la resistividad térmica sería aproximadamente 2,5k·m/W. Con esto se puede ver el factor de corrección debido a la naturaleza del terreno en la Tabla 22: Factores de corrección en función de la resistividad térmica del terreno, que se utiliza para cables enterrados bajo tubo.

Factores de corrección en función de la resistividad del terreno							
Sección	Resistividad térmica (k·m/W)						
	0,8	0,9	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
35	1,25	1,21	1,16	1,0	0,89	0,81	0,75
50	1,26	1,26	1,16	1,0	0,89	0,81	0,75
240	1,15	1,12	1,10	1,0	0,92	0,86	0,81
400	1,16	1,13	1,10	1,0	0,92	0,86	0,81

Tabla 22: Factores de corrección en función de la resistividad térmica del terreno

Como en principio tiene más sentido una sección de 35mm² o de 50mm², el factor de corrección debido a la resistividad térmica será, en cualquier caso, 0,81, según los datos de la tabla anterior.

Dado que el número de ternas por zanja va a ser 1, no será necesario aplicar factor de corrección debido a la distancia entre ternos, ya que el concepto en sí no tiene sentido. El factor de corrección en este caso sería 1.

Se debe tener en cuenta un último factor de corrección, y es el asociado a la profundidad de la zanja en la que se enterrará el conductor. En este caso, teniendo en cuenta que es una sola terna, se tratará de la profundidad mínima, que es 0,7m como norma general y 0,8m cuando esté debajo de la carretera. En la Tabla 23: Factores de corrección en función de la profundidad de la zanja para cables con sección menor que 185mm² se observa que éste será de 1,00.

Factores de corrección por profundidad	
Profundidad (m)	Factor de corrección
0,50	1,06
0,60	1,04
0,80	1,02
1,00	1,00
1,25	0,98
1,50	0,96
1,75	0,95
2,00	0,94
2,50	0,92
3,00	0,91

Tabla 23: Factores de corrección en función de la profundidad de la zanja

Se estima una sección de 35mm², para la cual la intensidad máxima admisible es 125A. Se calcula, teniendo en cuenta los factores de corrección, la intensidad máxima admisible corregida:

$$\text{Intensidad máxima admisible corregida} = \text{Intensidad máxima admisible} * F_c =$$

$$\text{Intensidad máxima admisible corregida} = 125 * 0,81 * 1 * 1 = 101,25A > 101A$$

Como la intensidad máxima admisible corregida es mayor que la intensidad nominal del cable, esta sección es apropiada para dichas características del conductor.

Método de la caída de tensión máxima admisible

Como la caída de tensión desde los strings hasta el centro de transformación es, como máximo, 0,75% y el máximo permitido por el reglamento desde las bornas del generador a las del punto de acceso a la red de distribución es 1,5%, la caída de tensión máxima admisible en este tramo para cumplir con dicha restricción es de 0,75%. Con esta limitación, se puede calcular si la sección de 35mm² es válida por este método.

$$Sección = \frac{\sqrt{3} * Longitud * Intensidad}{\gamma * \Delta U}; \quad 30 = \frac{\sqrt{3} * 300 * 101}{44 * \Delta U}; \quad \Delta U = 39,75V$$

$$\Delta u = \frac{\Delta U}{Tensión nominal} = \frac{39,75}{20.000} = 0,20\%$$

Esto significa que la sección de 35mm² cumple con la restricción de caída de tensión máxima admisible.

DOCUMENTO 2. PLANOS



12/11/2018	IBG				
FECHA	DIB	REV	APR	EDITADO PARA	

PROYECTO:
PSFV AZUTAN

PLANO:
PARCELA

osprel

Nº de Plano : 1

Escala: N/A

Hoja: A3

1

2

3

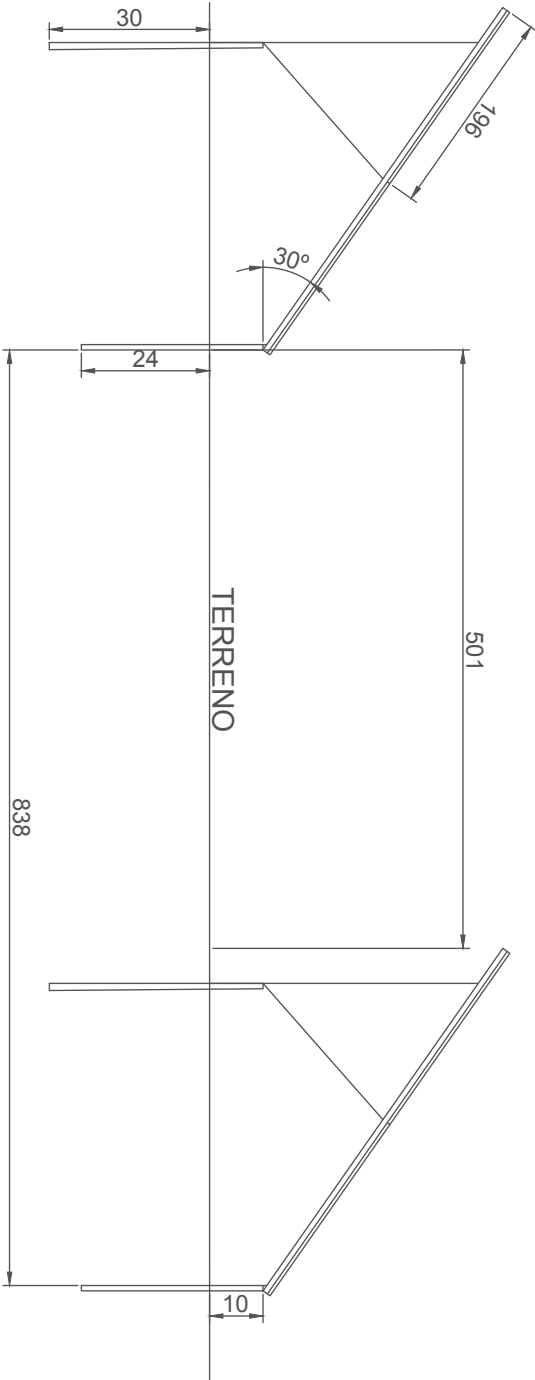
4

5

6

SECCIÓN UNIDAD ESTRUCTURAL

ESTRUCTURA DE ACERO GALVANIZADO CON 4 SOPORTES HINCHADOS
PERFILES EN ACERO AL CARBONO SD-250 GD, GALVANIZADO Z-350
SOPORTES EN ACERO AL CARBONO S 235 JR, GALVANIZADOS EN CALIENTE DE 80 micras
TORNILLERÍA DE ACERO CALIDAD 8.8, RECUBRIMIENTO BICROMATADO
PIEZAS DE SUJECCIÓN DE LOS MÓDULOS DE ACERO INOXIDABLE



12/11/2018	IBG			
FECHA	DIB	REV	APR	EDITADO PARA

PROYECTO:

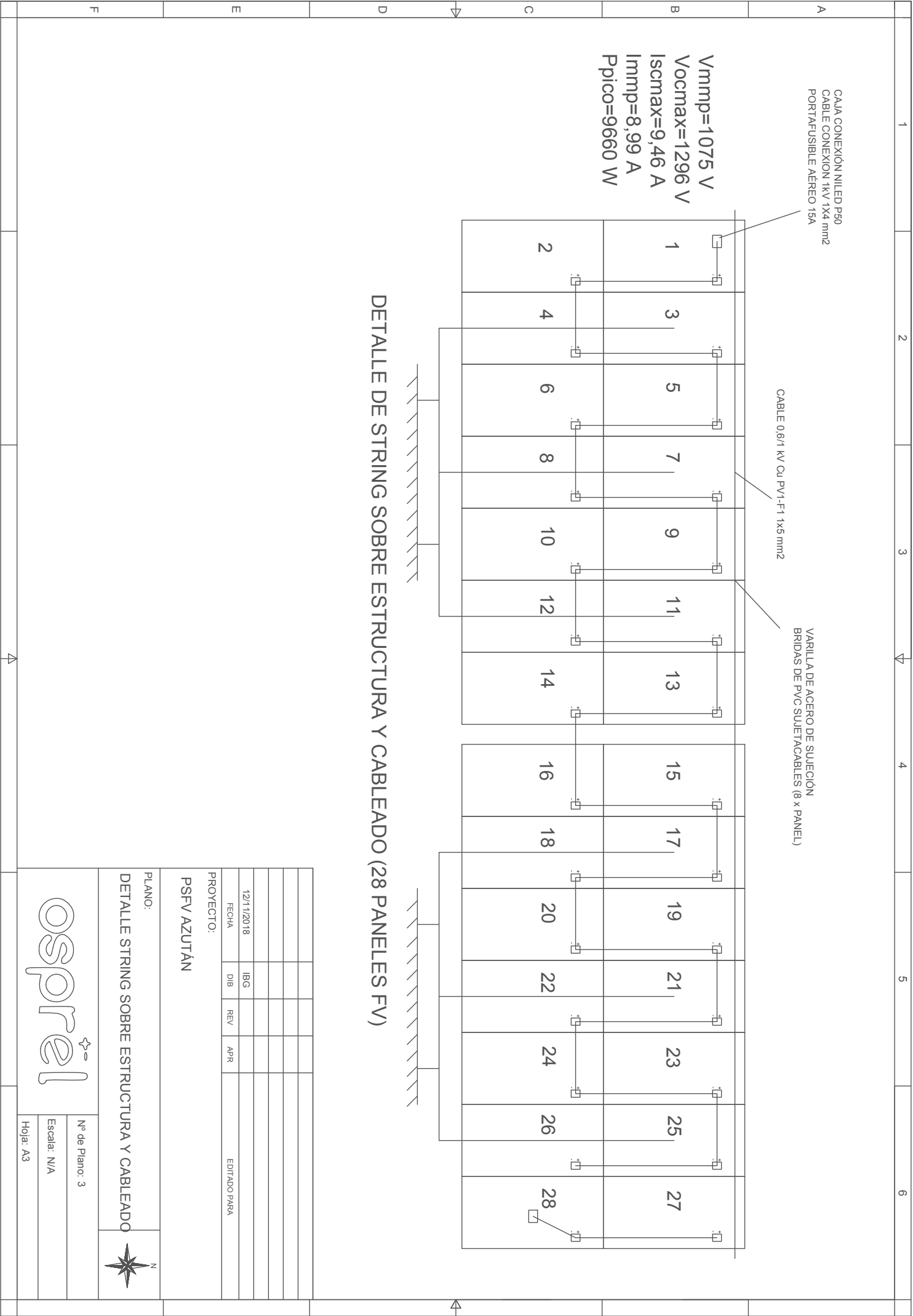
PSFV AZUTÁN

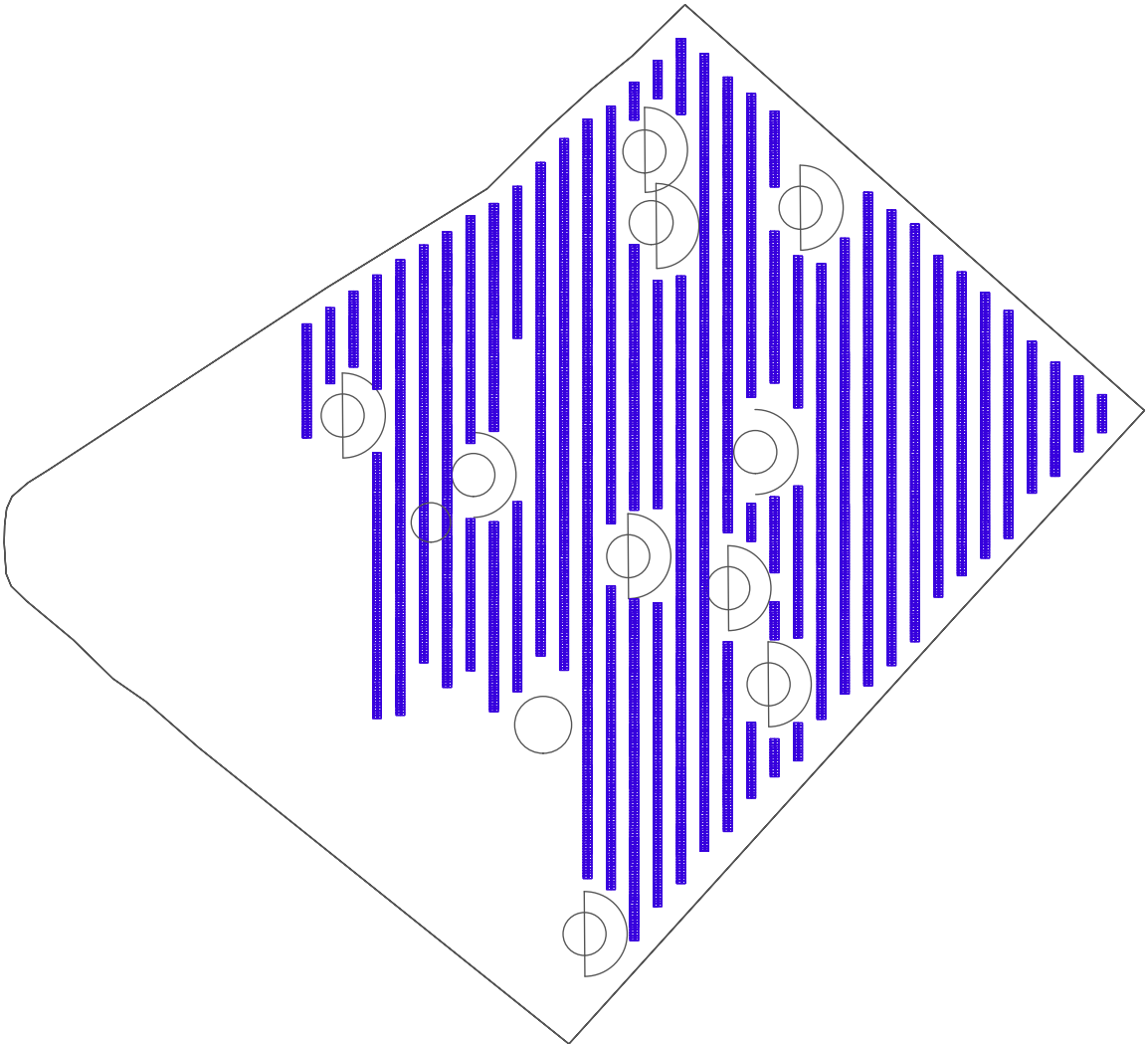
PLANO:

ESTRUCTURA DE LOS MÓDULOS



osprel		Nº de Plano: 2
		Escala: N/A
		Hoja: A3





12/11/2018	IBG				
FECHA	DIB	REV	APR	EDITADO PARA	

PROYECTO:
PSFV AZUTAN

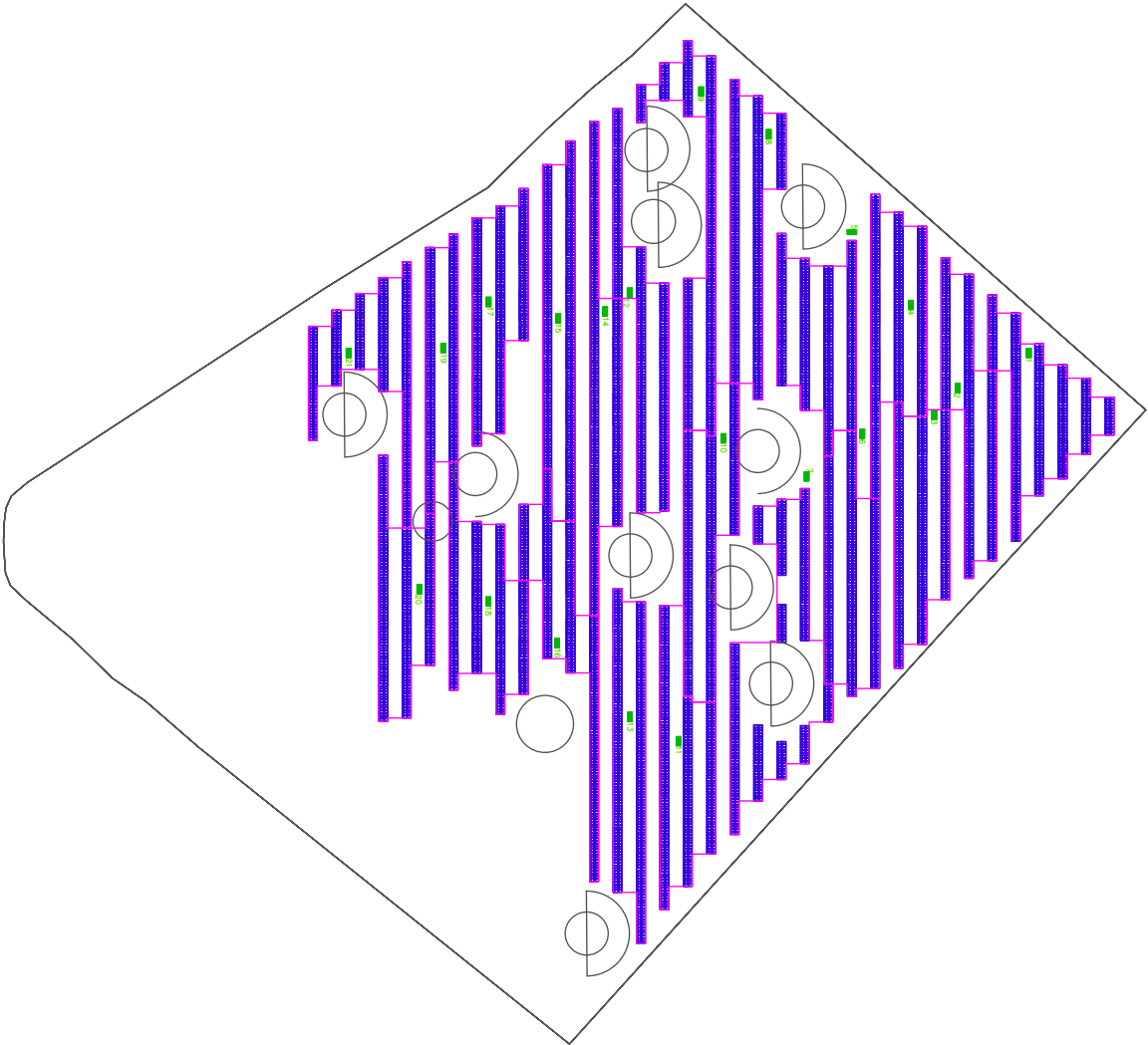
PLANO: SITUACIÓN MÓDULOS EN PARCELA	
--	--

osprel

Nº de Plano: 4

Escala: 1:2

Hoja: A3



12/11/2018	IBG				
FECHA	DIB	REV	APR	EDITADO PARA	

PROYECTO:
PSFV AZUTÁN

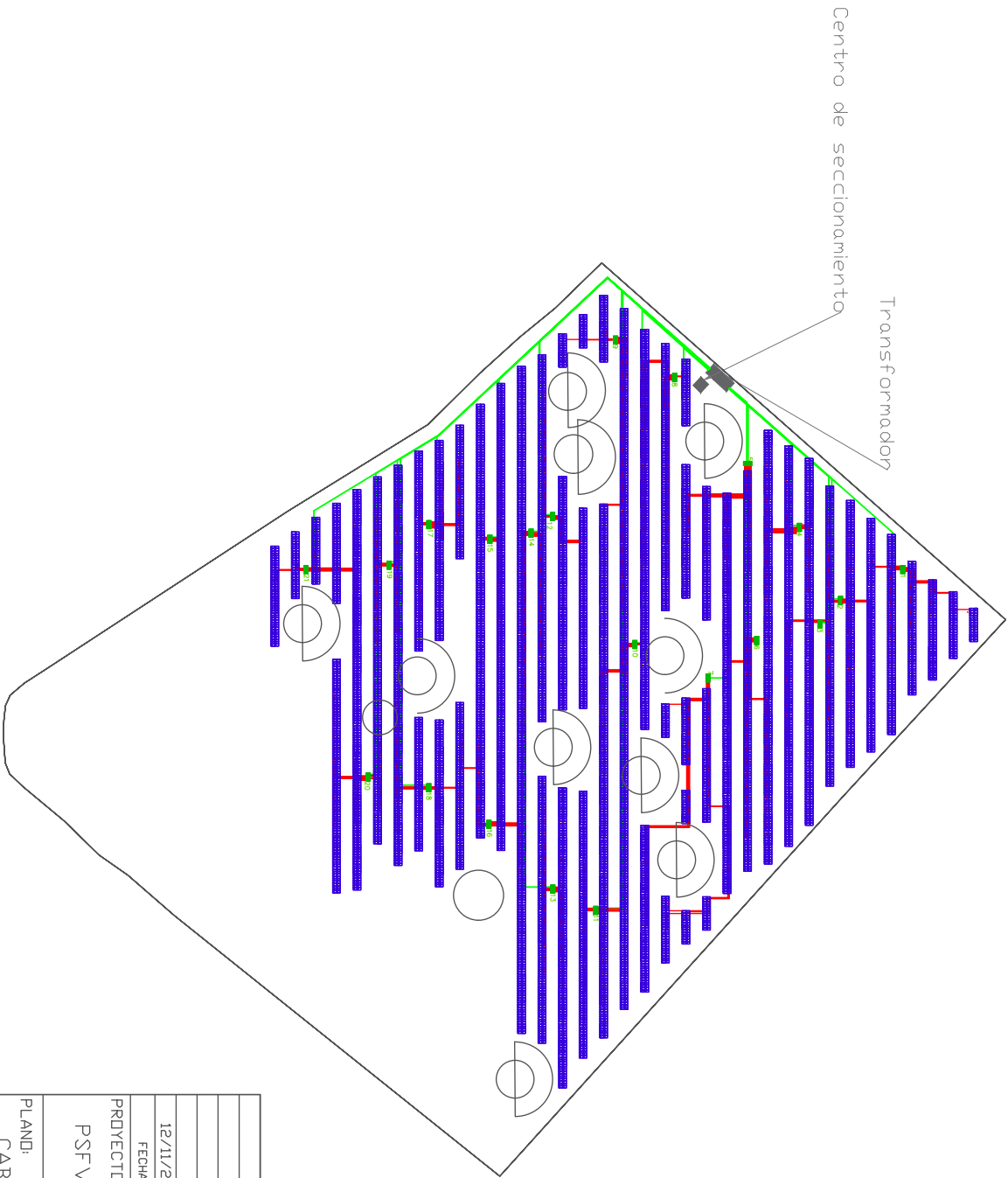
PLAND:
AGRUPACIÓN INVERSORES

osprel

Nº de Plano: 5

Escala: 1:2

Hoja: A3



12/11/2018	IBG				
FECHA	DIB	REV	APR	EDITADO PARA	

PROYECTO:
PSF V AZUTAN

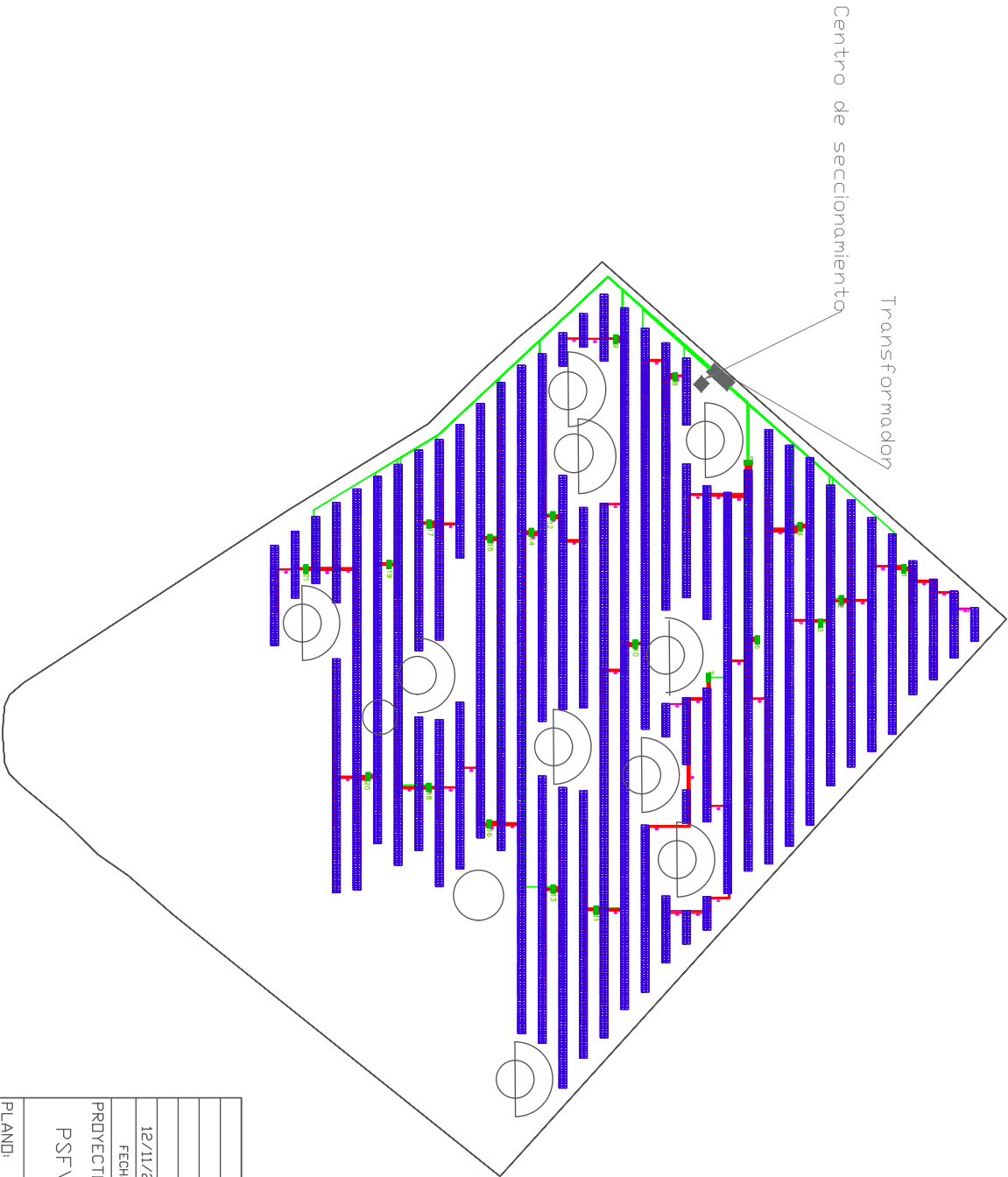
PLANO:
CABLEADO MODULOS - INVERSOR -
TRANSFORMADOR

osprel

Nº de Plano: 6

Escala: 1:2

Hoja: A3



12/11/2018	IBG				
FECHA	DIB	REV	APR	EDITADO PARA	

PROYECTO:
PSF V AZUTAN

PLANO: ZANJAS		
------------------	--	--

osprel

Nº de Plano: 7

Escala: 1:2

Hoja: A3

DOCUMENTO 3. PLIEGO DE CONDICIONES

1.	Condiciones generales.....	5
1.1.	Seguridad.....	5
1.2.	Organización	5
1.3.	Propiedad y confidencialidad	6
2.	Condiciones económicas	6
3.	Condiciones técnicas	6
3.1.	Limpieza del terreno.....	6
3.2.	Módulos fotovoltaicos	7
3.3.	Inversores.....	7
3.4.	Centro de transformación y de seccionamiento	8
3.5.	Redes de baja y media tensión	8
4.	Condiciones legales	8
4.1.	Obligaciones del contrato	8
4.2.	Garantía y seguro.....	9
4.3.	Fin del contrato	9
4.3.1.	Cumplimiento del contrato	9
4.3.2.	Resolución del contrato.....	10
4.3.3.	Recisión del contrato.....	10
4.3.4.	Cesión del contrato	10
5.	Condiciones de seguridad y salud.....	11
5.1.	Análisis y prevención de riesgos	11
5.2.	Equipos de protección	11
5.3.	Señalización de la obra	12
5.4.	Formación de los trabajadores	12
5.5.	Actuación en caso de accidente.....	12

Como en todo contrato, se deben establecer las condiciones que todas las partes deben cumplir para que todo lo acordado se mantenga según lo previamente establecido. Como se trata de un proyecto complejo, se deben distinguir condiciones generales, legales, económicas y técnicas. Aun así, no es objeto de este proyecto profundizar en detalle en las condiciones de este acuerdo, si bien dar una idea general de lo que asumen ambas partes.

1. Condiciones generales

1.1. Seguridad

El aspecto más importante en toda obra es la seguridad, por lo que se trata de una condición primordial en un contrato como este. Es responsabilidad del coordinador de seguridad la seguridad de la obra, garantizando que todos los trabajadores se encuentren en condiciones en las que no se encuentren expuestos a ningún riesgo. Esta persona debe además supervisar que todo esté realizándose siguiendo las medidas de seguridad establecidas. De no ser así, será el último responsable en caso de que esto derive en un accidente. En caso de que el coordinador considere que se está poniendo en peligro la integridad de los trabajadores, podrá dar por finalizada la obra.

1.2. Organización

En una obra, como en todo proyecto, debe haber una organización clara de manera que todas las personas que estén involucradas sepan en todo momento qué hacer o a quién acudir en caso de necesidad.

Habrà un director de obra, cuya misión será supervisar y organizar todo lo que se lleva a cabo durante el transcurso del mismo. Será el encargado de aprobar términos, modificaciones, y otros documentos que justifiquen cómo se han realizado las tareas. También se encargará de la asignación de estas, siendo el responsable de que todo se cumpla según lo que se ha planificado.

La ejecución de la obra se llevará a cabo por empleados que se encargarán del montaje mecánico y de la instalación eléctrica. Para ello, se deben seguir las indicaciones del director de obra, que se basarán en los datos analizados, planos y documentación que justifique las decisiones, así como consultar con él todas las modificaciones que en el momento de la ejecución se crean convenientes. En este caso, se necesitará la firma del director de obra para proseguir con el cambio propuesto. De esta manera, se consigue un control mayor y centralizado sobre todos los aspectos de la obra. Una vez finalizada la obra, todos los documentos o planos modificados deberán actualizarse para que quede constancia.

La organización del proyecto incluye la documentación necesaria para la obra, tanto los papeles reglamentarios (permisos, contrato...) como los estudios técnicos que justifiquen todas las decisiones, de manera que todo quede por escrito y se pueda acceder a esa información si se estima necesario.

1.3. Propiedad y confidencialidad

Todos los documentos del proyecto pertenecen al promotor de la obra y que deben ser mantenidos dentro de esta confidencialidad. Quedará por tanto prohibido extraer dicha información y hacerla llegar a personas que no deberían tener acceso a ella. Se trata de una cláusula inquebrantable y realmente importante en cualquier proyecto en el que se haya contratado un trabajo concreto.

Los derechos de autor, de haberlos, se consideran propiedad del promotor a partir del momento de firmar el proyecto. Se firmará también un contrato de confidencialidad en el que se indica claramente lo anteriormente dicho de manera que no dé lugar a dudas.

2. Condiciones económicas

El presupuesto definitivo debe intentar mantenerse a lo largo de la ejecución del proyecto. Sin embargo, es normal que surjan variantes debido a modificaciones en la ejecución, en los materiales, o en alguna manera diferente de implementar la solución descrita en los planos. En este caso, será responsabilidad del contratista presentar una factura con el cambio realizado o con la cantidad añadida al presupuesto inicial. Los pagos deben realizarse en un plazo menor a 90 días desde la presentación de la factura.

El promotor y el contratista harán revisiones mensuales de los gastos y de la proyección del mes siguiente, para poder prever así cualquier cambio en el presupuesto. De esta manera, se puede decidir con antelación y con perspectiva, sabiendo las consecuencias económicas de aceptar un cambio en la ejecución.

3. Condiciones técnicas

3.1. Limpieza del terreno

Será necesario llevar a cabo los procedimientos necesarios para el acondicionamiento del terreno. Para ello, se comienza por una limpieza tanto de la vegetación como de la basura. La vegetación se retira mediante desbroce, ya que no se necesita talar árboles ni matorrales densos. La basura debe retirarse y depositarse en un vertedero, por lo que habrá que pagar el mantenimiento del mismo y el canon de vertido. Para ello, habrá que conseguir un permiso que autorice la actividad.

3.2. Módulos fotovoltaicos

Los módulos fotovoltaicos deben cumplir unas características previamente definidas y descritas por unos límites concretos. Por tanto, deben tener una garantía del fabricante que cubran tanto las características nominales del producto como el correcto funcionamiento.

En primer lugar, cada módulo de manera individual debe cumplir con la potencia establecida, para garantizar la generación propuesta. Al interconectarse con otros módulos para formar strings, se debe mantener lo que se ha tenido en cuenta en el diseño de la planta, para evitar errores de funcionamiento. Por ello, todos los módulos deben recibirse en la planta con documentación que justifique que han sido sometidos a ensayos de funcionamiento, de manera que se hayan probado previamente las condiciones a la entrada de los inversores.

Además, los módulos deben mantenerse en un rango de temperatura durante el funcionamiento de los mismos. El sobrecalentamiento de los paneles puede ocasionar fallos graves e irreversibles en la planta.

Se debe comprobar la eficiencia y la eficacia de los módulos. Para que la generación sea rentable, los paneles deben cumplir con los requisitos de rendimiento para los cuales se ha dimensionado la planta.

Finalmente, el montaje de estos debe ser el más adecuado para evitar su movimiento. La estructura de sujeción será prefabricada y debe tener la resistencia necesaria para soportar el peso de los paneles. Además, debe contar con el equilibrio y aguante necesarios para anclarse al terreno sin que se mueva. Para garantizarlo, se tendrá en cuenta un coeficiente de seguridad que contrarreste la acción del viento desde el lado posterior de los módulos, por considerarse el caso más desfavorable.

3.3. Inversores

Los inversores juegan un papel fundamental en la cadena de la planta. Es el punto donde la corriente generada se adapta a la trifásica que se debe inyectar en la red. Deben contar también con una garantía del fabricante que cubra los fallos en el funcionamiento de los mismos.

Los inversores también tendrán que mantener la temperatura por debajo de cierto nivel, para que se mantenga así dentro del rango normal de operación. Esto consigue que la vida media se mantenga en lo indicado por el fabricante y que el funcionamiento puntual sea el correcto.

3.4. Centro de transformación y de seccionamiento

El centro de transformación y el de seccionamiento son los que mayor riesgo plantean en la instalación, por tratarse del tramo donde se puede encontrar media tensión. Cualquier fallo en este punto es más grave, con mayores consecuencias y menos remediable. Por lo tanto, se debe comprobar con precaución que el funcionamiento sea el descrito por el fabricante, y que cualquier anomalía sea causa de alarma. Por ello, la garantía incluirá los desperfectos más pequeños.

Deben contar con una toma de puesta a tierra, para evitar que la corriente circule en otra dirección. Se deben comprobar, para evitar errores, la tensión, la potencia, la resistencia de puesta a tierra y la temperatura de los mismos.

3.5. Redes de baja y media tensión

Los ensayos necesarios para las redes de baja tensión se puedan encontrar descritos en el Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión. Estos incluyen los parámetros generales en cuanto a aislamiento, intensidad máxima admisible, caída de tensión, potencia, interruptores y fusibles, puesta a tierra, funcionalidad, y temperatura.

Esta normativa debe estar aprobada por el Ministerio de Industria, de manera que la regulación sea la misma para cualquier instalación de energía solar fotovoltaica.

La red de media tensión debe superar la prueba de megado de conductores. Esta prueba se debe realizar cuando se va a conectar un conductor a una red de distribución y consiste en medir la resistencia de aislamiento del conductor. Existen dos comprobaciones necesarias a llevar a cabo antes de inyectar la potencia a la red: la medida de continuidad en cables y la comprobación de cable cortado.

4. Condiciones legales

Las condiciones legales incluyen todo lo referente a las obligaciones del contrato, a las garantías y seguros, y al fin del mismo.

4.1. Obligaciones del contrato

El contratista será el responsable de encargarse del cumplimiento de todo lo incluido en el contrato que se firma.

Las principales responsabilidades del contratista son:

- Cumplimiento las medidas de seguridad establecidas
- Seguimiento de lo descrito en los documentos técnicos respecto al montaje e instalación de la planta

- Calidad técnica tanto en los procedimientos como en los resultados obtenidos
- Contratación del personal junto con el promotor para desarrollar las actividades asociadas a la ejecución de la obra
- Prevención de riesgos asociados con la obra
- Indemnización de daños a los trabajadores en caso de ser necesario
- Provisión de la documentación necesaria para que cada empleado pueda llevar a cabo sus tareas con la mayor información posible

4.2. Garantía y seguro

La garantía debe ser algo definido con detalle en el contrato, ya que será necesaria en caso de cualquier incongruencia. Existirá una garantía general que cubra los costes de transporte, montaje o reparación de piezas que necesiten ser reemplazadas. Además, habrá una garantía de funcionamiento, que se podrá usar en caso de que el producto no cumpla las especificaciones descritas por el fabricante, presente algún fallo en el momento de operación, no cumple los requisitos mínimos de calidad, o el funcionamiento empeore antes de que venza el periodo de garantía.

La garantía no cubrirá el desgaste natural de los elementos debido al funcionamiento de la planta. El correcto funcionamiento tendrá como consecuencia un deterioro pero este no será motivo de exigir garantía por parte del contratista.

El contratista será responsable de contratar, al menos, los tres seguros que se enumeran a continuación:

- Seguro de responsabilidad civil – sirve para cubrir las incidencias generales que puedan surgir por la ejecución de la obra
- Seguro de responsabilidad general ampliada – sirve para cubrir los daños a terceros, es decir, a personas que no sean trabajadores pertenecientes a la obra
- Seguro de responsabilidad de vehículos en obra – sirve para proteger al promotor de las reclamaciones que puedan surgir respecto a los vehículos que intervienen en la obra

4.3. Fin del contrato

4.3.1. Cumplimiento del contrato

Se considerará que el contrato ha llegado a su fin cuando se hayan cumplido todos los objetivos descritos inicialmente en el mismo. El promotor de la obra debe quedar satisfecho con los resultados obtenidos, incluyendo los cambios y modificaciones que hayan podido surgir durante el transcurso de la obra.

Por lo tanto, la documentación debe ser acorde con lo ejecutado, y debe ser entrada a los organismos públicos correspondientes para tramitar el fin de la obra. De esta manera, queda constancia de cada cambio y justificación que lo soporte.

Si el promotor cree que el resultado que se obtiene no concuerda con los objetivos que se marcan inicialmente, está en su derecho de exigir una mayor precisión en el cumplimiento de los mismos.

4.3.2. Resolución del contrato

Cuando el contrato no termina de manera natural por cumplimiento, suele terminar por resolución del mismo. Esto sucede, por lo general, cuando el contratista no está conforme con la ejecución de la obra, pues considera que no se ajusta a los objetivos que se describen como base del contrato. Sin embargo, existen otros motivos que pueden derivar en esta misma solución:

- Ralentización de plazos, lo cual puede llegar a retrasar la obra más de lo establecido
- Insolvencia económica o falta de pagos por cualquier motivo
- Incumplimiento de garantías
- No consecución de permisos y autorizaciones necesarias para llevar a cabo las tareas de ejecución previstas

4.3.3. Recisión del contrato

El contratista puede acudir a la recisión del contrato en los siguientes casos:

- La variación del presupuesto supone más del 20% de incremento respecto al precio base establecido
- El retraso en el pago es de más de dos meses
- La obra se encuentra parada por un plazo mayor a 3 meses por motivos ajenos al contrato

En caso de recisión se producirá una liquidación del contrato.

4.3.4. Cesión del contrato

La cesión del contrato consiste en subrogar todos los derechos y obligaciones del contrato a terceros. Esto significa que el contratista inicial deja de tener responsabilidades respecto a la ejecución y a las decisiones de la obra, y todas ellas pasan a la persona que le sucede.

5. Condiciones de seguridad y salud

5.1. Análisis y prevención de riesgos

El primer paso en lo que a seguridad y salud se refiere es el análisis de riesgos. Esto es fundamental para definir la manera de proceder en la obra, de manera que los riesgos sean conocidos y los accidentes evitables. Una vez definidos los riesgos, habrá que proceder a categorizarlos, para saber cuáles son los más importantes, los más probables, los más perjudiciales... De esta manera, habrá algunos que sean prioridad y otros que sean secundarios.

Los riesgos se deben analizar en cada proyecto de manera independiente, ya que habrá algunos que sean generales pero también se detectarán riesgos específicos. Los riesgos generales serán golpes, caídas, heridas, sobreesfuerzos, o exposición a rayos ultravioleta, entre otros. Los riesgos específicos serán aquellos asociados a actividades concretas de la obra, como los que sean consecuencia de excavación, movimiento de tierras, transporte de elementos pesados, instalación de módulos, tendido de conductores, conexiones, o manipulación de materiales, por ejemplo.

La prevención de riesgos es importante ya que actuar siguiendo los pasos definidos para ello puede evitar muchos accidentes. Para ello, se debe definir una metodología que debe respetarse por todos los trabajadores. Será responsabilidad del contratista que esto se mantenga. Aun así, es interés de todos el cumplimiento de esta metodología, porque si se lleva a cabo correctamente, todos salen beneficiados.

La prevención de riesgos consiste, principalmente, en el conocimiento por parte de todas las personas de los riesgos existentes, para así poder actuar en consonancia con ello. Para conseguirlo, se seguirán procedimientos de señalización de peligros, protección física como barandillas, cascos, guantes..., aislamiento de conductores, y formación de las personas que intervengan de alguna manera en la ejecución de la obra.

5.2. Equipos de protección

En la instalación hay equipos que expongan a los trabajadores a unas situaciones más arriesgadas que otros. Sin embargo, entre estos equipos, habrá también algunos que sirvan como protección para los accidentes que puedan surgir del resto.

Los equipos de protección deben instalarse con la misma prioridad que los equipos más funcionales, ya que su funcionalidad, aunque menos frecuente, es crítica. También es importante la supervisión de estos equipos, para asegurar que en el momento en que tengan que actuar, estén listos para ello.

Dichos equipos se reemplazarán en caso de detectar algún deterioro en ellos que pueda empeorar su protección a terceros. Además, esto será independiente de lo que se había

establecido como vida útil de la máquina, ya que la seguridad y la salud de las personas es algo prioritario.

5.3. Señalización de la obra

Una de las medidas preventivas más importantes es la señalización. Muchos accidentes se producen por falta de información, por lo que cuanto más información tengan los trabajadores, más fácil será evitar accidentes de este tipo.

Las señalizaciones más frecuentes se ven en setas de emergencia, botones de on/off, cables conductores, puestas a tierra, elementos cargados, protección frente a incendios, y salidas de emergencia.

La señalización puede ser de distintos tipos, puede contener un mensaje o una imagen, ser una indicación permanente o una señal luminosa que solo se encienda en momentos concretos. En cualquier caso, se deberá señalar cada elemento de la manera que se considere más apropiada para la información que se necesita transmitir.

5.4. Formación de los trabajadores

Además de crear una metodología, introducir elementos preventivos y señalización adecuada, la formación de los trabajadores es algo fundamental para que todo lo anterior funcione como se espera.

Los trabajadores deben ser conscientes de dónde están los riesgos, de cómo funciona todo lo que tienen alrededor aunque sea algo con lo que, en teoría, no tengan contacto directo. El saber qué elementos pueden ser peligrosos o deben evitar tocar es fundamental para que sepan moverse dentro de la obra.

Si todos los trabajadores siguen con precisión los pasos definidos para evitar riesgos, los accidentes en el ámbito laboral se reducirían a los estrictamente inevitables.

5.5. Actuación en caso de accidente

Como se indica previamente, a pesar de intentar por todos los medios evitar los accidentes, hay algunos que resultan impredecibles e inevitables. En estos casos también es necesario saber cómo proceder, de manera que el daño se reduzca lo máximo posible.

Lo primero que se debe hacer es comunicar el accidente tanto al centro médico más cercano como al responsable de la obra, en caso de no estar presente en ese momento. Estas personas serán quienes definan las pautas a seguir, según lo que estimen más conveniente. Será necesario definir por tanto grados de gravedad para, en función de eso, proceder de una manera o de otra. En cualquier caso, la salud de las personas es prioridad y debe ser tratada como tal.

DOCUMENTO 4. PRESUPUESTO

UNIVERSIDAD PONTIFICIA DE COMILLAS
MASTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

1. Mediciones	4
2. Precios unitarios.....	9
3. Precios totales	14
4. Presupuesto general.....	19

El aspecto económico es algo a tener en cuenta en todo proyecto. Por tanto, se analizará en detalle qué elementos son necesarios y el presupuesto que esto conforma. En primer lugar se detallarán las mediciones de los elementos, los precios unitarios y finalmente el presupuesto del proyecto.

En todo el proceso hasta llegar al presupuesto final se dividen los elementos principales del proyecto en distintas partidas, analizándose como partes independientes:

- Obra civil
- Paneles fotovoltaicos
- Inversores
- Centro de transformación
- Centro de seccionamiento
- Cableado baja tensión corriente continua
- Cableado baja tensión corriente alterna
- Red de media tensión
- Puesta a tierra
- Sistemas de seguridad

1. Mediciones

Lo primero que se debe realizar es clarificar los distintos puntos dentro de cada partida de las anteriormente enumeradas, y añadir la medición de cada uno. Se tratará de valores aproximados, que deberán revisarse cuando se realice un estudio más de detalle, por lo que la información a continuación está sujeta a modificaciones.

Obra civil previa a la construcción

Desbroce y compactación

Aunque no se vayan a talar las encinas, se necesita hacer una limpieza del cultivo y de plantas que haya en el terreno. Para garantizar una sujeción adecuada de todos los elementos se debe compactar y nivelar el terreno	8,65	ha
---	------	----

Paneles fotovoltaicos

Módulos fotovoltaicos

Se instalarán 10.146 módulos fotovoltaicos de 345Wp del fabricante Q-Cells, modelo Q.PRIME L-G5 345	3.500.000,00	Wp
---	--------------	----

Estructura paneles

Estructuras ancladas biposte fijas para la sujeción de 14 paneles, del fabricante Reenergy	3.500.000,00	Wp
--	--------------	----

Montaje

Se hincan los dos apoyos ajustables de tipo telescópico para evitar diferencias de altura. Los paneles se sujetan a la estructura metálica con la artillería necesaria y se conectan entre sí para formar los strings 3.500.000,00 Wp

Inversores

Inversores

Se instalarán 18 inversores de 175kW del fabricante ABB, modelo PVS-175@1500V 18,00 uds

Montaje

Transporte de los inversores al extremo de cada string y conexión a la cadena 1,00 -

Centro de transformación

Centro de transformación

Se instalará un CT del fabricante Ormazabal, modelo miniblok compacto de 24kV 1,00 ud

Plataforma para el prefabricado

Base de hormigón para la colocación del centro de transformación 1,00 ud

Montaje centro de transformación

Transporte del CT hasta el lugar diseñado y montaje de la caseta prefabricada sobre la base de hormigón 1,00 -

Centro de seccionamiento

Centro de seccionamiento

El centro de seccionamiento será del fabricante Ormazabal y tendrá una tensión de 20/24kV 1,00 ud

Plataforma para el prefabricado

Base de hormigón para la colocación del centro de seccionamiento 1,00 ud

Montaje centro de seccionamiento		
Transporte del CS hasta el lugar diseñado y montaje de la caseta prefabricada sobre la base de hormigón	1,00	-
Cableado baja tensión corriente continua		
Bandejas		
Bandejas para la sujeción de los conductores aéreos a la parte trasera de los módulos	3.382,00	m
Bridas		
Elementos para la sujeción de los conductores aéreos a las bandejas	10.146,00	uds
Conductor unipolar para circuitos en c.c. de 6mm²		
Conductor que conecta los strings con la entrada de los inversores	11952,30	m
Conductor unipolar para circuitos en c.c. de 10mm²		
Conductor que conecta los strings con la entrada de los inversores	7924,60	m
Conductor unipolar para circuitos en c.c. de 16mm²		
Conductor que conecta los strings con la entrada de los inversores	5212,60	m
Conductor unipolar para circuitos en c.c. de 25mm²		
Conductor que conecta los strings con la entrada de los inversores	852,00	m
Montaje conductores		
Montaje de los cables que conectan los strings con la entrada de los inversores	25941,50	m
Zanjas 0,40 x 0,70		
Para canalizaciones de BT de 1 a 8 circuitos de strings desde los módulos hasta los inversores	732,60	m
Zanjas 0,70 x 1,10		
Para canalizaciones de BT de más de 8 circuitos de strings desde los módulos hasta los inversores	1762,20	m

Cableado baja tensión corriente alterna		
Bandejas		
Bandejas para la sujeción de los conductores aéreos a la parte trasera de los módulos	3.382,00	m
Bridas		
Elementos para la sujeción de los conductores aéreos a las bandejas	10.146,00	uds
Conductor unipolar para circuitos en c.a. de 6mm²		
Conductor que conecta inversores con el centro de transformación	1026,46	m
Conductor unipolar para circuitos en c.a. de 10mm²		
Conductor que conecta inversores con el centro de transformación	2519,60	m
Conductor unipolar para circuitos en c.a. de 16mm²		
Conductor que conecta inversores con el centro de transformación	1084,60	m
Conductor unipolar para circuitos en c.a. de 25mm²		
Conductor que conecta inversores con el centro de transformación	1349,60	m
Montaje conductores		
Montaje de los cables que conectan inversores con el centro de transformación	5980,26	m
Zanjas 0,40 x 0,70		
Para canalizaciones de BT de 1 a 8 circuitos de strings desde los módulos hasta los inversores	1126,30	m
Zanjas 0,70 x 1,10		
Para canalizaciones de BT de más de 8 circuitos de strings desde los módulos hasta los inversores	1863,80	m
Red de media tensión		
Conductor subterráneo de media tensión		
Conductor que conecta la planta solar fotovoltaica con la red de distribución de Iberdrola	900,00	m

Conjunto terminal para conexión a celda		
Elementos para aislar la conexión del conductor de media tensión y la celda del centro de seccionamiento	6,00	uds
Montaje		
Montaje de los cables que conectan la planta con la red de distribución de Iberdrola	900,00	m
Zanja 0,60 x 1,10		
Para canalización de la línea de MT desde el centro de seccionamiento hasta la subestación de Iberdrola	300,00	m
Puesta a tierra		
PaT módulos fotovoltaicos		
Conductor enterrado al que se conectan los postes de sujeción de las estructuras de módulos	363,00	uds
PaT vallado		
Conductor de cobre enterrado al que se conectan los postes del vallado y cerramiento	1.200,00	m
PaT línea media tensión		
Conductor enterrado para garantizar el aislamiento de los elementos de la planta que se encuentran a media tensión	300,00	m
Sistemas de seguridad		
Elementos de seguridad		
Sistemas de iluminación, cámaras, anti-intrusión, alarmas y extinción de incendios	50,00	uds

2. Precios unitarios

A continuación se indican los precios unitarios de cada una de las partes descritas en el apartado anterior. Para obtenerlos, se ha realizado un análisis de mercado, teniendo en cuenta los fabricantes seleccionados. En cualquier caso, estos precios también están sujetos a modificaciones.

Obra civil previa a la construcción	Uds		€/Ud
Desbroce y compactación			
Aunque no se vayan a talar las encinas, se necesita hacer una limpieza del cultivo y de plantas que haya en el terreno. Para garantizar una sujeción adecuada de todos los elementos se debe compactar y nivelar el terreno	8,65	ha	809,25
Paneles fotovoltaicos			
Módulos fotovoltaicos			
Se instalarán 10.146 módulos fotovoltaicos de 345Wp del fabricante Q-Cells, modelo Q.PRIME L-G5 345	3.500.000,00	Wp	0,25
Estructura paneles			
Estructuras ancladas biposte fijas para la sujeción de 14 paneles, del fabricante Reenergy	3.500.000,00	Wp	0,05
Montaje			
Se hincan los dos apoyos ajustables de tipo telescópico para evitar diferencias de altura. Los paneles se sujetan a la estructura metálica con la artillería necesaria y se conectan entre sí para formar los strings	3.500.000,00	Wp	0,05
Inversores			
Inversores			
Se instalarán 18 inversores de 175kW del fabricante ABB, modelo PVS-175@1500V	18,00	uds	10.833,33

Montaje			
Transporte de los inversores al extremo de cada string y conexión a la cadena	1,00	-	30.000,00
Centro de transformación			
Centro de transformación			
Se instalará un CT del fabricante Ormazabal, modelo miniblok compacto de 24kV	1,00	ud	32.000,00
Plataforma para el prefabricado			
Base de hormigón para la colocación del centro de transformación	1,00	ud	2.000,00
Montaje centro de transformación			
Transporte del CT hasta el lugar diseñado y montaje de la caseta prefabricada sobre la base de hormigón	1,00	-	25.000,00
Centro de seccionamiento			
Centro de seccionamiento			
El centro de seccionamiento será del fabricante Ormazabal y tendrá una tensión de 20/24kV	1,00	ud	28.000,00
Plataforma para el prefabricado			
Base de hormigón para la colocación del centro de seccionamiento	1,00	ud	2.000,00
Montaje centro de seccionamiento			
Transporte del CS hasta el lugar diseñado y montaje de la caseta prefabricada sobre la base de hormigón	1,00	-	25.000,00
Cableado baja tensión corriente continua			
Bandejas			
Bandejas para la sujeción de los conductores aéreos a la parte trasera de los módulos	3.382,00	m	2,07
Bridas			
Elementos para la sujeción de los conductores aéreos a las bandejas	10.146,00	uds	0,69

Conductor unipolar para circuitos de 6mm²			
Conductor que conecta los strings con la entrada de los inversores	11952,30	m	2,80
Conductor unipolar para circuitos de 10mm²			
Conductor que conecta los strings con la entrada de los inversores	7924,60	m	3,60
Conductor unipolar para circuitos de 16mm²			
Conductor que conecta los strings con la entrada de los inversores	5212,60	m	4,10
Conductor unipolar para circuitos de 25mm²			
Conductor que conecta los strings con la entrada de los inversores	852,00	m	4,90
Montaje conductores			
Montaje de los cables que conectan los strings con la entrada de los inversores	25941,50	m	0,58
Zanjas 0,40 x 0,70			
Para canalizaciones de BT de 1 a 8 circuitos de strings desde los módulos hasta los inversores	732,60	m	34,13
Zanjas 0,70 x 1,10			
Para canalizaciones de BT de más de 8 circuitos de strings desde los módulos hasta los inversores	1762,20	m	32,63
Cableado baja tensión corriente alterna			
Bandejas			
Bandejas para la sujeción de los conductores aéreos a la parte trasera de los módulos	3.382,00	m	2,07
Bridas			
Elementos para la sujeción de los conductores aéreos a las bandejas	10.146,00	uds	0,69
Conductor unipolar para circuitos de 6mm²			
Conductor que conecta inversores con el centro de transformación	1026,46	m	2,80
Conductor unipolar para circuitos de 10mm²			
Conductor que conecta inversores con el centro de transformación	2519,60	m	3,60

Conductor unipolar para circuitos de 16mm²			
Conductor que conecta inversores con el centro de transformación	1084,60	m	4,10
Conductor unipolar para circuitos de 25mm²			
Conductor que conecta inversores con el centro de transformación	1349,60	m	4,90
Montaje conductores			
Montaje de los cables que conectan inversores con el centro de transformación	5980,26	m	2,51
Zanjas 0,40 x 0,70			
Para canalizaciones de BT de 1 a 8 circuitos de strings desde los módulos hasta los inversores	1126,30	m	25,30
Zanjas 0,70 x 1,10			
Para canalizaciones de BT de más de 8 circuitos de strings desde los módulos hasta los inversores	1863,80	m	31,76
Red de media tensión			
Conductor subterráneo de media tensión			
Conductor que conecta la planta solar fotovoltaica con la red de distribución de Iberdrola	900,00	m	94,44
Conjunto terminal para conexión a celda			
Elementos para aislar la conexión del conductor de media tensión y la celda del centro de seccionamiento	6,00	ud	2.000,00
Montaje			
Montaje de los cables que conectan la planta con la red de distribución de Iberdrola	900,00	m	16,67
Zanja 0,60 x 1,10			
Para canalización de la línea de MT desde el centro de seccionamiento hasta la subestación de Iberdrola	300,00	m	120,00
Puesta a tierra			
PaT módulos fotovoltaicos			
Conductor enterrado al que se conectan los postes de sujeción de las estructuras de módulos	363,00	uds	16,53

PaT vallado			
Conductor de cobre enterrado al que se conectan los postes del vallado y cerramiento	1.200,00	m	6,67
PaT línea media tensión			
Conductor enterrado para garantizar el aislamiento de los elementos de la planta que se encuentran a media tensión	300,00	m	13,33
Sistemas de seguridad			
Elementos de seguridad			
Sistemas de iluminación, cámaras, anti-intrusión, alarmas y extinción de incendios	50,00	uds	300,00

3. Precios totales

Una vez definidos los elementos, las mediciones y los precios unitarios, es posible calcular el precio de cada una de las partes. En la siguiente tabla se detalla por tanto el elemento junto el precio que se obtiene de los dos apartados anteriores.

Además, se añade el ratio de €/Wp para ver la proporción de cada elemento con respecto al tamaño de la planta, así como el porcentaje del precio respecto al presupuesto total.

Obra civil previa a la construcción	€	€/Wp	%
Desbroce y compactación			
Aunque no se vayan a talar las encinas, se necesita hacer una limpieza del cultivo y de plantas que haya en el terreno. Para garantizar una sujeción adecuada de todos los elementos se debe compactar y nivelar el terreno	7.000,00	0,002	0,33%
Paneles fotovoltaicos			
Módulos fotovoltaicos			
Se instalarán 10.146 módulos fotovoltaicos de 345Wp del fabricante Q-Cells, modelo Q.PRIME L-G5 345	875.000,00	0,250	41,85%
Estructura paneles			
Estructuras ancladas biposte fijas para la sujeción de 14 paneles, del fabricante Reenergy	175.000,00	0,050	8,37%
Montaje			
Se hincan los dos apoyos ajustables de tipo telescópico para evitar diferencias de altura. Los paneles se sujetan a la estructura metálica con la artillería necesaria y se conectan entre sí para formar los strings	175.000,00	0,050	8,37%
Inversores			
Inversores			
Se instalarán 18 inversores de 175kW del fabricante ABB, modelo PVS-175@1500V	195.000,00	0,056	9,33%

Montaje			
Transporte de los inversores al extremo de cada string y conexión a la cadena	30.000,00	0,009	1,43%
Centro de transformación			
Centro de transformación			
Se instalará un CT del fabricante Ormazabal, modelo miniblok compacto de 24kV	32.000,00	0,009	1,53%
Plataforma para el prefabricado			
Base de hormigón para la colocación del centro de transformación	2.000,00	0,001	0,10%
Montaje centro de transformación			
Transporte del CT hasta el lugar diseñado y montaje de la caseta prefabricada sobre la base de hormigón	25.000,00	0,007	1,20%
Centro de seccionamiento			
Centro de seccionamiento			
El centro de seccionamiento será del fabricante Ormazabal y tendrá una tensión de 20/24kV	28.000,00	0,008	1,34%
Plataforma para el prefabricado			
Base de hormigón para la colocación del centro de seccionamiento	2.000,00	0,001	0,10%
Montaje centro de seccionamiento			
Transporte del CS hasta el lugar diseñado y montaje de la caseta prefabricada sobre la base de hormigón	25.000,00	0,007	1,20%
Cableado baja tensión corriente continua			
Bandejas			
Bandejas para la sujeción de los conductores aéreos a la parte trasera de los módulos	7.000,00	0,002	0,33%
Bridas			
Elementos para la sujeción de los conductores aéreos a las bandejas	7.000,00	0,002	0,33%

Conductor unipolar para circuitos en de 6mm2			
Conductor que conecta los strings con la entrada de los inversores	33.466,44	0,010	1,60%
Conductor unipolar para circuitos en de 10mm2			
Conductor que conecta los strings con la entrada de los inversores	28.528,56	0,008	1,36%
Conductor unipolar para circuitos de 16mm2			
Conductor que conecta los strings con la entrada de los inversores	21.371,66	0,006	1,02%
Conductor unipolar para circuitos de 25mm2			
Conductor que conecta los strings con la entrada de los inversores	4.174,80	0,001	0,20%
Montaje conductores			
Montaje de los cables que conectan los strings con la entrada de los inversores	15.000,00	0,004	0,72%
Zanjas 0,40 x 0,70			
Para canalizaciones de BT de 1 a 8 circuitos de strings desde los módulos hasta los inversores	25.000,00	0,007	1,20%
Zanjas 0,70 x 1,10			
Para canalizaciones de BT de más de 8 circuitos de strings desde los módulos hasta los inversores	57.500,00	0,016	2,75%
Cableado baja tensión corriente alterna			
Bandejas			
Bandejas para la sujeción de los conductores aéreos a la parte trasera de los módulos	7.000,00	0,002	0,33%
Bridas			
Elementos para la sujeción de los conductores aéreos a las bandejas	7.000,00	0,002	0,33%
Conductor unipolar para circuitos de 6mm2			
Conductor que conecta inversores con el centro de transformación	2.874,08	0,001	0,14%
Conductor unipolar para circuitos en de 10mm2			
Conductor que conecta inversores con el centro de transformación	9.070,56	0,003	0,43%

Conductor unipolar para circuitos de 16mm²			
Conductor que conecta inversores con el centro de transformación	4.446,86	0,001	0,21%
Conductor unipolar para circuitos en c.a. de 25mm²			
Conductor que conecta inversores con el centro de transformación	6.613,04	0,002	0,32%
Montaje conductores			
Montaje de los cables que conectan inversores con el centro de transformación	15.000,00	0,004	0,72%
Zanjas 0,40 x 0,70			
Para canalizaciones de BT de 1 a 8 circuitos de strings desde los módulos hasta los inversores	28.500,00	0,008	1,36%
Zanjas 0,70 x 1,10			
Para canalizaciones de BT de más de 8 circuitos de strings desde los módulos hasta los inversores	59.200,00	0,017	2,83%
Red de media tensión			
Conductor subterráneo de media tensión			
Conductor que conecta la planta solar fotovoltaica con la red de distribución de Iberdrola	85.000,00	0,024	4,07%
Conjunto terminal para conexión a celda			
Elementos para aislar la conexión del conductor de media tensión y la celda del centro de seccionamiento	12.000,00	0,003	0,57%
Montaje			
Montaje de los cables que conectan la planta con la red de distribución de Iberdrola	15.000,00	0,004	0,72%
Zanja 0,60 x 1,10			
Para canalización de la línea de MT desde el centro de seccionamiento hasta la subestación de Iberdrola	36.000,00	0,010	1,72%

Puesta a tierra			
PaT módulos fotovoltaicos			
Conductor enterrado al que se conectan los postes de sujeción de las estructuras de módulos	6.000,00	0,002	0,29%
PaT vallado			
Conductor de cobre enterrado al que se conectan los postes del vallado y cerramiento	8.000,00	0,002	0,38%
PaT línea media tensión			
Conductor enterrado para garantizar el aislamiento de los elementos de la planta que se encuentran a media tensión	4.000,00	0,001	0,19%
Sistemas de seguridad			
Elementos de seguridad			
Sistemas de iluminación, cámaras, anti-intrusión, alarmas y extinción de incendios	15.000,00	0,004	0,72%

4. Presupuesto general

Finalmente, se añade una tabla general con el presupuesto por sección, con menos detalle, de manera que se pueda ver más claramente las cantidades asignadas a cada partida.

Presupuesto del proyecto	€	€/Wp	%
Obra civil previa a la construcción	7.000,00	0,00	0,33%
Paneles fotovoltaicos	1.225.000,00	0,35	58,59%
Inversores	225.000,00	0,06	10,76%
Centro de transformación	59.000,00	0,02	2,82%
Centro de seccionamiento	55.000,00	0,02	2,63%
Cableado baja tensión corriente continua	199.041,46	0,06	9,52%
Cableado baja tensión corriente alterna	139.704,54	0,04	6,68%
Red de media tensión	148.000,00	0,04	7,08%
Puesta a tierra	18.000,00	0,01	0,86%
Sistemas de seguridad	15.000,00	0,00	0,72%
Total	2.090.746,00	0,60	

El presupuesto total del proyecto es, redondeando al alza 2.100.000€, que es del orden de lo que se esperaba de una planta de 3,5MW. Como se ha indicado previamente, este valor está sujeto a modificaciones, por lo que se debe tomar como un valor aproximado. Aun así, tanto el valor como los porcentajes de las distintas secciones son representativos del presupuesto final que se necesitará para el proyecto.

BIBLIOGRAFÍA

- [IDAE11] Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, “Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones Conectadas a Red”, PCT-C-RE. Julio 2011.
- [BUEN18] Benilde Bueno González, “Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión”, 5ª Edición Marcombo, S.A. 2018.
- [HANW17] Hanwha Q CELLS (Oidong) Co., Ltd. “Q.PRIME L-G5 325-345, Monocrystalline Solar Module”. Agosto 2017.
- [ABBA18] ABB Asea Brown Boveri, Ltd. “ABB in Solar – String for Utility”. Mayo 2018.
- [ORMA12] Ormazabal Velatia, “Instrucciones generales. Sistemas CGMCOSMOS. Celdas de media tensión aisladas en gas SF6 hasta 24kV”. IG-078-ES, Versión 09. Diciembre 2012.
- [NATU19] Natura Spain, “Naturaleza, espacios naturales, flora y fauna de Alcolea de Tajo (Toledo)”, <http://www.naturaspain.com/naturaleza-flora-y-fauna-en-el-municipio-de-alcolea-de-tajo.html>
- [ENER19] Energías Renovables, El Periodismo de las Energías Limpias, “Crece en dos años casi un 500% la energía solar fotovoltaica instalada en España”, <https://www.energias-renovables.com/fotovoltaica/crece-en-dos-anos-casi-un-500-20190204>. Febrero 2019.
- [ASTU17] Asturmadi Reenergy, S.L. “Soluciones adaptadas a las necesidades de nuestros clientes”, [http://asturmadienergy.com/productos.html#estructura fija](http://asturmadienergy.com/productos.html#estructura_fija). 2017.
- [PARA15] Paraninfo, S.L. “RAT. Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en líneas eléctricas de alta tensión”. Edición 2015.

UNIVERSIDAD PONTIFICIA DE COMILLAS
MASTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

ANEXOS

ANEXO 1. HOJA DE CARACTERÍSTICAS MÓDULOS SOLARES

ANEXO 2. HOJA DE CARACTERÍSTICAS INVERSORES

ANEXO 3. HOJA DE CARACTERÍSTICAS ORMAZABAL

UNIVERSIDAD PONTIFICIA DE COMILLAS
MASTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

Q.PRIME L-G5 325-345

MONOCRYSTALLINE SOLAR MODULE

The new **Q.PRIME L-G5** is the result of the continued evolution of our monocrystalline solar modules. Thanks to improved power yield, excellent reliability and high-level operational safety, the new **Q.PRIME L-G5** generates electricity at a low cost (LCOE) and is suitable for a wide range of applications.



SUPERIOR YIELD

High power output thanks to advanced 6-busbar technology and outstanding performance under real-life conditions



LOW LEVELIZED COST OF ELECTRICITY

Higher yield per surface area, lower BOS costs, higher power classes and an efficiency rate of up to 18.0%.



INNOVATIVE ALL-WEATHER TECHNOLOGY

Optimal yields, whatever the weather with excellent low-light and temperature behaviour.



EXTREME WEATHER RATING

High-tech aluminium alloy frame, certified for high snow (5400 Pa) and wind loads (2400 Pa).



MAXIMUM COST REDUCTIONS

Lower logistics costs due to higher module capacity per box.



A RELIABLE INVESTMENT

Inclusive 12-year product warranty and 25-year linear performance warranty¹.



¹ See data sheet on rear for further information.

THE IDEAL SOLUTION FOR:



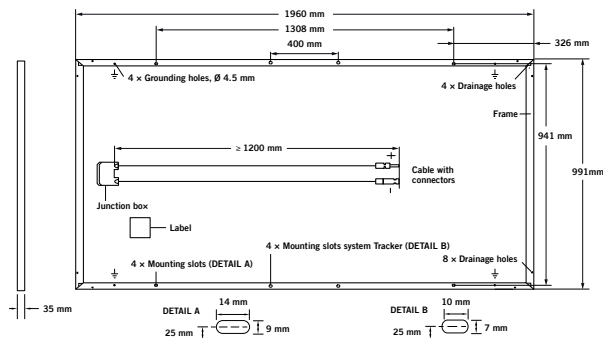
Ground-mounted
solar power plants

Engineered in **Germany**

Q CELLS

MECHANICAL SPECIFICATION

Format	1960 mm × 991 mm × 35 mm (including frame)
Weight	22.5 kg ± 5 %
Front Cover	3.2 mm thermally pre-stressed glass with anti-reflection technology
Back Cover	Multi-layer composite sheet
Frame	Anodised aluminium
Cell	6 × 12 monocrystalline solar cells
Junction box	Protection class IP67 or IP68, with bypass diodes
Cable	4 mm ² Solar cable; (+) ≥ 1200 mm, (-) ≥ 1200 mm
Connector	Intermateable connector with H4, MC4



ELECTRICAL CHARACTERISTICS

POWER CLASS			325	330	335	340	345
MINIMUM PERFORMANCE AT STANDARD TEST CONDITIONS, STC ¹ (POWER TOLERANCE +5 W / -0 W)							
Minimum	Power at MPP ²	P _{MPP} [W]	325	330	335	340	345
	Short Circuit Current*	I _{SC} [A]	9.22	9.29	9.35	9.41	9.46
	Open Circuit Voltage*	V _{OC} [V]	45.6	45.7	46.0	46.1	46.3
	Current at MPP*	I _{MPP} [A]	8.67	8.76	8.84	8.91	8.99
	Voltage at MPP*	V _{MPP} [V]	37.5	37.7	37.9	38.2	38.4
	Efficiency ²	η [%]	≥16.7	≥16.9	≥17.2	≥17.5	≥17.7
MINIMUM PERFORMANCE AT NORMAL OPERATING CONDITIONS, NOC ³							
Minimum	Power at MPP ²	P _{MPP} [W]	239	243	246	250	254
	Short Circuit Current*	I _{SC} [A]	7.46	7.51	7.56	7.61	7.65
	Open Circuit Voltage*	V _{OC} [V]	42.8	42.9	43.1	43.2	43.4
	Current at MPP*	I _{MPP} [A]	6.93	7.00	7.06	7.12	7.18
	Voltage at MPP*	V _{MPP} [V]	34.5	34.7	34.9	35.1	35.3

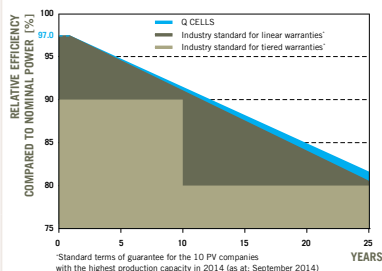
¹ 1000 W/m², 25 °C, spectrum AM 1.5 G

² Measurement tolerances STC ± 3 %; NOC ± 5 %

³ 800 W/m², NOCT, spectrum AM 1.5 G

* typical values, actual values may differ

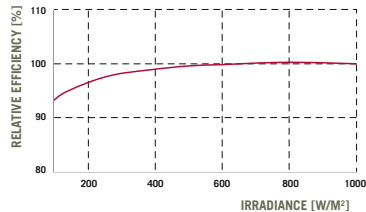
Q CELLS PERFORMANCE WARRANTY



At least 97.0 % of nominal power during first year. Thereafter max. 0.7 % degradation per year.
At least 90.7 % of nominal power up to 10 years.
At least 81.5 % of nominal power up to 25 years.

All data within measurement tolerances. full warranties in accordance with the warranty terms of the Q CELLS sales organization of your respective country.

PERFORMANCE AT LOW IRRADIANCE



Typical module performance under low irradiance conditions in comparison to STC conditions (25 °C, 1000 W/m²).

TEMPERATURE COEFFICIENTS

Temperature Coefficient of I _{SC}	α	[%/K]	+0.05	Temperature Coefficient of V _{OC}	β	[%/K]	-0.31
Temperature Coefficient of P _{MPP}	γ	[%/K]	-0.40	Normal Operating Cell Temperature	NOCT	[°C]	45 ± 3

PROPERTIES FOR SYSTEM DESIGN

Maximum System Voltage	V _{SYS}	[V]	1000 (IEC), 1500 (IEC)	Safety Class	II
Maximum Reverse Current	I _R	[A]	20	Fire Rating	C
Push/Pull Load (Test-load in accordance with IEC 61215)		[Pa]	5400/2400	Permitted Module Temperature On Continuous Duty	-40 °C up to +85 °C

QUALIFICATIONS AND CERTIFICATES

IEC 61215, IEC 61730, Conformity to CE, Application Class A



PARTNER

NOTE: Installation instructions must be followed. See the installation and operating manual or contact our technical service department for further information on approved installation and use of this product.

Hanwha Q CELLS (Qidong) Co., Ltd.

No. 888 Linyang Road, Qidong City, Jiangsu Province, China | EMAIL sales@hanwha-qcells.com | WEB www.q-cells.com

Engineered in **Germany**

Q CELLS



23 - MAY 2018

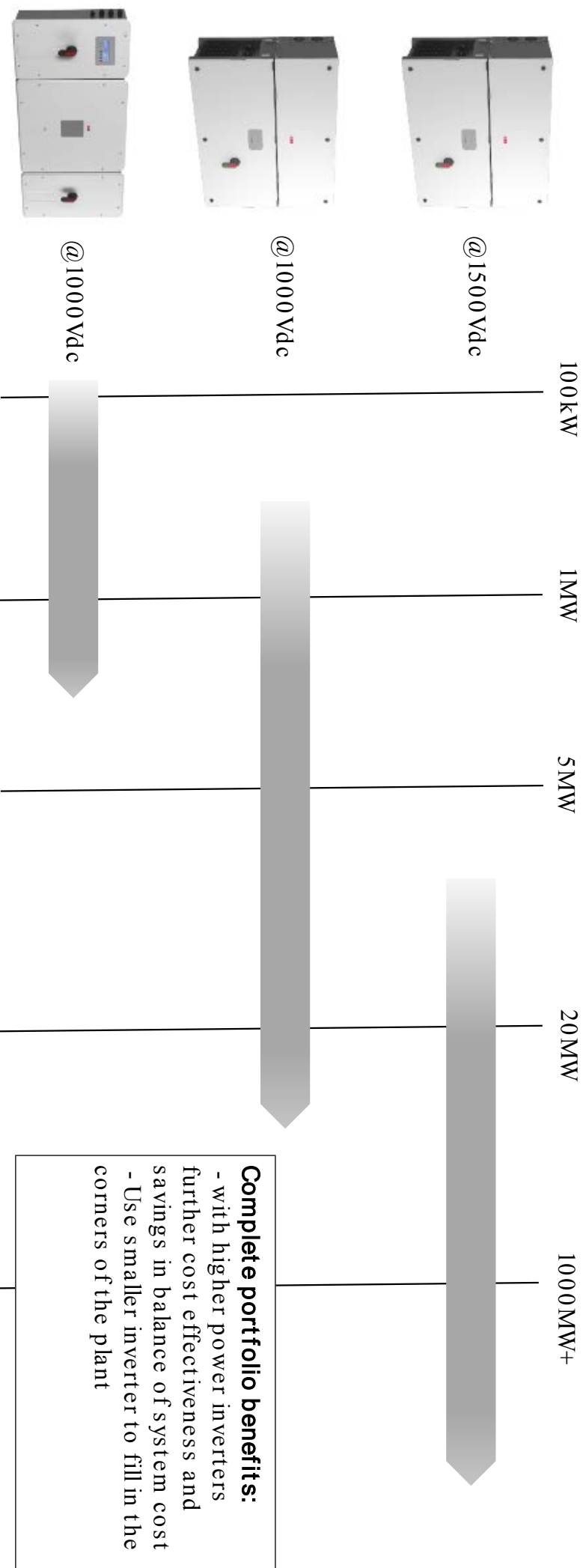
ABB in Solar – String for Utility

Enabling the digital grid with a renewing solution portfolio

Leonardo Botti, Global Head of Product Management – EPPE PG Solar

ABB three phase string inverter moving up

Complete portfolio



PVS-175@1500V

Technical parameters



Inverter parameters

- 185kW@30°C, 175kW@40°C
- Max Input Voltage 1500Vdc
- Vac = 800Vrms 3-ph/ 3 wire, 50/ 60Hz
- 12 Independent MPP / 24 strings
- Fuseless DC combiner design (reverse polarity protection)
- VMPP = 850 – 1350 Vdc, full power



User Interface

- Standard LEDs
- Integrated Web User Interface for managing inverter
- IOS and Android installation app for multiple inverter commissioning
- Standard level access to Aurora Vision remote monitoring service



Communication

- 2 x Ethernet;
- Wi-Fi Channel
- 1 x RS485;
- Modbus RTU/ TCP (Sunspec compliant);
- Integrated datalogger and direct connection to Aurora Vision remote portal

IP



Constructions

- IP65
- Forced Air cooling
- Two box construction
- Overall weight ≈ 120kg (55kg + 65 kg)
- High Power density ~1500 W/ kg

PVS-175@1500V

Available options – all integrated

SX wiring box version – cost cut

- 1) PVS-185-TL-POWER MODULE
- 2) WB-SX-PVS-185-TL
- 3) Mounting bracket: PVS-185

SX2 wiring box version - full version

- 1) PVS-185-TL-POWER MODULE
- 2) WB-SX2-PVS-185-TL
- 3) Mounting bracket: PVS-185

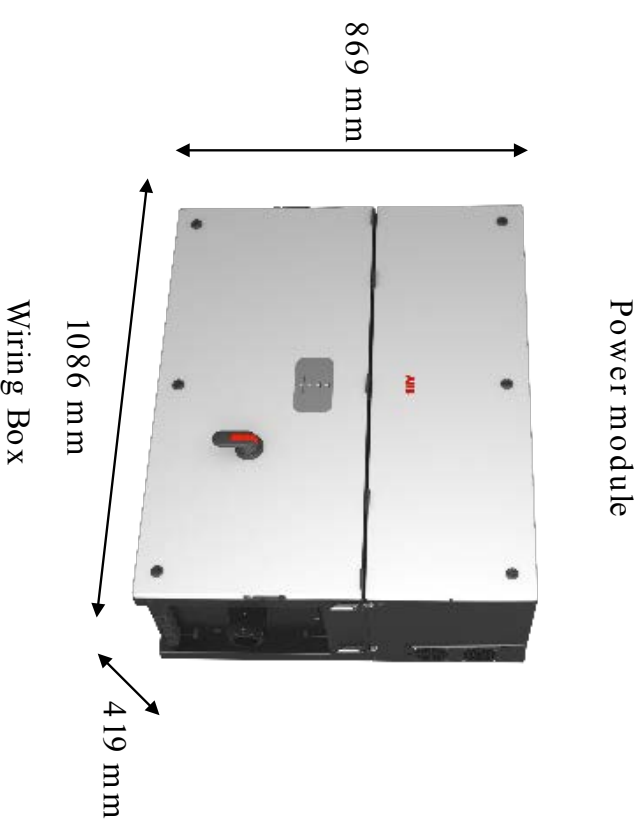
DC input			AC output			
Wiring box	DC – quick connectors	Input monitoring	DC disconnect switch	DC SPD Type II	AC disconnect switch	AC SPD Type II
WB-SX-PVS-185-TL	24 ch	Per MPPPT (12ch)	✓	-	-	-
WB-SX2-PVS-185-TL	24 ch	Per MPPPT (12ch)	✓	✓	✓	✓

PVS-175@1500V

Two boxes construction

Dimensions

- High power density almost 1500 W/kg
- Two box structure (power module ~55 kg, wiring box ~70kg)
- Benefits:
 - **Two person can manage** the mounting of boxes
 - **Cost saving on logistics**
 - Wiring box/ inverter box can be stocked separately
 - Future local variants of wiring box possible



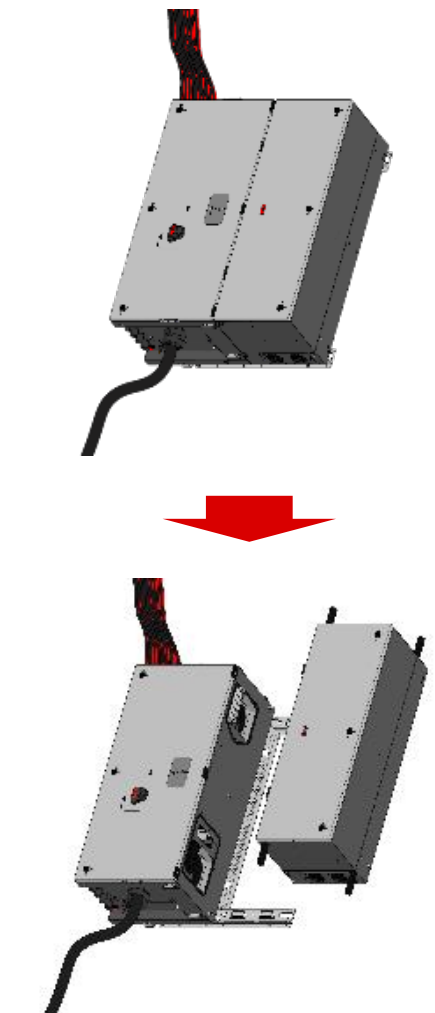
PVS-175@1500V

Friendly O&M

Assembly

2 boxes

- Easy way to handle both units
- Simple mounting process
- Easy replacement of the power units w/ o touching the connections



Connection inspection

Connection area

- Easy inspection
- Fast routine maintenance
- No high skilled requested



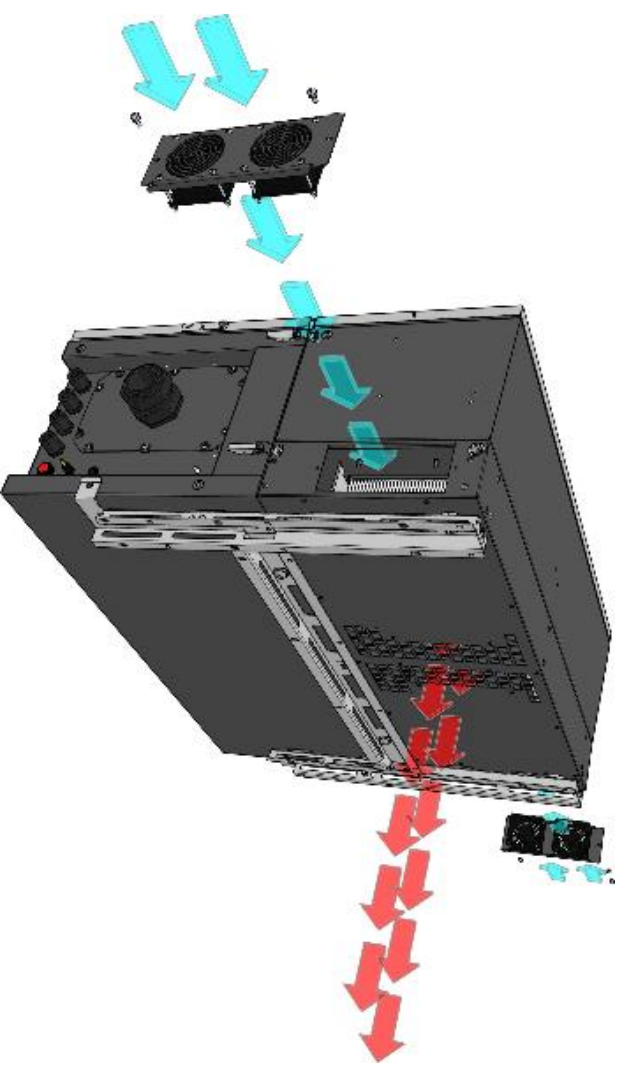
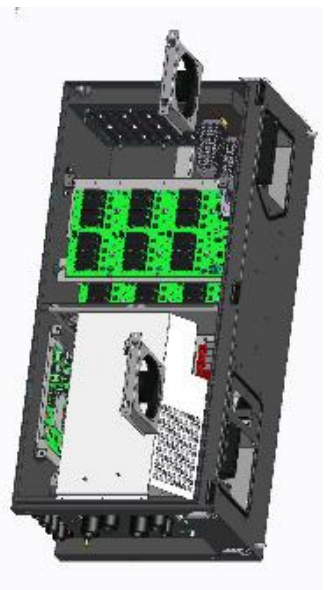
PVS-175@1500V

Increased lifetime with advanced cooling

Advanced cooling concept

2 independent and separated forced air circuits

- External circuit for power converter:
 - Cold air from the sides of the unit
 - Hot air exhaust from the rear
- Internal air recirculation circuit:
 - cooling of electromechanical components (inductors, contactors, capacitors, ...)
 - Internal air temperature equalization



PVS-175@1500V

Datasheet

Input side	
Absolute maximum DC input voltage (V_{maxdc})	1500 V
Start-up DC input voltage (V_{start})	650 V (650 ... 1000 V)
Operating DC input voltage range ($V_{dorm}...V_{dorm}$)	0.7 x $V_{start}...1500$ V (min 600 V)
Rated DC input voltage (V_{dc})	1250 V
Rated DC input power (P_{dc})	188 000 W @30°C (177kW @ 40°C)
Number of independent MPPT	12
MPPT input DC voltage range ($V_{MPPTmin}...V_{MPPTmax}$) at P_{acr}	850...1350 V
Maximum DC input current (I_{dcmax}) / for each MPPT (IMPTmax)	[12*22 A = 264 A] / 22 A
Maximum input short circuit current for each MPPT	30 A
Number of DC inputs pairs for each MPPT	2 DC inputs per MPPT
DC connection type	PV quick fit connector (*)
Input protection	
Reverse polarity protection	Yes, from limited current source
Input over voltage protection for each MPPT - varistor	Yes, 2
Input over voltage protection for each MPPT - replaceable surge arrester	Type 2
Photovoltaic array isolation control	According to IEC 62109-2
(Insulation Resistance and Leakage Current)	
DC switch rating for each MPPT	32A / 1500 V
Fuse rating	N/A, No fuses
String current monitoring	MPPT level current sense

Output side	
AC Gnd connection type	Three phase 3W+PE
Rated AC power ($P_{ac} @ \cos\phi=1$)	185 000 W
Maximum AC output power ($P_{acmax} @ \cos\phi=1$)	185 000 W
Maximum apparent power (S_{max})	185 000 VA
Rated AC gnd voltage (V_{ac})	800 V
AC voltage range	552...960 ²⁾
Maximum AC output current (I_{acmax})	134 A
Rated output frequency (f_i)	50 Hz / 60 Hz
Output frequency range ($f_{min}...f_{max}$)	45...55 Hz / 55...65 Hz ²⁾
Nominal power factor and adjustable range	> 0.995, 0...1 inductive/capacitive with maximum S_{max}
Total current harmonic distortion	< 3%
Max DC Current Injection (% of I_n)	< 0.5% I_n
Maximum AC Cable / multi core	3x185mm ²
Maximum AC Cable / single core	4x1x185mm ²
AC connection type	Terminal block
Output protection	
Anti-islanding protection	According to local standard
Maximum external AC overcurrent protection	200 A
Output overvoltage protection - replaceable surge protection	Type 2
Operating performance	
Maximum efficiency (η_{max})	98.9 %
Weighted efficiency (EURO/CEC)	98.6 %

1

—

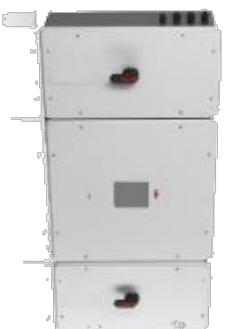
-



String MVS

Layout

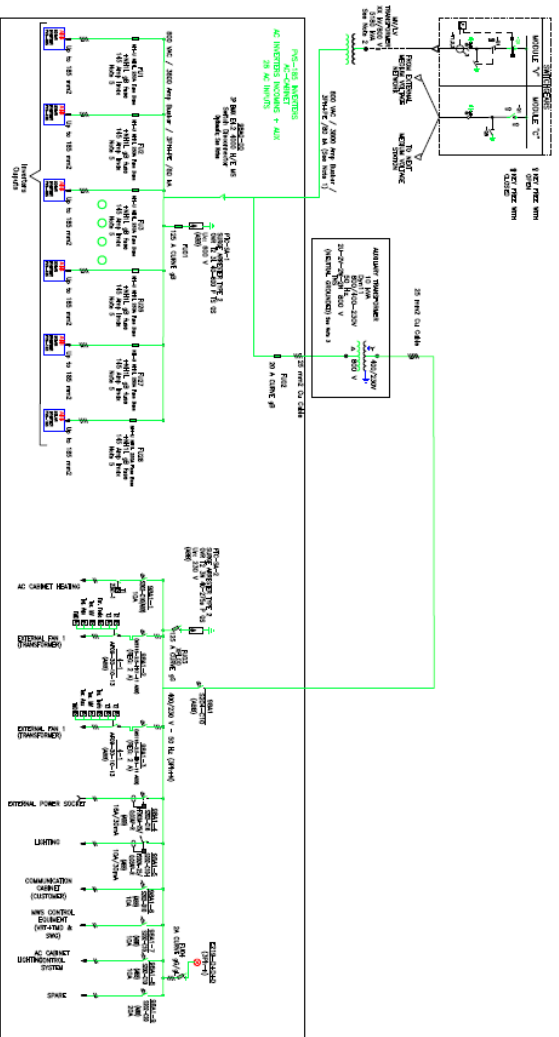
Flexible solutions



- Designed for decentralized system realized with ABB's latest string inverter TRIO-50/ 60 PVS-100/ 120
- Optimized layout for integration off all component necessary for MV connection
- Oil sealed/ Dry Type transformer compliant to the current European Regulation including No 584/ 2014 Ecodesign
- Single inverter feeders with protection for a simplified and cost optimized Balance of system (BoS)

String MVS

Footprint/SLD







Product overview

Reliable innovation. Personal solutions.

Substation solutions

Primary distribution			
MV Gas Insulated Switchgear		Protection & Automation	
» cpg.1		» ekor.rpa / ekor.rps	
Standards	IEC	Protection	Multifunction: 50-51, 50N-51N, 50NS-51NS, 67, 46, 49, 81, 27, 59N...
Busbar	Double	Automation and control	Communication, metering and control
U _r (max)	24 kV 36 kV		
I _r max (Busbar)	2500 A		
I _r max (outgoing)	2000 A		
I _k	25-31.5 kA (1 - 3 s)		
» cpg.0		Power transformers	
Standards	IEC IEEE-ANSI	» transforma.power	
Busbar	Single	Standards	IEC
U _r (max)	24 kV 36 kV 40.5 kV 27 kV 38 kV	U _r max	52 kV
I _r max (Busbar)	2500 A 1600 A 2250 A	Power max	10 MVA
I _r max (outgoing)	2500 A 1250 A 2250 A	» transforma.earth	
I _k	25-31.5 kA (1 - 3 s)	Type	Earthing reactances
» gae1250kmax		Standards	IEC
Standards	IEC	U _r max	36 kV
Busbar	Single	I _o (max)	1000 A
U _r (max)	24 kV	Walk-in type prefabricated substations	
I _r (max)	1250 A	» ormacontainer	
I _k	25 kA (1 - 3 s)	Type	Metal
» cgm.800		Standards	IEC
Standards	IEC IEEE-ANSI	U _r /Power (max. per unit)	40.5 kV / acc. project
Busbar	Single	Max. No. transf.	+1
U _r (max)	24 kV 36 kV 27 kV 38 kV	» pfu	
I _r (max)	800 A	Type	Concrete
I _k	25 kA (1 - 3 s)	Standards	IEC
		U _r /Power (max. per unit)	40.5 kV / 1000 kVA
		Max. No. transf.	+1



RES
Wind
Solar
Storage
Dispatchable RES



PUBLIC
DISTRIBUTION



END USERS
Infrastructures
Industrial
Tertiary
Electric vehicle



Distribution network solutions

Secondary distribution

MV Gas Insulated Switchgear										Prefabricated transformer substations: IEC 62271-202									
Switchgear systems										neuron									
Type	Modular & Compact (RMU)			Compact (RMU)			Modular			Modular & Compact (RMU)			Modular						
Standards	IEC	IEEE-ANSI		HN	IEC	IEC	IEC	IEEE-ANSI	IEC	IEEE-ANSI	IEC	IEC	IEEE-ANSI						
U (max)	24 kV		27 kV	24 kV		24 kV	36 kV	38 kV	40,5 kV	24 kV	36 kV	800 A / 27 kV	38 kV						
I / I _n (max.)	630 A / 25 kA (1 s)			630 A / 12,5 kA (1 s)	630 A / 20 kA (1 s)			630-1250 A / 20 kA (1 s)			630 A / 25 kA (1 - 3 s)			800 A / 25 kA (1 - 3 s)					
Name	» gcmcosmos				» ga			» gae				» gcm3			» gcm300				
																			
Type	Underground			Walk-in			Kiosk			Compact Kiosk			Rural Kiosk						
Standards	IEC	HN (P/M/PIE)	IEC	24 kV / 630 kVA	40,5 kV / 1000 kVA	24 kV / 630 kVA	24 kV / 250 kVA	HN (P/RCS / P/S)	40,5 kV / 1000 kVA	40,5 kV / 5000 kVA	40,5 kV / 5000 kVA	24 kV / 630 kVA							
U / Power (max.)	24 kV / 630 kVA	24 kV / 630 kVA	40,5 kV / 1000 kVA	24 kV / 250 kVA	20 kV / 100-250 kVA	36 kV / 250 kVA	1	1	1	1	1	1	1						
Max. No. of transformers	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1						
Name	» minisub			» cto			» ormaset			» miniblok			» cto						
