

# Proyecto Fin de Carrera Ingeniería Industrial

## Parque solar Fotovoltaico en Terreno Rústico

Autor: José Guerrero Crespo

Tutores: Eduardo Navarro González

Catalina Gómez Quilés

**Dep. Ingeniería Eléctrica  
Escuela Técnica Superior de Ingeniería  
Universidad de Sevilla**

Sevilla, 2017





Proyecto Fin de Carrera  
Ingeniería Industrial

# **Parque solar Fotovoltaico en Terreno Rústico**

Autor:

José Guerrero Crespo

Tutor:

Eduardo Navarro González

Catalina Gómez Quilés

Dep. de Ingeniería Eléctrica  
Escuela Técnica Superior de Ingeniería  
Universidad de Sevilla  
Sevilla, 2017



Proyecto Fin de Carrera: Parque solar Fotovoltaico en Terreno Rústico

Autor: José Guerrero Crespo

Tutor: Eduardo Navarro González  
Catalina Gómez Quilés

El tribunal nombrado para juzgar el Proyecto arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2017

El Secretario del Tribunal

# ÍNDICE

<b>ÍNDICE</b>	<b>7</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b>	<b>9</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>	<b>11</b>
<b>1 MEMORIA DESCRIPTIVA</b>	<b>13</b>
1.1 <i>INTRODUCCIÓN</i>	13
1.1.1 OBJETO	14
1.1.2 LOCALIZACIÓN Y EMPLAZAMIENTO	15
1.1.3 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PARQUE SOLAR	15
1.2 <i>INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA</i>	17
1.2.1 GENERADOR FOTOVOLTAICO	17
1.2.2 MÓDULOS FOTOVOLTAICOS	20
1.2.3 INVERSORES	21
1.2.4 OTROS ELEMENTOS	22
1.3 <i>OBRA CIVIL</i>	22
1.3.1 ACONDICIONAMIENTO DEL TERRENO	22
1.3.2 ESTRUCTURAS DE SOPORTE	22
1.3.3 CANALIZACIONES INTERNAS	22
1.4 <i>INSTALACIÓN ELÉCTRICA</i>	23
1.4.1 DESCRIPCIÓN GENERAL	23
1.4.2 CABLEADO DC	23
1.4.3 CABLEADO AC	24
1.4.4 PROTECCIONES	24
1.4.5 PUESTA A TIERRA	25
<b>2 MEMORIA JUSTIFICATIVA</b>	<b>29</b>
2.1 <i>INSTALACIÓN SOLAR TIPO</i>	30
2.1.1 JUSTIFICACIÓN DEL GENERADOR FOTOVOLTAICO	30
2.1.2 JUSTIFICACIÓN BACKTRACKING (SEPARACIÓN MÍNIMA ENTRE ESTRUCTURAS)	33
2.2 <i>CÁLCULOS ELÉCTRICOS</i>	38
2.2.1 INTENSIDAD MÁXIMA CIRCULANDO POR RAMAL	38
2.2.2 CAÍDAS DE TENSIÓN Y PÉRDIDAS DE POTENCIA	38
2.2.3 ELECCIÓN DE LAS PROTECCIONES	59
2.2.4 PROTECCIONES DEL RAMAL	59
2.2.5 PROTECCIONES GENERALES DEL SISTEMA DE CORRIENTE CONTINUA	59
2.2.6 PROTECCIONES GENERALES DEL SISTEMA DE CORRIENTE ALTERNA	60
2.3 PUESTA A TIERRA DE LA INSTALACIÓN	60
2.4 COMPROBACIÓN DE LA RESISTENCIA AL VUELCO DE LOS APOYOS DE LOS SEGUIDORES	66
<b>3 PRESUPUESTO</b>	<b>68</b>
<b>REFERENCIAS</b>	<b>75</b>
<b>ANEXO</b>	<b>77</b>
<b>PLANOS</b>	<b>87</b>



# ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Resumen Tipos de instalaciones que definen la Planta.	18
Tabla 2. Características Eléctricas de los módulos fotovoltaicos	20
Tabla 3. Dimensiones de los módulos fotovoltaicos	20
Tabla 4. Coeficientes de temperatura de los módulos fotovoltaicos	20
Tabla 5. Características Eléctricas del Inversor	21
Tabla 6. Protecciones en el Inversor	25
Tabla 7. Configuración de la tierra de protección para la instalación tipo A.	26
Tabla 8. Configuración de la tierra de protección para la instalación tipo B.	26
Tabla 9. Configuración de la tierra de protección para la instalación tipo C.	26
Tabla 10. Configuración de la tierra de protección para la instalación tipo D.	26
Tabla 11. Propiedades de la configuración de la tierra de protección de cada instalación.	27
Tabla 12. Configuración para la instalación que compone el Parque Solar.	33
Tabla 13. Estudio en función de la separación de los seguidores.	37
Tabla 14. Sección de diseño para el tramo 1 en continua.	39
Tabla 15. Sección de diseño para el tramo 2 en continua.	40
Tabla 16. Valores y características del cableado que confluye en caja de conexión tipo 1.	40
Tabla 17. Valores y características del cableado que confluye en caja de conexión tipo 1.1.	41
Tabla 18. Valores y características del cableado que confluye en caja de conexión tipo 2.	41
Tabla 19. Valores y características del cableado que confluye en caja de conexión tipo 3.	42
Tabla 20. Valores y características del cableado que contienen las zanjas de las instalaciones tipo A.	42
Tabla 21. Valores y características del cableado que contienen las zanjas de las instalaciones tipo B.	43
Tabla 22. Valores y características del cableado que contienen las zanjas de las instalaciones tipo C.	44
Tabla 23. Valores y características del cableado que contienen las zanjas de las instalaciones tipo D.	45
Tabla 24. Sección de diseño para los diferentes tramos del sistema de media tensión.	47
Tabla 25. Valores y características del cableado que contienen los anillos de media tensión.	49
Tabla 26. . Sección de diseño para la línea de alimentación de los motores.	50
Tabla 27. Valores y características del cableado que alimenta los motores. Línea Oeste.	51
Tabla 28. Valores y características del cableado que alimenta los motores. Línea Este.	52
Tabla 29. Valores y características del cableado que alimenta los motores. Línea Este. Continuación.	52
Tabla 30. Valores y características del cableado que alimenta los motores. Circuito con 31 seguidores.	53
Tabla 31. Valores y características del cableado que alimenta los motores. Circuito con 33 seguidores.	54
Tabla 32. Valores y características del cableado que alimenta los motores. Circuito con 34 seguidores.	54

---

Tabla 33. Sección de diseño para la línea de alimentación de la luminaria exterior.	55
Tabla 34. Valores y características del cableado que alimenta la luminaria. Línea Este	55
Tabla 35. Valores y características del cableado que alimenta la luminaria. Línea Oeste.	56
Tabla 36. Sección de diseño para la línea de alimentación de las cámaras de vigilancia.	56
Tabla 37. Valores y características del cableado que alimenta las cámaras de vigilancia. Línea Este	57
Tabla 38. Valores y características del cableado que alimenta las cámaras de vigilancia. Línea Oeste	57
Tabla 39. Resumen pérdidas instalación de continua.	58
Tabla 40. Resumen pérdidas instalación de media tensión.	58
Tabla 41. Resumen pérdidas instalaciones auxiliares.	58
Tabla 42. Configuración de la tierra de protección para la instalación tipo A.	61
Tabla 43. Configuración de la tierra de protección para la instalación tipo B.	61
Tabla 44. Configuración de la tierra de protección para la instalación tipo C.	61
Tabla 45. Configuración de la tierra de protección para la instalación tipo D.	61
Tabla 46. Configuración de la tierra de protección para la instalación de media tensión.	63
Tabla 47. Valores admisibles de la U de contacto aplicada $U_{ca}$ en función de la duración de la I de falta $t_F$	64

# ÍNDICE DE FIGURAS

---

Figura 1. Dimensiones de la planta.	15
Figura 2. Disposición de los módulos en la mesa seguidor.	18
Figura 3. Visión global del conjunto de instalaciones.	19
Figura 4. Diagrama pérdidas por sombreado sin backtracking.	34
Figura 5. Flujo energético del inversor sin backtracking.	34
Figura 6. Diagrama pérdidas por sombreado con backtracking	35
Figura 7. Flujo energético del inversor con backtracking.	35
Figura 8. Gráfica Energía global incidente frente a Separación seguidores.	37
Figura 9. Gráfica Energía disponible a la salida del inversor frente a Separación seguidores.	38
Figura 10. Intensidades térmicamente admisibles en cortocircuito para conductores de cobre.	48
Figura 11. Valores admisibles de la tensión de contacto aplicada Uca en función de la duración de la corriente de falta.	64
Figura 12. Esfuerzos Aplicados sobre apoyo de la mesa seguidor.	66



---

# 1 MEMORIA DESCRIPTIVA

---

## 1.1 INTRODUCCIÓN

Un sistema fotovoltaico de conexión a red, SFCR, es aquel que aprovecha la energía del sol para transformarla en energía eléctrica que cede a la red convencional para que pueda ser consumida por cualquier usuario conectado a ella.

Durante los últimos años en el campo de la actividad fotovoltaica los sistemas de conexión a la red eléctrica, constituyen la aplicación que mayor expansión ha experimentado. La extensión a gran escala de este tipo de aplicaciones ha requerido el desarrollo de una ingeniería específica que permite, por un lado, optimizar su diseño y funcionamiento y, por otro, evaluar su impacto en el conjunto del sistema eléctrico, siempre cuidando la integración de los sistemas y respetando el entorno arquitectónico y ambiental.

Hay que destacar la gran fiabilidad y larga duración de los sistemas fotovoltaicos. Por otra parte, requieren menos mantenimiento que otras tecnologías y presentan una gran simplicidad y facilidad de instalación. Además, la gran modularidad de estas instalaciones permite abordar proyectos de forma escalonada y adaptarse a las necesidades de cada usuario sea en función de sus necesidades o recursos económicos.

### 1.1.1 OBJETO

Es objeto de la presente memoria, definir las principales características técnicas y de funcionamiento de las instalaciones del Parque Solar de 11,583 MW de potencia nominal, compuesto a su vez por cuatro tipos diferentes de instalaciones de 1,158 MW nominales cada una, siendo diez en total. Cada uno de los tipos se describirá más adelante detalladamente.

El diseño que ocupa este proyecto parte de la necesidad de crear una instalación fotovoltaica que produzca 10MW, y a partir de ahí, se han estudiado las necesidades para llevarlo a cabo. Número de paneles necesarios, disposición eléctrica, cálculo de ramales, número de inversores, y resto de parámetro de diseño que se detallan a lo largo del proyecto.

Así mismo, dado el alcance de la cantidad de energía que será transferida a la red de distribución, evaluando para ella parámetros como Producción Bruta, pérdidas, orientación, cableado, uso de Backtraking etc., que finalmente conduzcan a la evaluación cuantitativa de la Producción Neta inyectada a la red.

Para el estudio y diseño del proyecto, se ha aplicado la siguiente normativa:

- Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión, con las correspondientes instrucciones técnicas complementarias. REAL DECRETO 842/2002, de 2 de agosto, y sus revisiones.
- Norma UNE-HD60364-5-52, Instalaciones eléctricas de baja tensión. Parte 5: Selección e instalación de equipos eléctricos. Canalizaciones.
- Norma UNE-HD60364-5-54, Instalaciones eléctricas de baja tensión. Parte 5-54: Selección e instalación de los equipos eléctricos. Puesta a tierra y conductores de protección.
- Código Técnico de la Edificación
- Norma UNE-211435, Guía para la elección de cables eléctricos de tensión asignada superior o igual a 0,6/1 kV para circuitos de distribución de energía eléctrica.
- Real Decreto 337/2014, de 9 de mayo, por el que se aprueban el Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en instalaciones eléctricas de alta tensión y sus Instrucciones Técnicas Complementarias ITC-RAT 01 a 23.
- La norma UNE-IEC/TS 60479-1 da indicaciones sobre los efectos de la corriente que pasa a través del cuerpo humano en función de su magnitud y duración, estableciendo una relación entre los valores admisibles de la corriente que puede circular a través del cuerpo humano y su duración.
- Nuevo Reglamento de Instalaciones Eléctricas de Alta Tensión. REAL DECRETO 223/2008, de 15 de febrero, por el que se aprueban el Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en líneas eléctricas de alta tensión y sus instrucciones técnicas complementarias ITC-LAT 01 a 09

- UNE 21192. Cálculo de las intensidades de cortocircuito térmicamente admisibles, teniendo en cuenta los efectos del calentamiento no adiabático

### 1.1.2 LOCALIZACIÓN Y EMPLAZAMIENTO

Las instalaciones objeto de esta memoria, se encontrarán situadas en la provincia de Sevilla. Se ha diseñado para su directa instalación en un suelo preparado, llano y listo para su ejecución. Las dimensiones de ocupación son 352.95x415.38m<sup>2</sup>.

El resto de dimensiones, ubicación de inversores, ancho de carreteras, separación entre mesas seguidor, y demás distancias significativas se detallan en el plano Acotación, Plano N°11.

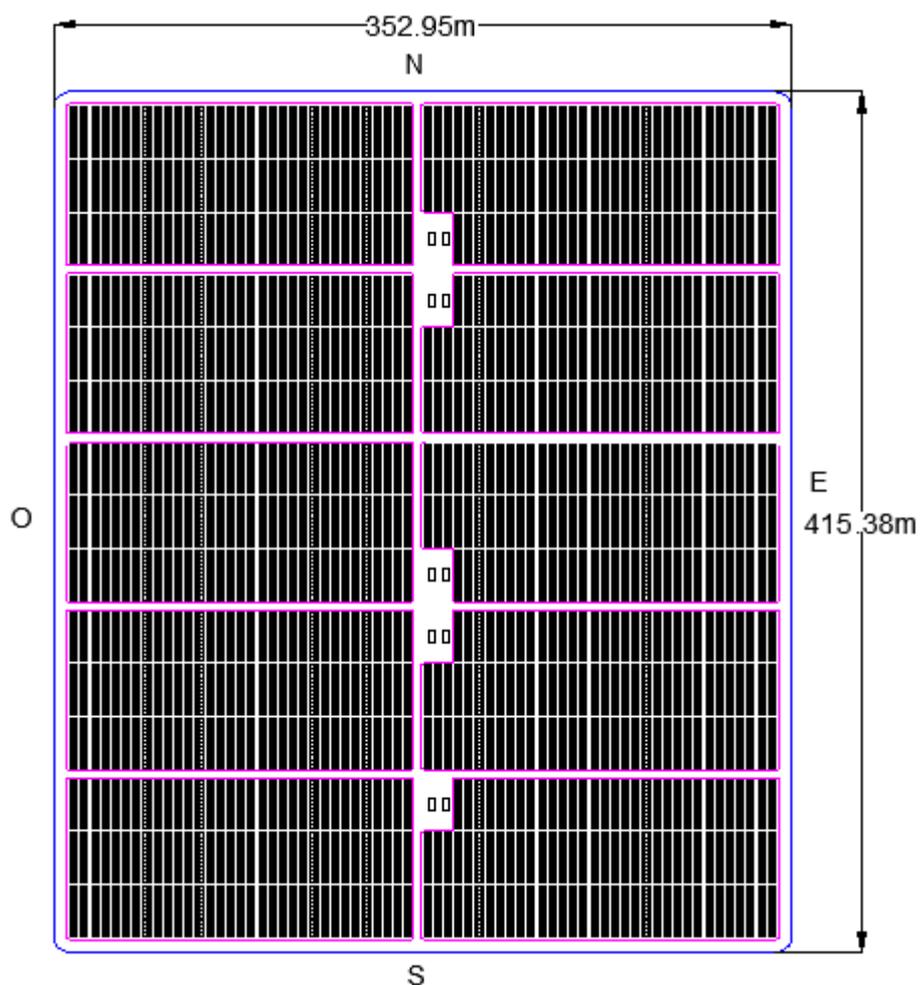


Figura 1. Dimensiones de la planta.

### 1.1.3 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PARQUE SOLAR

El Parque Solar estará formado a su vez por distintas partes o unidades perfectamente diferenciadas. Se relacionan y describen brevemente a continuación:

- **INSTALACIONES FOTOVOLTAICAS:** Tal y como se ha anticipado anteriormente, el Parque Solar estará formado a su vez por diez instalaciones independientes, cada una de 1,158 MW. A su vez, cada una de estas instalaciones está formada por las siguientes partes:
  - **GENERADOR FOTOVOLTAICO:** Estará compuesto por todos los módulos fotovoltaicos que serán los encargados de convertir la energía fotónica incidente en energía eléctrica. Se agruparán a su vez en un cierto número de ramales en paralelo compuestos por un cierto número de módulos en serie.
  - **ESTRUCTURAS:** Se engloban en este capítulo, principalmente, las estructuras soporte sobre las que irán montados los módulos fotovoltaicos pero también las canalizaciones que contendrán el cableado, tanto de corriente continua, como de corriente alterna que evacuarán la energía desde los módulos hasta el inversor y de éste, hasta el punto de conexión, como de la puesta a tierra del parque.
 

También comprende trabajos previos como posibles desbroces de terreno y excavado de pozos para cimentación.
  - **INSTALACIÓN ELÉCTRICA:** Comprende a su vez tres capítulos bien diferenciados
    - **Tramos DC:** Los tramos de corriente continua son los que unen las series de módulos fotovoltaicos que forman cada uno de los ramales, así como la unión de estos en paralelo hasta llegar al equipo inversor. Dependiendo del sub-tramo considerado, se tratará de cableado al aire o enterrado en el interior de tubos.
    - **Tramos AC:** Se trata de los tramos de corriente alterna de cada una de las instalaciones, que unen la salida de cada uno de los inversores con el monolito de centralización de contadores, lugar a partir del cual, comienzan las instalaciones comunes de evacuación en Baja Tensión.
    - **Tramos AUXILIARES:** Son los tramos de cableado que se usarán en la instalación para alimentar los motores que mueven los seguidores, la iluminación y para sistema de vigilancia. Estos sistemas serán alimentados por un transformador de servicios auxiliares que extraerá la energía del centro de entrega.
    - **Instalación de Puesta a Tierra:** Es la parte de la instalación encargada de garantizar que no se alcancen niveles de tensión peligrosas (ni para las personas ni para el material) ante contactos directos/indirectos o ante sobre-tensiones ya sea de tipo atmosférico o de maniobra.
  - **MONITORIZACIÓN Y CONTROL:** En el edificio de control del parque solar se instalarán un autómata con entradas digitales y analógicas que será el que reciba las señales enviadas por los inversores de cada una de las instalaciones.
 

Adicionalmente, se dispondrá en el mismo local de equipo informático necesario con el software adecuado para la adquisición, tratamiento y visualización de todos estos datos.

A su vez, los inversores instalados dispondrán de un sistema de control integrado en los mismos, denominado Optiprotec, que protege al inversor y monitoriza los ramales conectados a él.

Los motores que accionan los seguidores están controlados a través de bus RS485. Señal TTL. Controlados desde el edificio de control del parque.
  - **DISPOSITIVO DE SEGURIDAD:** Se trata del vallado perimetral que rodea toda la planta junto con el sistema de seguridad perimetral elegido.
- **INSTALACIÓN DE CENTRO DE ENTREGA:** Donde se entrega toda la energía fotovoltaica procedente de los paneles, directamente de los inversores, a través de un cableado de media tensión.
- **INSTALACIÓN DE EVACUACIÓN EN MEDIA TENSIÓN:** Comprende los Centros de Transformación necesarios para dar evacuación a la energía generada cumpliendo la normativa vigente

y las especificaciones técnicas de la compañía distribuidora, así como la línea de evacuación hasta el punto de conexión concedido. No es objeto de este proyecto el estudio de este apartado, quedando sin definir el centro de transformación pertinente para este tipo de instalación.

## 1.2 INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA

### 1.2.1 GENERADOR FOTOVOLTAICO

El Generador Fotovoltaico del Parque Solar estará formado a su vez por 10 Generadores independientes, cada uno de ellos correspondiente a cada una de las instalaciones. A su vez, habrá cuatro tipos distintos de instalaciones según sea su configuración, disposición y cableado. Todas ellas de una misma potencia, 1,158 MW. Se tendrán dos tipo A, dos tipo B, tres tipo C y tres tipo D. Cada una de ellas está compuesta por:

- Instalación tipo A: Formado por 3.564 módulos fotovoltaicos de 325 W<sub>p</sub> de potencia cada uno. (198 grupos en paralelo de 18 módulos). La potencia nominal de la instalación será de 1,158 MW<sub>p</sub>.

La disposición será como sigue:

Tres filas de 33 mesas-seguidor, orientado su eje mayor Norte-Sur, conteniendo cada seguidor 36 módulos, dispuestos horizontalmente en la longitud de la mesa, formando tres filas y doce columnas.

- Instalación tipo B: Formado por 3.564 módulos fotovoltaicos de 325 W<sub>p</sub> de potencia cada uno. (198 grupos en paralelo de 18 módulos). La potencia nominal de la instalación será de 1,158 MW<sub>p</sub>.

La disposición será como sigue:

Dos filas de 34 mesas-seguidor, y una de 31, orientado su eje mayor Norte-Sur, conteniendo cada seguidor 36 módulos, dispuestos horizontalmente en la longitud de la mesa, formando tres filas y doce columnas.

- Instalación tipo C: Formado por 3.564 módulos fotovoltaicos de 325 W<sub>p</sub> de potencia cada uno. (198 grupos en paralelo de 18 módulos). La potencia nominal de la instalación será de 1,158 MW<sub>p</sub>.

La disposición será como sigue:

Tres filas de 33 mesas-seguidor, orientado su eje mayor Norte-Sur, conteniendo cada seguidor 36 módulos, dispuestos horizontalmente en la longitud de la mesa, formando tres filas y doce columnas.

- Instalación tipo D: Formado por 3.564 módulos fotovoltaicos de 325 W<sub>p</sub> de potencia cada uno. (198 grupos en paralelo de 18 módulos). La potencia nominal de la instalación será de 1,158 MW<sub>p</sub>.

La disposición será como sigue:

Dos filas de 34 mesas-seguidor, y una de 31, orientado su eje mayor Norte-Sur, conteniendo cada seguidor 36 módulos, dispuestos horizontalmente en la longitud de la mesa, formando tres filas y doce columnas.

A continuación se muestra una tabla resumen y dos figuras para describir visualmente todo lo anterior.

	<b>TIPO A</b>	<b>TIPO B</b>	<b>TIPO C</b>	<b>TIPO D</b>
<b>Nº SEGUIDORES FILA 1</b>	33	33	34	31
<b>Nº SEGUIDORES FILA 2</b>	33	33	34	34
<b>Nº SEGUIDORES FILA 3</b>	33	33	31	34
<b>POTENCIA INSTALADA</b>	1,158Kw	1,158Kw	1,158Kw	1,158Kw
<b>ENTRADAS A INVERSOR</b>	3	3	3	3
<b>ZANJAS A INVERSOR</b>	UNA POR FILA	UNA POR FILA	UNA POR FILA	UNA POR FILA

Tabla 1. Resumen Tipos de instalaciones que definen la Planta.

La disposición de los paneles en cada mesa seguidor:

Los 36 paneles que montan en cada mesa seguidor se disponen en tres filas de 12 paneles colocados horizontalmente a lo largo de la mesa, tal y como se aprecia en la figura:


Figura 2. Disposición de los módulos en la mesa seguidor.

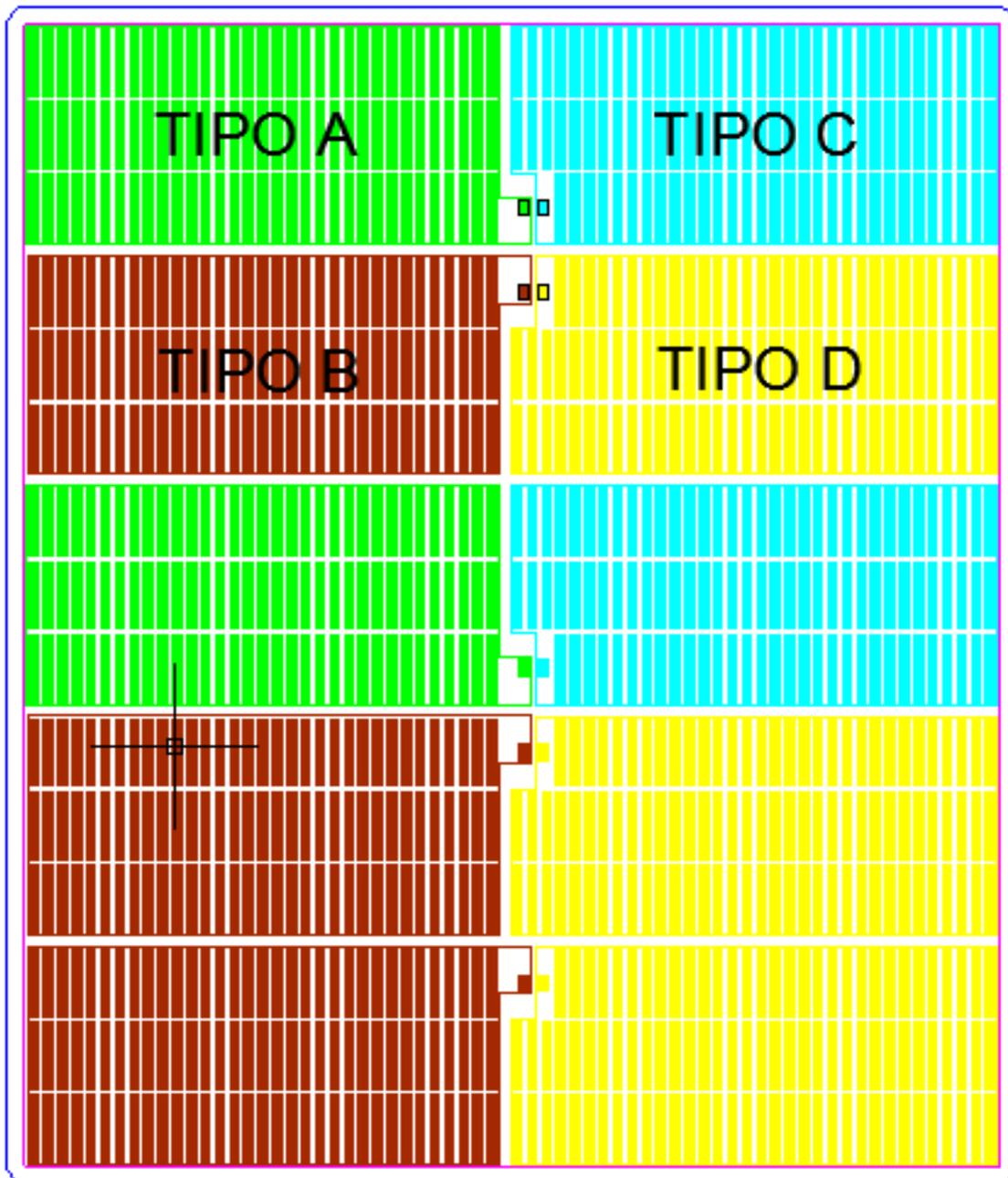


Figura 3. Visión global del conjunto de instalaciones.

Cada instalación evacúa la potencia generada en un Inversor.

Pudiendo parecer instalaciones semejantes, la diferencia radica en la disposición de las zanjas subterráneas, cableado y longitudes del mismo.

## 1.2.2 MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

Los módulos a emplear en todas las instalaciones son del mismo tipo, y tienen las siguientes características:

	CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS		
	SÍMBOL	VALOR	UD.
TENSIÓN A CIRCUITO ABIERTO	$V_{OC}$	45,8	V
TENSIÓN EN PTO. DE MÁX. POTENCIA	$V_{MPP}$	37,1	V
CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO	$I_{SC}$	9,28	A
CORRIENTE EN PTO. DE MÁX. POTENCIA	$I_{MPP}$	8,77	A
POTENCIA PICO	$P_P$	325	W
EFICIENCIA DEL MÓDULO	$H_m$	16,7	%

Tabla 2. Características Eléctricas de los módulos fotovoltaicos

	DIMENSIONES
LARGO (mm)	1956
ANCHO (mm)	992
ESPESOR (mm)	40

Tabla 3. Dimensiones de los módulos fotovoltaicos

	COEFICIENTES DE TEMPERATURA		
	SÍMBOLO	VALOR	UD.
POTENCIA	$\alpha_{PM}$	-0.44	% / °C
INTENSIDAD	$\alpha_{ISC}$	5.568	mA/ °C
TENSIÓN	$\alpha_{VOC}$	-155.72	mV/ °C

Tabla 4. Coeficientes de temperatura de los módulos fotovoltaicos

Con estas características se dimensionarán en la Memoria de Cálculos las características del nuevo generador fotovoltaico (número de módulos en serie por ramal y número de estos en paralelo).

### 1.2.3 INVERSORES

Estos inversores disponen de sistema de detección de fallos denominado Optiprotect, y de comunicación Modbus a través de Ethernet que se adaptará a los requisitos particulares del proyecto. Los inversores elegidos para esta instalación trabajan conectados por su lado DC a un generador fotovoltaico, y por su lado AC a un transformador elevador integrado que adapta la tensión de salida del inversor, 220V/230 V, a la red.

Cada inversor es capaz de transformar en corriente alterna y entregar a la red toda la potencia que el generador fotovoltaico genera en cada instante, funcionando a partir de un umbral mínimo de radiación solar.

– DIMENSIONES DEL ARMARIO:

- Anchura (mm).....5.400
- Altura (mm).....3.605
- Fondo (mm).....3.000

<b>CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS INVERSOR</b>	
Mínima Tensión DC de Entrada (V)	429
Máxima Tensión DC de Entrada (V)	1000
Máxima Corriente DC de Entrada (A)	2500
Máxima Corriente AC de Salida (A)	31,8
Potencia Nominal (MW)	1000
Tensión de Red (V)	20.000
Frecuencia de Red (Hz)	50
Coficiente de Distorsión Máxima	<3%
Rendimiento Máximo	98
Euro-Rendimiento	97,5

Tabla 5. Características Eléctricas del Inversor

## 1.2.4 OTROS ELEMENTOS

Se tendrán en cuenta en la instalación, además, los siguientes puntos adicionales con objeto de optimizar la eficiencia energética y garantizar la absoluta seguridad del personal:

- Todos los equipos situados a la intemperie tendrán un grado de protección mínimo IP54 y los de interior IP32.
- Todos los conductores serán de cobre, y su sección será la suficiente para asegurar que las pérdidas de tensión en cables y cajas de conexión sean inferiores al 2% de la tensión de trabajo del sistema en cualquier condición de operación.
- Todos los cables serán adecuados para uso en intemperie, al aire o enterrado, de acuerdo con la norma UNE-HD60364-5-52.

Los marcos de los módulos y las estructuras soporte se conectarán a la tierra siguiendo la normativa vigente en este tipo de instalaciones; es decir, sin alterar las condiciones de puesta a tierra de la red de la empresa distribuidora.

## 1.3 OBRA CIVIL

### 1.3.1 ACONDICIONAMIENTO DEL TERRENO

Se comenzará por la limpieza y el desbroce del terreno donde se ubicarán los equipos, retirando la capa de tierra vegetal contaminada e inservible para posteriores rellenos. Todos estos trabajos se ejecutarán con medios mecánicos (pala cargadora o trailla y camión basculante) si procedieran.

Una vez constituida la explanada de apoyo se rellenará, extenderá y apisonará con zahorra artificial una capa de 20 cm de espesor, hasta alcanzar un grado de compactación del 95 % Proctor Normal.

### 1.3.2 ESTRUCTURAS DE SOPORTE

Para soportar el número de módulos necesarios, en cada una de las instalaciones se necesitarán las correspondientes estructuras soportes, con las siguientes características:

- Sobre cada una de las estructuras irán colocados 36 módulos, divididos en dos ramales de 18 módulos cada uno. La disposición será de 3x12 módulos, colocados en horizontal siguiendo en eje mayor de la estructura. Los módulos estarán sujetos por bridas antirrobo.
- Cada estructura estará formada por cinco pórticos, sobre bloques de hormigón, de 30x30x400 cm los tres centrales, y de 30x30x300 cm los dos situados en las puntas, separados equidistantes.

En cada instalación tipo será necesario emplear 99 de estas estructuras.

### 1.3.3 CANALIZACIONES INTERNAS

Para conseguir que el cable quede correctamente instalado sin haber recibido daño alguno y que ofrezca seguridad frente a futuras excavaciones en la instalación de los cables, se tienen en cuenta las siguientes características de la canalización.

- El lecho de la zanja será liso y deberá estar libre de aristas vivas. En el fondo de la zanja se dispondrá el cable del circuito de tierra y sobre el mismo se dispondrá una capa de arena de río lavada, con un espesor mínimo de 5 centímetros. Encima de esta capa se colocarán los circuitos correspondientes según el tramo del que se trate, estando cada uno de ellos formado por dos cables unipolares de sección adecuada según el tramo del que se trate.

Ambas capas de arena deberán cubrir la anchura total de la zanja, la cual será suficiente para que se mantenga una distancia mínima de 5 centímetros entre los cables y las paredes de la misma.

- Por encima del conjunto de cables se colocará una protección mecánica que será una placa metálica, que tendrá a su vez la función de señalización.

## 1.4 INSTALACIÓN ELÉCTRICA

### 1.4.1 DESCRIPCIÓN GENERAL

El conjunto del Generador Fotovoltaico estará formado por 10 instalaciones formadas por 99 estructuras de dos ramales cada una. Cada instalación está compuesta por 198 ramales en paralelo, y cada ramal por 18 módulos fotovoltaicos en serie.

### 1.4.2 CABLEADO DC

El cableado en el lado de Corriente Continua se distinguirá entre al aire (conexiones entre módulos y entre ramales) y enterrado (canalizaciones desde las Cajas de Bornas hasta salir al Inversor).

La conexión de los conductores de los módulos se realizará mediante conectores Tecplug, conectores unipolares IP68, indicados para el la utilización en sistemas fotovoltaicos a tensiones hasta 1000 V y hasta 40 A.

Se tienen, sobre cada uno de estos tramos de cableado, las siguientes consideraciones:

#### CONEXIONES:

Los conductores de los cables utilizados en los tramos aéreos superficiales (conexión de módulos en serie y conexión entre ramales) y de bajada al tramo subterráneo, serán de Cobre y con una sección adecuada para limitar la caída total de tensión de la instalación a los valores deseados.

Para estos tramos se escoge un cableado de tipo **ZZ-F-0,6/1 kV** con aislamiento de Polietileno Reticulado y cubierta de PVC, y con unas secciones de 6 mm<sup>2</sup> para los ramales.

A partir de la Caja de conexiones, y hasta la entrada al Inversor el resto de la instalación será enterrada.

#### ENTERRADOS:

Los conductores de los cables utilizados en las líneas subterráneas serán de Cobre y de sección adecuada para limitar la caída total de tensión de la instalación a los valores deseados. Estarán aislados con mezclas adecuadas de compuestos poliméricos y debidamente protegidos contra la corrosión que pueda provocar el terreno donde se instalen, debiendo tener además la resistencia mecánica suficiente para soportar los esfuerzos a los que puedan estar sometidos.

En el interior de la canalizaciones el cableado será del tipo **RV-K 0,6/1 kV** con aislamiento de Polietileno Reticulado y cubierta de PVC de una sección determinada (**adecuada para cada uno de los tramos distintos, oscilará entre 70 y 120 mm<sup>2</sup>**).

### 1.4.3 CABLEADO AC

#### MEDIA TENSIÓN:

Los conductores de los cables utilizados en el tramo de corriente alterna que va desde cada uno de los Inversores hasta el Centro de Entrega, de cada una de las instalaciones serán de Aluminio y de sección adecuada para limitar la caída total de tensión de la instalación a los valores deseados. Estarán aislados con mezclas adecuadas de compuestos poliméricos y debidamente protegidos contra la corrosión que pueda provocar el terreno donde se instalen, debiendo tener además la resistencia mecánica suficiente para soportar los esfuerzos a los que puedan estar sometidos.

Así, para este tramo se tendrá una terna de cables unipolares del tipo **RHZ1 12/20 kV** con aislamiento de **Polietileno Reticulado** y cubierta de PVC.

Para la elección de la tensión nominal del cable, según norma UNE 211435 y en la tabla 2 de la ITC-LAT 06.

Para una Tensión de 20kV, Categoría A de red, corresponde la tensión nominal antes señalada.

Categoría A, para aquellos sistemas en los que el conductor de cualquier fase que pueda entrar en contacto con tierra, o con un conductor de tierra, es desconectado del sistema en un tiempo inferior a un minuto.

#### CIRCUITOS AUXILIARES:

Se tienen tres circuitos de corriente alterna auxiliares que partirán de un transformador de servicios auxiliares procedente del embarado del centro de entrega. Estos circuitos son:

- Alimentación a motores, cada mesa-seguidor dispondrá de un motor controlado para el movimiento de la mesa según necesidades de inclinación de ésta para su perfecta adaptación al Backtracking.
- Alimentación de luminaria exterior, alrededor de la parcela se colocarán hasta un total de ocho puntos de luz para la iluminación del cercado.
- Alimentación de cámaras de vigilancia, todo el perímetro de la planta está vigilado por cámaras que abarcan el cien por cien del vallado, para su seguridad.

Las tres instalaciones tendrán las siguientes características: los conductores serán de Cobre y de sección adecuada para cada uno de los tramos y así limitar la caída de tensión a los valores adecuados, será enterrada, y el cableado del tipo **RV-K 0,6/1 kV** con una sección de 6 mm<sup>2</sup>.

### 1.4.4 PROTECCIONES

#### SOBRECARGA

El punto más desfavorable al que podría estar funcionando el módulo FV es precisamente la situación de cortocircuito, que como se verá más adelante, no es un valor elevado. Para prever este exceso de carga se han utilizado secciones en los cableados con un coeficiente de seguridad añadido del 125%, así lo indica la norma (ITC-BT-40) para tipos de instalaciones generadoras de energía, con el valor añadido de conseguirse unas pérdidas menores, que tratándose de un sistema de generación de energía es un punto importante.

#### SOBRETENSIONES

Se instalarán en cada caja de conexión del cableado procedente de las mesas seguidor, descargadores de tensión con pica de puesta a tierra.

#### CORTOCIRCUITOS

El cortocircuito es un punto de trabajo no peligroso para el generador fotovoltaico, ya que la corriente está limitada a un valor muy cercano a la máxima de operación normal del mismo (en el caso de los módulos considerados en

este proyecto, el valor de esta corriente es de 9,28 A en el caso de la máxima temperatura esperada, más desfavorable). El cortocircuito podría, sin embargo, ser perjudicial para el inversor. No obstante, se ha limitado el número de ramales en paralelo, de manera que en el caso de cortocircuito, la intensidad máxima obtenida no supere a la intensidad máxima soportada por el Inversor.

Para las personas es peligrosa la realización / eliminación de un cortocircuito franco en el campo generador, por pasar rápidamente del circuito abierto al cortocircuito, lo que produce un elevadocarro eléctrico, por la variación brusca en la corriente. Como medida de protección a las personas frente a este caso es, sin embargo, recomendable, la conducción separada del positivo y del negativo. Así se evita la realización / eliminación accidental de un cortocircuito producido por daños en el aislamiento del cable. Esto se consigue utilizando dos cables unipolares por circuito, uno para el positivo y otro para el negativo, en oposición a la utilización de un solo cable multipolar.

### CONTACTOS

Para que la instalación esté protegida frente a contactos, se dispone de una instalación de puesta a tierra.

### VIGILANTES DE AISLAMIENTO PARA LAS LÍNEAS DE CORRIENTE CONTINUA.

Las líneas de entrada al inversor llevarán incorporados sistemas de vigilancia al aislamiento para la detección de la falta de aislamiento de los conductores (+/-) frente a tierra. Actuando sobre el sistema de alarma y desconexión de la instalación para evitar riesgos al personal.

### PROTECCIONES EN EL INVERSOR

Punto de desconexión en el lado de entrada	Interruptor-seccionador a motor CC
Punto de desconexión en el lado de salida	Interruptor-seccionador de cable con fusibles de alta tensión
Protección sobretensión de la CC / CA, del lado de baja tensión	Descargador de sobretensión del tipo I / II

Tabla 6. Protecciones en el Inversor

### PROTECCIONES EN LAS CAJAS DE CONEXIONES

Las cajas de conexiones disponen de fusible a la entrada de un calibre de 20 A.

### PROTECCIONES EN CELDAS DE SALIDA INVERSOR

- Protección con interruptor automático IEC 62271-100
- Interruptor seccionador IEC 62271-103

## **1.4.5 PUESTA A TIERRA**

Se dispondrá de un sistema de puesta a tierra en la instalación. Se pondrán a tierra todas las masas metálicas de la instalación, tanto en el sistema de corriente continua, como de alterna.

### Tierra de protección de corriente continua.

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

Igualmente, en las cajas de conexión existentes se disponen descargadores de tensión, y se coloca una pica en cada lugar donde haya emplazada una de ellas.

Se definen individualmente cuatro subinstalaciones tipo de puesta a tierra para cada tipo de grupo generador fotovoltaico definido, que evacúa su energía producida a su inversor correspondiente.

La configuración de la tierra de protección de cada instalación generadora tiene las siguientes propiedades:

Geometría del sistema	Anillo rectangular
Distancia de la red	28 m x 157 m
Profundidad del electrodo horizontal	0.5 m
Número de picas	4
Longitud de las picas	2 m

Tabla 7. Configuración de la tierra de protección para la instalación tipo A.

Geometría del sistema	Anillo rectangular
Distancia de la red	28 m x 157 m
Profundidad del electrodo horizontal	0.5 m
Número de picas	4
Longitud de las picas	2 m

Tabla 8. Configuración de la tierra de protección para la instalación tipo B.

Geometría del sistema	Anillo rectangular
Distancia de la red	28 m x 162 m
Profundidad del electrodo horizontal	0.5 m
Número de picas	4
Longitud de las picas	2 m

Tabla 9. Configuración de la tierra de protección para la instalación tipo C.

Geometría del sistema	Anillo rectangular
Distancia de la red	28 m x 162 m
Profundidad del electrodo horizontal	0.5 m
Número de picas	4
Longitud de las picas	2 m

Tabla 10. Configuración de la tierra de protección para la instalación tipo D.

Las picas se unirán entre si con conductor desnudo de cobre 25 mm<sup>2</sup>.

El anillo rectangular irá instalado de forma que rodee a cada generador fotovoltaico.

La estructura soporte de los paneles, así como el marco metálico del mismo, se unirán al conductor de la red de tierra, el cual estará unido al resto de la red mediante soldadura aluminotérmica.

Durante la instalación de la puesta a tierra, se realizarán medidas experimentales de la resistencia de la misma. Esta resistencia deberá ser inferior a 80  $\Omega$ , según memoria de cálculo, por lo que en obra se podrá aumentar o disminuir el número de picas, con el objeto de conseguir como máximo esta resistencia.

#### Tierra de protección del sistema de media tensión.

Todas las partes metálicas de los elementos de corriente alterna se unen a esta tierra de protección, como son las envolventes de los cuadros de corriente alterna.

La configuración de la tierra de protección tiene las siguientes propiedades:

Geometría del sistema	Picas alineadas
Número de picas	2
Longitud entre picas	345 m
Profundidad de las picas	0.8 m
Longitud de las picas	2 m

Tabla 11. Propiedades de la configuración de la tierra de protección de cada instalación.

Las picas se unirán entre si con conductor desnudo de cobre 50 mm<sup>2</sup>.



## **2 MEMORIA JUSTIFICATIVA**

---

## 2.1 INSTALACIÓN SOLAR TIPO

### 2.1.1 JUSTIFICACIÓN DEL GENERADOR FOTOVOLTAICO

#### 2.1.1.1 NÚMERO MÁXIMO DE MÓDULOS POR RAMAL

El valor máximo de la tensión de entrada al inversor corresponde a la tensión del circuito abierto del generador fotovoltaico cuando la temperatura del módulo es mínima. La temperatura del módulo mínima corresponde con una temperatura ambiente mínima, que suele corresponder a Invierno y que para climas como el de España se puede considerar de  $-5^{\circ}\text{C}$  y para una irradiancia mínima de  $100\text{ W/m}^2$ .

La temperatura del módulo en estas condiciones se determina mediante la siguiente expresión:

$$T_p = T_a + \left( \frac{T_{ONC} - 20}{800} \right) \times I$$

Siendo:

- $T_p$ : Temperatura del Módulo
- $T_a$ : Temperatura Ambiente
- $I$ : Irradiancia
- $T_{ONC}$ : Temperatura de Operación Nominal de la Célula ( $45^{\circ}\text{C}$ )

Para una temperatura ambiente de  $-5^{\circ}\text{C}$  y una irradiancia de  $100\text{ W/m}^2$ , se obtiene un valor de  $T_p = -1,875^{\circ}\text{C}$ .

El número máximo de módulos por ramal conectados *en serie* se determina como el cociente entre la tensión máxima de entrada del inversor y la tensión a circuito abierto del módulo a su temperatura mínima, que son estos  $-1,5^{\circ}\text{C}$  obtenidos anteriormente. Se tendría entonces:

$$N_{max,serie} = \frac{U_{max(INV)}}{U_{CA(T_{min})}}$$

Siendo:

- $N_{max,serie}$ : N° máximo de módulos por ramal
- $U_{max(INV)}$ : Tensión Máxima de entrada en el Inversor (V)
- $U_{CA(T_{min})}$ : Tensión a circuito abierto del módulo en condiciones de mínima temperatura.

La tensión en circuito abierto del módulo a la mínima temperatura se obtiene a partir de la siguiente expresión:

$$U_{CA}(-1.875^{\circ}\text{C}) = U_{CA}(STC) - (26,875^{\circ}\text{C} \cdot \Delta U)$$

- $U_{CA}(STC) = 45,8\text{ V}$
- $\Delta U = -155,52\text{ mV}/^{\circ}\text{C}$

Para los módulos escogidos se tienen los siguientes valores:

$$U_{CA}(-1.875^{\circ}\text{C}) = 49,985\text{ V}$$

Por su parte, la tensión máxima que soporta el inversor considerado es de

$$U_{MAX}(INV) = 1000 \text{ V}$$

Se obtiene entonces, que el número máximo de módulos en serie por ramal es de

$$N_{max,serie} = \frac{1000}{49,985} = 20,006$$

Puesto que este número debe ser entero, se limitara entonces a

$$N_{max,serie} \leq 20$$

### 2.1.1.2 NÚMERO MÍNIMO DE MÓDULOS POR RAMAL

El número mínimo de módulos por ramal viene limitado por la tensión mínima de entrada al inversor. Este valor mínimo deber ser menor o igual que al tensión de máxima potencia mínima del generador fotovoltaico que se corresponde cuando la temperatura del módulo es máxima. Esto sucede para una irradiancia de 1.000 W/m<sup>2</sup> y una temperatura ambiente máxima, que suele darse en verano, siendo para climas como el de España de 45°C.

Aplicando la misma expresión anterior, pero para estos nuevos valores:

$$T_p = T_a + \left( \frac{T_{ONC} - 20}{800} \right) \times I$$

Se obtiene un valor de  $T_p = 76,25 \text{ °C}$

Así pues, el valor de la tensión mínimo se alcanzara cuando los paneles lleguen a esta temperatura:

$$U_{PMP}(76,25\text{°C}) = U_{PMP}(STC) + (51,25\text{°C} \cdot \Delta U)$$

Para los valores del módulo mencionados anteriormente se tiene un resultado de

$$U_{PMP}(76,25\text{°C}) = 29,1194 \text{ V}$$

A partir de aquí, el número mínimo de módulos conectados en serie en un ramal se obtiene a partir del cociente entre la tensión mínima de entrada del inversor en el Punto de Máxima Potencia y la Tensión mínima del módulo en este mismo punto de máxima potencia, es decir:

$$N_{min,serie} = \frac{U_{PMP}(INV)}{U_{PMP}(T^*_{MAX})}$$

En el caso del inversor escogido, el mínimo valor de tensión para que funcione el seguimiento del punto de máxima potencia es:

$$U_{PMP}(INV) = 449 \text{ V}$$

Sustituyendo valores se obtiene:

$$N_{min,serie} = 449 / 29,1194 = 15,42$$

Puesto que este número debe ser entero, se limitara entonces a

$$N_{min,serie} = 16$$

### 2.1.1.3 ELECCIÓN DEL NÚMERO DE MÓDULOS EN SERIE

A raíz de los resultados obtenidos en los apartados anteriores, se elige una configuración, cumpliendo ambas condiciones, de **18** Módulos en serie.

### 2.1.1.4 NÚMERO DE RAMALES EN PARALELO

El número de ramales en paralelo se determina como el cociente entre la potencia pico del Generador FV,  $P_{PMP,FV}$ , y la potencia pico de un ramal,  $P_{PMP,RAMAL}$ . Se tiene entonces la siguiente expresión:

$$N_{Ramales,Paralelo} = \frac{P_{PMP,FV}}{P_{PMP,RAMAL}}$$

A partir de la configuración deseada de inversor de 1.150 MW paneles de 325 Wp cada uno, se tiene una potencia total del generador fotovoltaico de 5,2 kW. Sustituyendo en la expresión anterior:

$$N_{Ramales,Paralelo} = 222,15 \rightarrow 222 \text{ Ramales}$$

Este número de ramales en paralelo, tiene que cumplir además la condición de que la corriente de cortocircuito máxima (la que se da a la máxima temperatura de los módulos del ramal) sea menor que la Intensidad máxima admisible de entrada al inversor, según la expresión:

$$N_{Ramales,Paralelo} \cdot I_{CC,RAMAL} \leq I_{MAX,INV}$$

La corriente de cortocircuito de cada ramal, para el valor de temperatura máxima obtenido anteriormente viene dado entonces por la siguiente expresión:

$$I_{CC}(76,25^{\circ}\text{C}) = I_{CC}(STC) + (51,25^{\circ}\text{C} \cdot \Delta I)$$

Para los módulos que se ha escogido, se tienen los siguientes valores:

$$I_{CC}(STC) = 9,28 \text{ A}$$

$$\Delta I = 5,568 \text{ mA}/^{\circ}\text{C}$$

Sustituyendo valores, se obtiene:

$$I_{CC}(76.25^{\circ}\text{C}) = 9,5654 \text{ A}$$

Por lo que se cumple la expresión:

$$222 \cdot 9,5654 = 2124,98 \text{ A} < 2500 \text{ A}$$

#### 2.1.1.5 CONFIGURACIÓN ADOPTADA

Para la instalación que compone el Parque Solar, se adopta, a raíz de los resultados anteriores, la siguiente configuración:

POTENCIA MÓDULO	325 Wp
Nº TOTAL DE MÓDULOS	3564
POTENCIA INSTALADA	1,158 MW
MÓDULOS EN SERIE/RAMAL	18
RAMALES EN PARALELO	198
DISPOSICIÓN	99 ESTRUCTURAS DE 2 RAMALES CADA UNA
TENSIÓN RAMAL (PMP)	667,8 V
INTENSIDAD RAMAL (PMP, 76.25°C )	19,56 A

Tabla 12. Configuración para la instalación que compone el Parque Solar.

#### 2.1.2 JUSTIFICACIÓN BACKTRACKING (SEPARACIÓN MÍNIMA ENTRE ESTRUCTURAS)

Al comienzo del estudio preliminar, se plantea la hipótesis de realizar el proyecto con o sin Backtracking, así, para la configuración seleccionada previamente, por medio del PVSYST se analizan ambas instalaciones con los siguientes resultados:

##### Sin Backtracking

Se ajusta la distancia entre seguidores de modo que para el día menos favorable del año, 22 de diciembre, no existan pérdidas por sombreado a la hora más favorable del día (entre las 12 h. y las 13h.).

La distancia a las que se separarán los paneles sería de 8,55 m

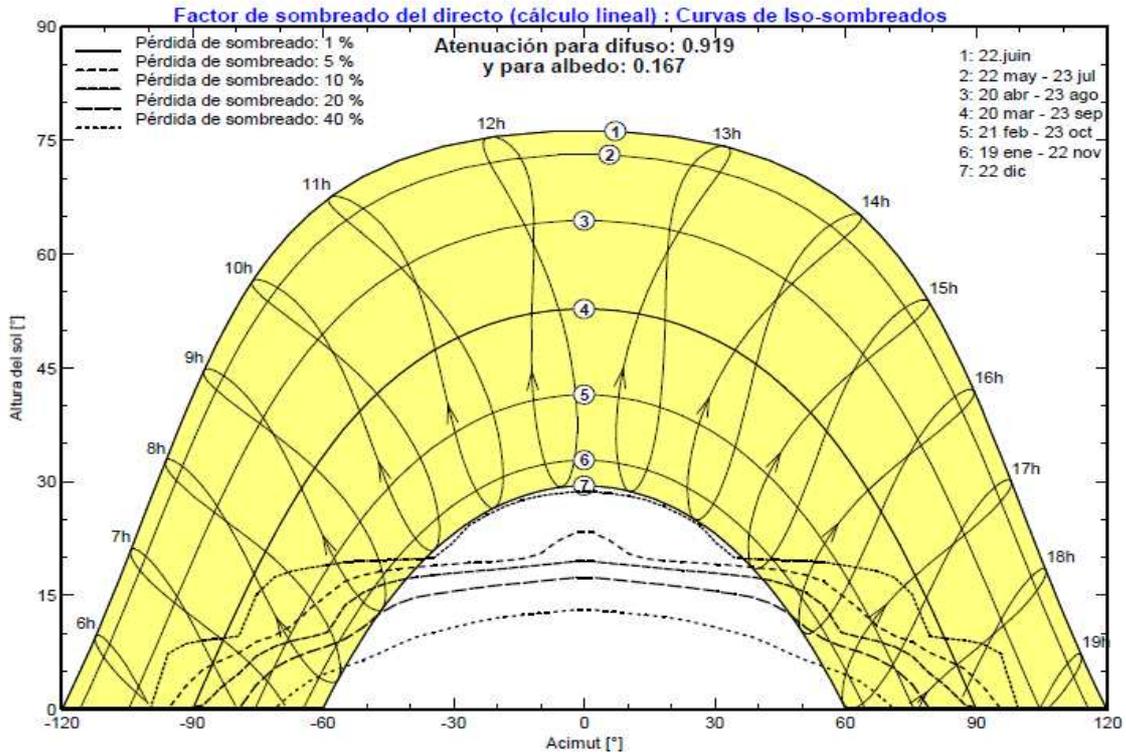


Figura 4. Diagrama pérdidas por sombreado sin backtracking.

Para esta disposición, el diagrama de pérdidas y flujo de energía que se obtiene es el siguiente:

**Diagrama de pérdida durante todo el año**

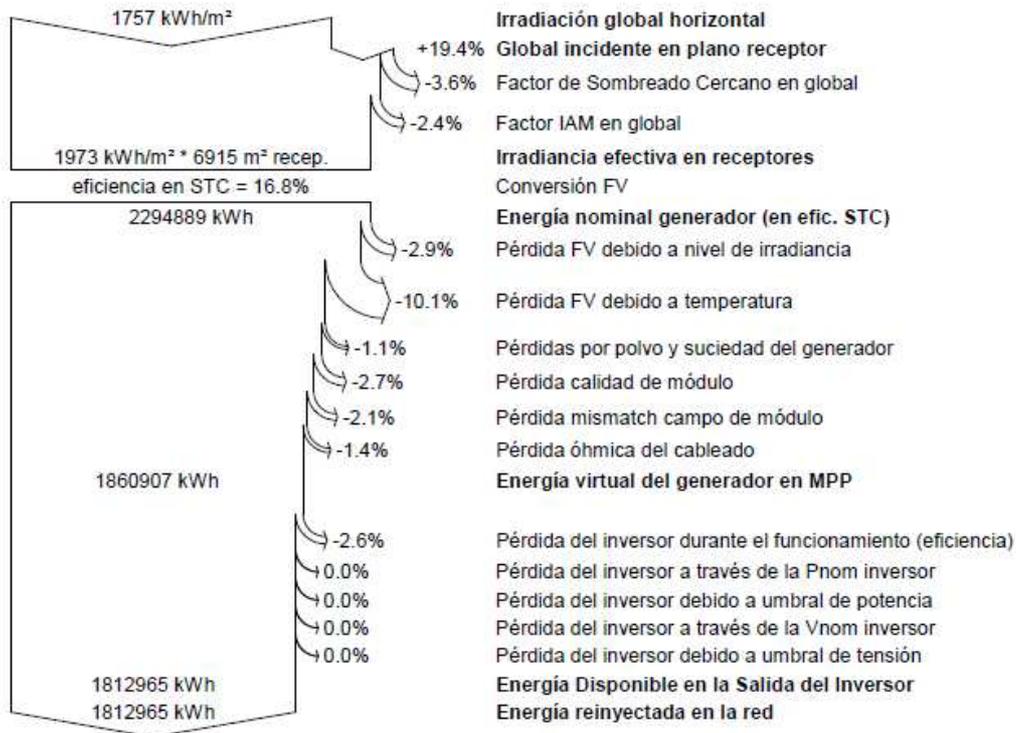


Figura 5. Flujo energético del inversor sin backtracking.

Con Backtracking

Tal y como se ha justificado anteriormente, escogiendo una separación entre seguidores de 5 m. y aplicando backtracking a la instalación, efectivamente las pérdidas por sombreado desaparecen:

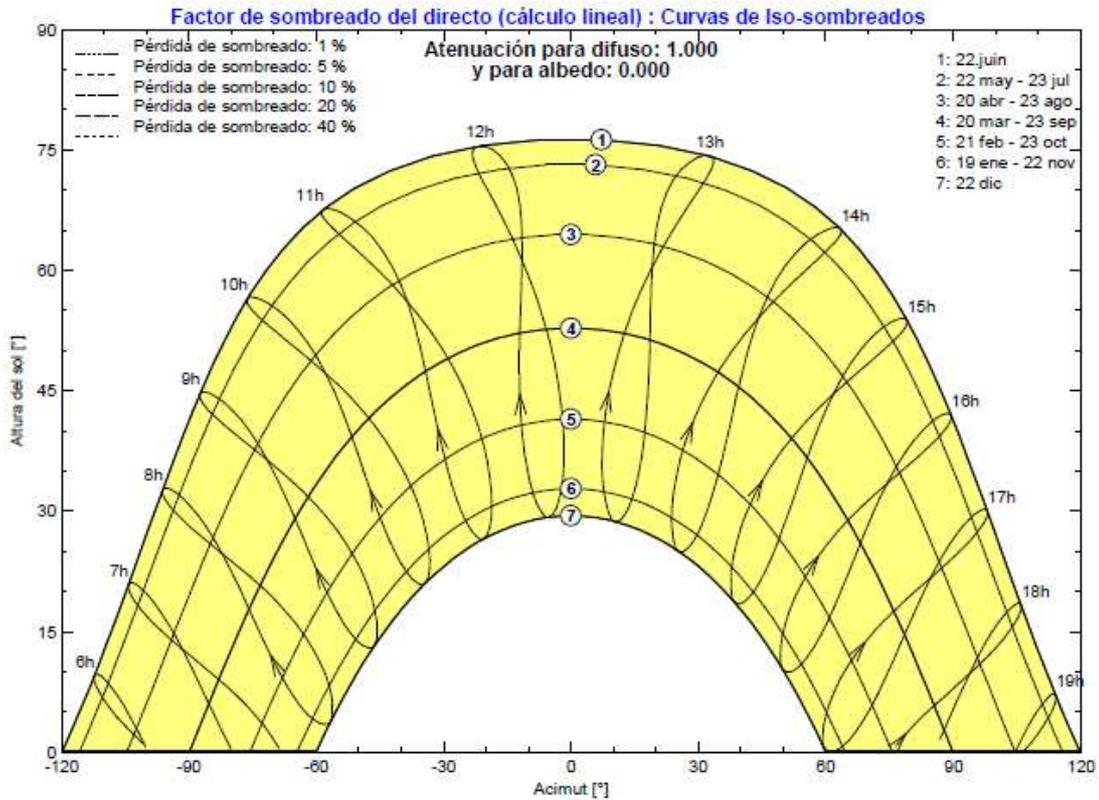


Figura 6. Diagrama pérdidas por sombreado con backtracking

Y el diagrama de pérdidas y flujo de energía que se obtiene para este caso es el siguiente:

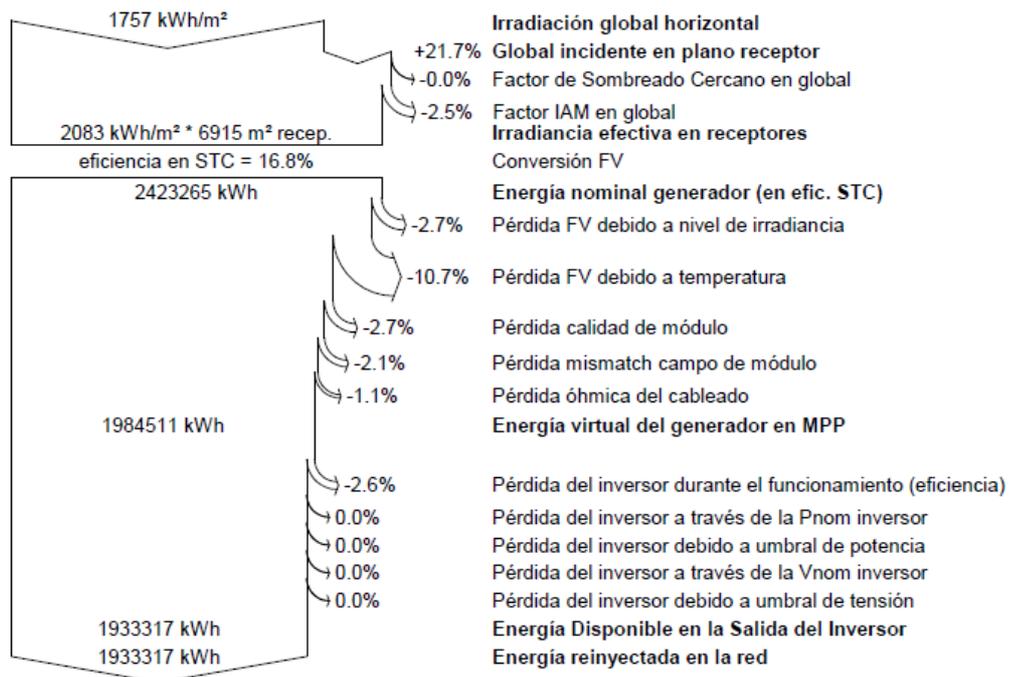


Figura 7. Flujo energético del inversor con backtracking.

Podemos comprobar cómo, efectivamente, el aprovechamiento de energía es mayor, incluso teniendo menor separación entre seguidores y ocupando una superficie total menor con backtracking.

### Separación entre seguidores

Para ajustar la separación entre los seguidores en la configuración de Backtracking, se realiza el siguiente estudio, en el que se enfrenta la separación de éstos con la energía global incidente, de forma que se obtienen los resultados de la siguiente tabla, de la que se realiza una gráfica para apreciar claramente la evolución.

Se escoge una separación de 5 metros entre seguidores, la cual parece adecuada, ya que, separando más los seguidores, la superficie ocupada comienza a ser importante, y menos, impide una buena maniobrabilidad a la hora de trabajar en la instalación y mantenimiento de los equipos.

En la tabla puede apreciarse que al aumentar la distancia de separación entre las mesas-seguidor:

- Aumenta la energía incidente en el panel, el sistema backtracking, aunque evite el sombreado, cuanto más cercanos estén los seguidores, menos maniobrabilidad tienen en su movimiento para un óptimo seguimiento del sol. Si bien, a partir de un momento dado el margen de aprovechamiento va disminuyendo a partir de cierta distancia.
- Pérdidas IAM Global, Disminuyen con la separación de las mesas
- Pérdidas FV debido a Irradiancia, Disminuyen con la separación de las mesas
- Pérdidas debido a la temperatura, la temperatura alcanzada por las células fotovoltaicas va aumentando conforme más energía incide en ellas. Estas pérdidas aumentan pues con la distancia de separación
- Energía disponible a la salida del inversor, en cómputo global, aumentan con la distancia que se separan los seguidores, al igual que la energía incidente, las pérdidas se compensan prácticamente, y la evolución es similar.

Separación (m)	Energía disponible a la salida de Inversor (kWh)	Energía Global Incidente en plano receptor (kWh/m <sup>2</sup> )	Factor IAM Global (%)	Pérdida FV debido a Irradiancia (%)	Pérdida FV debido a Temperatura (%)
3,2	1633238	1817	-3,8	-3,6	-9,5
3,3	1662362	1848	-3,6	-3,5	-9,6
3,4	1689223	1877,4	-3,5	-3,4	-9,7
3,5	1713281	1903,7	-3,4	-3,3	-9,9
3,6	1735046	1926,8	-3,3	-3,2	-10,0
3,7	1755392	1948,2	-3,2	-3,2	-10,0
3,8	1774459	1968,5	-3,1	-3,1	-10,1
3,9	1792833	1988,1	-3,1	-3,1	-10,2
4	1809803	2006,3	-3,0	-3,0	-10,3
4,2	1840336	2038,9	-2,9	-2,9	-10,4
4,4	1867188	2067,2	-2,8	-2,9	-10,5
4,6	1891136	2092,6	-2,7	-2,8	-10,5
4,8	1913315	2116,2	-2,6	-2,8	-10,6

<b>5</b>	<b>1933317</b>	<b>2137,5</b>	<b>-2,5</b>	<b>-2,7</b>	<b>-10,7</b>
5,2	1951242	2156,6	-2,5	-2,7	-10,7
5,4	1966890	2173,1	-2,4	-2,6	-10,7
5,6	1981180	2188,1	-2,4	-2,6	-10,8
5,8	1994594	2202,1	-2,4	-2,6	-10,8
6	2007205	2215,3	-2,3	-2,6	-10,8
6,5	2035592	2244,9	-2,2	-2,5	-10,9
7	2059291	2269,8	-2,2	-2,5	-10,9
7,5	2078178	2289,5	-2,1	-2,4	-11,0
8	2093411	2305,2	-2,1	-2,4	-11,0
8,5	2106607	2318,7	-2,0	-2,4	-11,0
9	2118134	2330,5	-2,0	-2,4	-11,0
10	2137510	2350,1	-2,0	-2,3	-11,0
11	2153672	2366,5	-1,9	-2,3	-11,0
12	2166369	2379,4	-1,9	-2,3	-11,0
17	2200042	2413,2	-1,8	-2,3	-11,0

Tabla 13. Estudio en función de la separación de los seguidores.

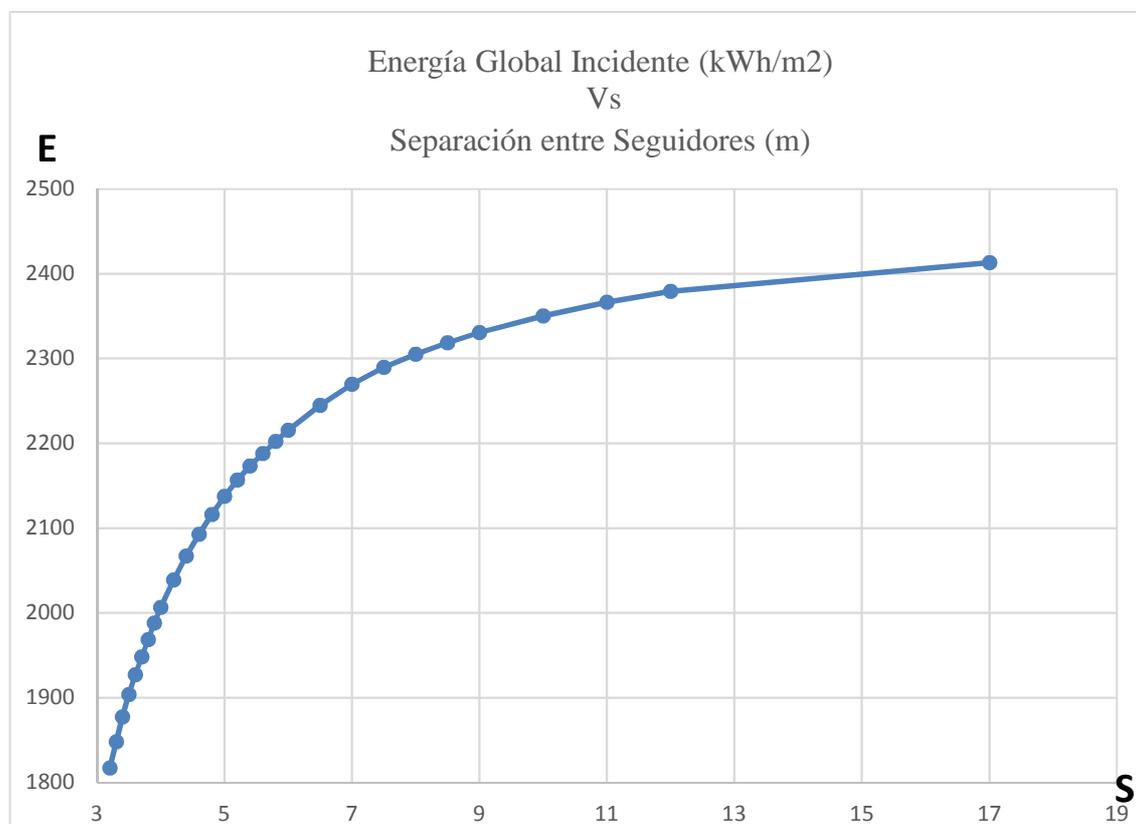


Figura 8. Gráfica Energía global incidente frente a Separación seguidores.

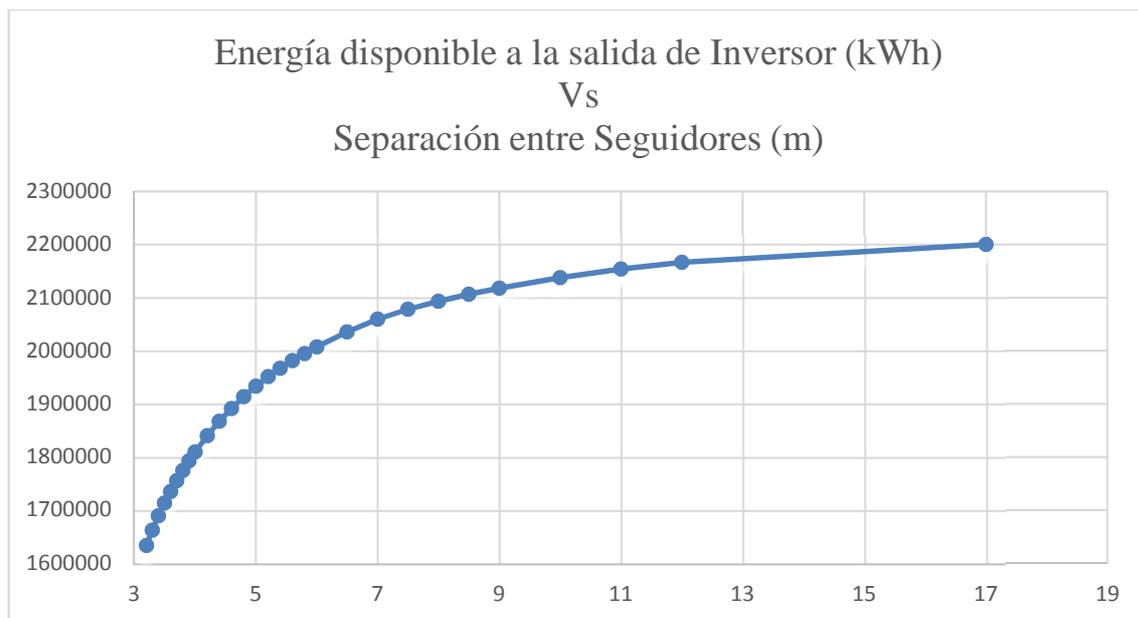


Figura 9. Gráfica Energía disponible a la salida del inversor frente a Separación seguidores.

## 2.2 CÁLCULOS ELÉCTRICOS

### 2.2.1 INTENSIDAD MÁXIMA CIRCULANDO POR RAMAL

El valor máximo de la intensidad circulando por un ramal de forma independiente, es aquel que se obtiene en situación de cortocircuito y para la máxima temperatura de funcionamiento. Este valor, resulta ser:

$$I_{cc} \left( 1000 \text{ W/m}^2, 76.25^\circ\text{C} \right) = 9,56 \text{ A}$$

### 2.2.2 CAÍDAS DE TENSIÓN Y PÉRDIDAS DE POTENCIA

#### 2.2.2.1 SISTEMA DE CORRIENTE CONTINUA

El sistema de Corriente Continua está dividido a su vez en varios tramos distintos que se describen a continuación. Entre las distintas instalaciones que forman el Parque Solar, estos tramos son iguales, salvo por la longitud de los mismos.

- TRAMO 1. RAMALES. Conjunto de ramales que convergen en su correspondiente caja de conexión. Cada estructura contiene dos ramales formados por 18 módulos cada uno, el cableado de cada uno de ellos estará unido por conectores en Y, teniendo así una salida para cada estructura. Existen cuatro tipos de tipologías para este tramo, en función del número de estructuras que se unen en una caja de conexión. (Tipo 1, Tipo 1.1, Tipo 2, Tipo 3).

El cableado utilizado para este tramo será Cobre del tipo **ZZ-F-0,6/1 kV** de 6 mm<sup>2</sup> de sección, tanto para el positivo como para el negativo, con aislamiento de polietileno reticulado (XLPE). Todas las salidas de cada una de las estructuras son de la misma tipología, sólo varía la longitud del cableado para cada caso y la distancia a la caja de conexiones correspondiente.

- TRAMO 2. UNIÓN DE ESTRUCTURAS. Este es el tramo que une las salidas de las cajas de conexión con la canalización subterránea. Instalación de conductores directamente enterrados. Dicha canalización desemboca en una zanja que portará los conductores recogidos (Tramo 3). Cableado también de cobre

del tipo **RV-K 0,6/1 kV** de sección adecuada para cada uno de los polos.

Se van a tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- Los valores que se han tomado para el punto de máxima potencia han sido a unas condiciones de 1.000 W/m<sup>2</sup> de irradiancia y a 76,25 °C de temperatura de célula.
- La resistividad del cable, y por lo tanto la conductividad, se corregirá para tener en cuenta el efecto de la temperatura, de forma que se tendrá:
- $\rho(T^{\circ}\text{C}) = \rho(20^{\circ}\text{C}) \cdot (1 + 0,00392 \cdot (T - 20)) \rightarrow k(T^{\circ}\text{C}) = 1/\rho(T^{\circ}\text{C})$
- A partir de la sección teórica elegida, se calculan las pérdidas de potencia en cada uno de los tramos, a partir de la siguiente expresión:

$$\Delta P_{CC}(W) = \frac{2 \cdot L_{CP} \cdot I_{PMP}^2}{k \cdot S_{CP}}$$

Para el tramo 1, para el tipo de montaje que se trata (conductores unipolares en canales horizontales) se muestran los valores característicos de intensidad según secciones y los coeficientes de reducción según la norma UNE-HD 60364-5-52. Para el caso más desfavorable:

AISLAMIENTO XLPE		REFERENCIA S/ UNE-HD 60364-5-52 TABLA B.52.3 Col.4		
DISPOSICIÓN CONDUCTORES UNIPOLARES EN CANALES HORIZONTALES				
SECCIÓN (mm <sup>2</sup> )	I MÁX. (A)	FACTOR DE TEMPERATURA	FACTOR DE AGRUPAMIENTO	I CORREGIDA (A)
6 mm <sup>2</sup>	54	1	0.5	47.8

Tabla 14. Sección de diseño para el tramo 1 en continua.

Con las siguientes condiciones:

T<sup>a</sup> ambiente: 30°C

Un máximo de 9 circuitos agrupados.

Aplicado a su vez la corrección del 125%, por tipo de instalación generadora.

Por su parte, en lo que respecta a los tramos subterráneos, tramo 2, que unen las cajas de conexión entre sí, y alcanzan los inversores, (3 zanjas, con cuatro circuitos en su interior cada una). Se exponen en la tabla los casos más desfavorables para cada sección de diseño:

AISLAMIENTO XLPE		REFERENCIA S/ UNE-HD 60364-5-52				TABLA B.52.3 Col.8
DISPOSICIÓN		CONDUCTORES UNIPOLARES DIRECTAMENTE ENTERRADOS				
SECCIÓN (mm <sup>2</sup> )	I MÁX. (A)	FACTOR DE TEMPERATURA	FACTOR RESISTIVIDAD DEL TERRENO	FACTOR DE AGRUPAMIENTO	I CORREGIDA (A)	
70	225	1	1	0,75	223,07	
95	241	1	1	0,75	254,93	
120	278	1	1	0,75	286,80	

Tabla 15. Sección de diseño para el tramo 2 en continua.

Con las siguientes condiciones:

Resistividad del terreno: 2,5 k·m/W

Temperatura del Terreno: 20°C

Profundidad: 0,7m

4 Circuitos en cada zanja (separación 0,25 m)

Aplicado a su vez la corrección del 125%, por tipo de instalación generadora.

CAJA DE CONEXIONES TIPO 1								
MAGNITUD	SALIDA MESA 1	SALIDA MESA 2	SALIDA MESA 3	SALIDA MESA 4	SALIDA MESA 5	SALIDA MESA 6	SALIDA MESA 7	SALIDA MESA 8
LONGITUD (m)	40	35	30	25	20	15	10	5
TIPO DE CONDUCTOR	COBRE							
TIPO DE AISLAMIENTO	XLPE							
TENSIÓN	667,8 V							
INTENSIDAD MÁX. (A)	19,12	19,12	19,12	19,12	19,12	19,12	19,12	19,12
SECCIÓN TEÓRICA (CRIT. INTENSIDADES)	6 mm <sup>2</sup>							
Tº FUNCIONAMIENTO	90°C							
COEF. DE VAR. POR TEMP. DE LA RESISTENCIA	0,00392							
RESISTIVIDAD CORREGIDA	0,023							
SECCIÓN TEÓRICA (CRIT. POTENCIA)	6 mm <sup>2</sup>							
RESISTENCIA DEL TRAMO (Ω)	0,173	0,153	0,134	0,115	0,096	0,077	0,058	0,038
CAÍDA MÁX. DE TENSIÓN	6,0513	5,3789	4,7066	4,0342	3,3618	2,6895	2,0171	1,3447

Tabla 16. Valores y características del cableado que confluye en caja de conexión tipo 1.

CAJA DE CONEXIONES TIPO 1.1								
MAGNITUD	SALIDA MESA 1	SALIDA MESA 2	SALIDA MESA 3	SALIDA MESA 4	SALIDA MESA 5	SALIDA MESA 6	SALIDA MESA 7	SALIDA MESA 8
LONGITUD (m)	25	20	15	10	5	5	10	15
TIPO DE CONDUCTOR	COBRE							
TIPO DE AISLAMIENTO	XLPE							
TENSIÓN	667,8 V							
INTENSIDAD MÁX. (A)	19,12	19,12	19,12	19,12	19,12	19,12	19,12	19,12
SECCIÓN TEÓRICA (CRIT. INTENSIDADES)	6 mm <sup>2</sup>							
Tª FUNCIONAMIENTO	90°C							
COEF. DE VAR. POR Tª DE LA RESISTENCIA	0,00392							
RESISTIVIDAD CORREGIDA	0,023							
SECCIÓN TEÓRICA (CRIT. POTENCIA)	6 mm <sup>2</sup>							
RESISTENCIA DEL TRAMO (Ω)	0,0958	0,0767	0,0575	0,0383	0,0192	0,0192	0,0383	0,0575
CAÍDA MÁX. DE TENSIÓN	3,3618	2,6895	2,0171	1,3447	0,6724	0,6724	1,3447	2,0171

Tabla 17. Valores y características del cableado que confluye en caja de conexión tipo 1.1.

CAJA DE CONEXIONES TIPO 2									
MAGNITUD	SALIDA MESA 1	SALIDA MESA 2	SALIDA MESA 3	SALIDA MESA 4	SALIDA MESA 5	SALIDA MESA 6	SALIDA MESA 7	SALIDA MESA 8	SALIDA MESA 9
LONGITUD (m)	45	40	35	30	25	20	15	10	5
TIPO DE CONDUCTOR	COBRE								
TIPO DE AISLAMIENTO	XLPE								
TENSIÓN	667,8 V								
INTENSIDAD MÁX. (A)	19,12	19,12	19,12	19,12	19,12	19,12	19,12	19,12	19,12
SECCIÓN TEÓRICA (CRIT. INTENSIDADES)	6 mm <sup>2</sup>								
Tª FUNCIONAMIENTO	90°C								
COEF. DE VAR. POR Tª DE LA RESISTENCIA	0,00392								
RESISTIVIDAD CORREGIDA	0,023								
SECCIÓN TEÓRICA (CRIT. POTENCIA)	6 mm <sup>2</sup>								
RESISTENCIA DEL TRAMO (Ω)	0,173	0,153	0,134	0,115	0,096	0,077	0,058	0,038	0,019
CAÍDA MÁX. DE TENSIÓN	6,0513	5,3789	4,7066	4,0342	3,3618	2,6895	2,0171	1,3447	0,6724

Tabla 18. Valores y características del cableado que confluye en caja de conexión tipo 2.

CAJA DE CONEXIONES TIPO 3							
MAGNITUD	SALIDA MESA 1	SALIDA MESA 2	SALIDA MESA 3	SALIDA MESA 4	SALIDA MESA 5	SALIDA MESA 6	SALIDA MESA 7
LONGITUD (m)	40	30	25	20	15	10	5
TIPO DE CONDUCTOR	COBRE						
TIPO DE AISLAMIENTO	XLPE						
TENSIÓN	667,8 V						
INTENSIDAD MÁX. (A)	19,12	19,12	19,12	19,12	19,12	19,12	19,12
SECCIÓN TEÓRICA (CRIT. INTENSIDADES)	6 mm <sup>2</sup>						
Tª FUNCIONAMIENTO	90°C						
COEF. DE VAR. POR TEMP. DE LA RESISTENCIA	0,00392						
RESISTIVIDAD CORREGIDA	0,023						
SECCIÓN TEÓRICA (CRIT. POTENCIA)	6 mm <sup>2</sup>						
RESISTENCIA DEL TRAMO (Ω)	0,134	0,115	0,096	0,077	0,058	0,038	0,0192
CAÍDA MÁX. DE TENSIÓN	4,7066	4,0342	3,3618	2,6895	2,0171	1,3447	0,6724

Tabla 19. Valores y características del cableado que confluye en caja de conexión tipo 3.

ZANJAS DE CAJA A INVERSOR; INSTALACIÓN TIPO A												
MAGNITUD	ZANJA 1				ZANJA 2				ZANJA 3			
CIRCUITO	C1	C2	C3	C4	C1	C2	C3	C4	C1	C2	C3	C4
LONGITUD (m)	175	135	95	55	150	110	70	30	140	100	60	20
TIPO DE CONDUCTOR	COBRE											
TIPO DE AISLAMIENTO	XLPE											
TENSIÓN (V)	667,8	667,8	667,8	667,8	667,8	667,8	667,8	667,8	667,8	667,8	667,8	667,8
INTENSIDAD MÁX. (A)	172,08	152,96	152,96	152,96	172,08	152,96	152,96	152,96	172,08	152,96	152,96	152,96
SECCIÓN TEÓRICA (CRIT. INTENSIDADES)	120 mm <sup>2</sup>	95 mm <sup>2</sup>	95 mm <sup>2</sup>	95 mm <sup>2</sup>	120 mm <sup>2</sup>	95 mm <sup>2</sup>	95 mm <sup>2</sup>	95 mm <sup>2</sup>	120 mm <sup>2</sup>	95 mm <sup>2</sup>	95 mm <sup>2</sup>	95 mm <sup>2</sup>
Tª FUNCIONAMIENTO	90°C											
COEF. DE VAR. POR Tª DE LA RESISTENCIA	0,00392											
RESISTIVIDAD CORREGIDA	0,023											
SECCIÓN TEÓRICA (CRIT. POTENCIA)	120 mm <sup>2</sup>	95 mm <sup>2</sup>	95 mm <sup>2</sup>	95 mm <sup>2</sup>	120 mm <sup>2</sup>	95 mm <sup>2</sup>	95 mm <sup>2</sup>	95 mm <sup>2</sup>	120 mm <sup>2</sup>	95 mm <sup>2</sup>	95 mm <sup>2</sup>	95 mm <sup>2</sup>
RESISTENCIA DEL TRAMO (Ω)	0,033	0,033	0,023	0,013	0,029	0,027	0,017	0,007	0,026	0,024	0,014	0,004
CAÍDA MÁX. DE TENSIÓN (V)	1,586	1,374	0,967	0,559	1,359	1,119	0,712	0,305	1,269	1,017	0,610	0,203

Tabla 20. Valores y características del cableado que contienen las zanjas de las instalaciones tipo A.

ZANJAS DE CAJA A INVERSOR; INSTALACIÓN TIPO B												
MAGNITUD	ZANJA 1				ZANJA 2				ZANJA 3			
CIRCUITO	C1	C2	C3	C4	C1	C2	C3	C4	C1	C2	C3	C4
LONGITUD (m)	150	110	70	30	140	100	60	20	165	125	85	65
TIPO DE CONDUCTOR	COBRE											
TIPO DE AISLAMIENTO	XLPE											
TENSIÓN (V)	667,8	667,8	667,8	667,8	667,8	667,8	667,8	667,8	667,8	667,8	667,8	667,8
INTENSIDAD MÁX. (A)	172,08	152,96	152,96	152,96	172,08	152,96	152,96	152,96	172,08	152,96	152,96	152,96
SECCIÓN TEÓRICA (CRIT. INTENSIDADES)	120 mm <sup>2</sup>	95 mm <sup>2</sup>	95 mm <sup>2</sup>	95 mm <sup>2</sup>	120 mm <sup>2</sup>	95 mm <sup>2</sup>	95 mm <sup>2</sup>	95 mm <sup>2</sup>	120 mm <sup>2</sup>	95 mm <sup>2</sup>	95 mm <sup>2</sup>	95 mm <sup>2</sup>
T <sup>a</sup> FUNCIONAMIENTO	90°C											
COEF. DE VAR. POR T <sup>a</sup> DE LA RESISTENCIA	0,00392											
RESISTIVIDAD CORREGIDA	0,023											
SECCIÓN TEÓRICA (CRIT. POTENCIA)	120 mm <sup>2</sup>	95 mm <sup>2</sup>	95 mm <sup>2</sup>	95 mm <sup>2</sup>	120 mm <sup>2</sup>	95 mm <sup>2</sup>	95 mm <sup>2</sup>	95 mm <sup>2</sup>	120 mm <sup>2</sup>	95 mm <sup>2</sup>	95 mm <sup>2</sup>	95 mm <sup>2</sup>
RESISTENCIA DEL TRAMO (Ω)	0,029	0,027	0,017	0,007	0,027	0,024	0,015	0,005	0,032	0,030	0,021	0,016
CAÍDA MÁX. DE TENSIÓN	9,077	7,474	4,756	2,038	8,472	6,794	4,077	1,359	9,985	8,493	5,775	4,416

Tabla 21. Valores y características del cableado que contienen las zanjas de las instalaciones tipo B.

ZANJAS DE CAJA A INVERSOR; INSTALACIÓN TIPO C												
MAGNITUD	ZANJA 1				ZANJA 2				ZANJA 3			
CIRCUITO	C1	C2	C3	C4	C1	C2	C3	C4	C1	C2	C3	C4
LONGITUD (m)	160	120	80	45	140	100	60	25	135	95	55	20
TIPO DE CONDUCTOR	COBRE											
TIPO DE AISLAMIENTO	XLPE											
TENSIÓN (V)	667,8	667,8	667,8	667,8	667,8	667,8	667,8	667,8	667,8	667,8	667,8	667,8
INTENSIDAD MÁX. (A)	172,08	172,08	152,96	152,96	172,08	172,08	152,96	152,96	152,96	152,96	152,96	133,84
SECCIÓN TEÓRICA (CRIT. INTENSIDADES)	120 mm <sup>2</sup>	120 mm <sup>2</sup>	95 mm <sup>2</sup>	95 mm <sup>2</sup>	120 mm <sup>2</sup>	120 mm <sup>2</sup>	95 mm <sup>2</sup>	70 mm <sup>2</sup>				
Tª FUNCIONAMIENTO	90°C											
COEF. DE VAR. POR TEMP. DE LA RESISTENCIA	0,00392											
RESISTIVIDAD CORREGIDA	0,023											
SECCIÓN TEÓRICA (CRIT. POTENCIA)	120 mm <sup>2</sup>	120 mm <sup>2</sup>	95 mm <sup>2</sup>	95 mm <sup>2</sup>	120 mm <sup>2</sup>	120 mm <sup>2</sup>	95 mm <sup>2</sup>	70 mm <sup>2</sup>				
RESISTENCIA DEL TRAMO ( $\Omega$ )	0,031	0,023	0,019	0,011	0,027	0,019	0,015	0,006	0,033	0,023	0,013	0,007
CAÍDA MÁX. DE TENSIÓN (V)	9,682	7,262	5,436	3,057	8,472	6,051	4,077	1,699	9,173	6,455	3,737	1,614

Tabla 22. Valores y características del cableado que contienen las zanjas de las instalaciones tipo C.

ZANJAS DE CAJA A INVERSOR; INSTALACIÓN TIPO D												
MAGNITUD	ZANJA 1				ZANJA 2				ZANJA 3			
CIRCUITO	C1	C2	C3	C4	C1	C2	C3	C4	C1	C2	C3	C4
LONGITUD (m)	135	95	55	20	130	90	50	15	155	115	75	40
TIPO DE CONDUCTOR	COBRE											
TIPO DE AISLAMIENTO	XLPE											
TENSIÓN (V)	667,8	667,8	667,8	667,8	667,8	667,8	667,8	667,8	667,8	667,8	667,8	667,8
INTENSIDAD MÁX. (A)	152,96	152,96	152,96	133,84	172,08	172,08	152,96	152,96	172,08	172,08	152,96	152,96
SECCIÓN TEÓRICA (CRIT. INTENSIDADES)	95 mm <sup>2</sup>	95 mm <sup>2</sup>	95 mm <sup>2</sup>	70 mm <sup>2</sup>	120 mm <sup>2</sup>	120 mm <sup>2</sup>	95 mm <sup>2</sup>	95 mm <sup>2</sup>	120 mm <sup>2</sup>	120 mm <sup>2</sup>	95 mm <sup>2</sup>	95 mm <sup>2</sup>
Tº FUNCIONAMIENTO	90°C											
COEF. DE VAR. POR Tº DE LA RESISTENCIA	0,00392											
RESISTIVIDAD CORREGIDA	0,023											
SECCIÓN TEÓRICA (CRIT. POTENCIA)	95 mm <sup>2</sup>	95 mm <sup>2</sup>	95 mm <sup>2</sup>	70 mm <sup>2</sup>	120 mm <sup>2</sup>	120 mm <sup>2</sup>	95 mm <sup>2</sup>	95 mm <sup>2</sup>	120 mm <sup>2</sup>	120 mm <sup>2</sup>	95 mm <sup>2</sup>	95 mm <sup>2</sup>
RESISTENCIA DEL TRAMO (Ω)	0,033	0,023	0,013	0,007	0,025	0,017	0,012	0,004	0,030	0,022	0,018	0,010
CAÍDA MÁX. DE TENSIÓN	9,172	6,455	3,737	1,614	7,858	5,446	3,397	1,019	9,380	6,959	5,096	2,718

Tabla 23. Valores y características del cableado que contienen las zanjas de las instalaciones tipo D.

### 2.2.2.2 SISTEMA DE MEDIA TENSIÓN

Entre el inversor y su entrada correspondiente en el Cuadro General de Corriente Alterna.

Se tienen tres anillos. Dos de ellos formados por 4 inversores interconectados y el centro de entrega, y uno por los otros dos inversores restantes de la instalación y el centro de entrega. Cada uno de los anillos transportando la potencia generada por sus inversores correspondientes al centro de entrega. Cableado: tres cables unipolares, trifásico, directamente enterrado, Cable Voltalene, sin armadura, aislamiento XLPE, RHZ1-12/20 kV

- ANILLO 1. Formado por los cuatro inversores situados más al Norte de la instalación. De tal modo que cada pareja de inversores situados más próximos entre sí, comparten celdas de entrada y salida junto a embarrado para exportar la potencia suministrada.
  - Tramo 1. Correspondiente al cableado que conecta directamente el la celda de salida situada más al Sur con el Centro de entrega.
  - Tramo 2. Correspondiente al cableado que conecta las celdas de salida de cada pareja de inversores.

- Tramo 3. Correspondiente al cableado que conecta directamente el la celda de salida situada más al Norte con el Centro de entrega.
  - Tramo 4. Que consta de cuatro cableados, a la salida del transformador de cada inversor con el embarrado.
- ANILLO 2. Formado por 4 inversores situados al Sur de los. De tal modo que cada pareja de inversores situados más próximos entre sí, comparten celdas de entrada y salida junto a embarrado para exportar la potencia suministrada.
- Tramo 1. Correspondiente al cableado que conecta directamente el la celda de salida situada más al Sur con el Centro de entrega.
  - Tramo 2. Correspondiente al cableado que conecta las celdas de salida de cada pareja de inversores.
  - Tramo 3. Correspondiente al cableado que conecta directamente el la celda de salida situada más al Norte con el Centro de entrega.
  - Tramo 4. Que consta de cuatro cableados, a la salida del transformador de cada inversor con el embarrado.
- ANILLO 3. Formado por los 2 inversores situados más Sur de la instalación. De modo que ambos comparten embarrado para la evacuación de la potencia generada.
- Tramo 1. Correspondiente al cableado que une cada celda de salida de cada inversor con el centro de entrega. Siendo dos circuitos de idénticas características.
  - Tramo 2. Correspondiente al cableado que interconecta la salida de cada inversor (transformador) con el embarrado compartido por ambos.

Los tramos que conectan el embarrado con el centro de entrega (tramos 1 y 2 del anillo 1, y tramo 1 del anillo 3) van juntos en el interior de una misma zanja.

- Tres circuitos de tres cables unipolares agrupados.
- Profundidad 0.9 m.
- Separación entre circuitos: 0.2m

Los tramos 1 y 3 del anillo 1 van juntos en otra zanja.

- Dos circuitos de tres cables unipolares agrupados.
- Profundidad 0.9 m.
- Separación entre circuitos: 0.2m

En la tabla siguiente se muestran los valores característicos de intensidad según secciones y los coeficientes de reducción según la norma UNE 211435.

AISLAMIENTO XLPE			REFERENCIA S/UNE 211435:2011 TABLA A.3.2				
DISPOSICIÓN TRES CONDUCTORES UNIPOLARES DIRECTAMENTE ENTERRADOS							
TRAMO/ANILLO	SECCIÓN (mm <sup>2</sup> )	I MÁX. (A)	FACTOR DE T <sup>a</sup>	FACTOR PROF.	FACTOR RESISTIVIDAD DEL TERRENO	FACTOR DE AGRUPAMIENTO.	I CORR. (A)
2/3	35	120	1,03	1	0,8	1	107,05
1/3	50	140	1,03	1	0,8	0,68**	157,42
4/2	120	235	1,03	1	0,8	1	214,09
4/1	120	235	1.03	1	0.8	1	214.09
1/1	185	295	1,03	1	0,8	0,82*	261,09
2/1	185	295	1,03	1	0,8	0,82*	261,09
3/1	185	295	1,03	1	0,8	0,82*	261,09
1/2	185	295	1,03	1	0,8	0,68**	314,84
2/2	185	295	1.03	1	0.8	0,68**	314,84
3/2	185	295	1.03	1	0.8	0,68**	314,84

Tabla 24. Sección de diseño para los diferentes tramos del sistema de media tensión.

Con las siguientes condiciones:

Resistividad del terreno: 2,5 k·m/W

Temperatura del Terreno: 20°C

Con factor de agrupamiento 1, un circuito de tres cables unipolares.

\*Dos circuitos de Tres Cables Unipolares, separados 0,2 m.

\*\*Cuatro circuitos de tres Cables Unipolares, separados 0,2 m.

Profundidad: 1 m.

Aplicado a su vez la corrección del 125%, por tipo de instalación generadora

Teniendo una red a la que se evacúa de una potencia de 132 kV, y  $S_{cc}=500\text{MVA}$ , con un transformador previo de 20/132 kV, 10MVA y  $\epsilon_{cc} = 10\%$ . Resulta una  $I_{cc, \text{máx}}=14,433 \text{ kA}$ . Y para un tiempo de disparo de 1 segundo resulta una sección mínima de 185 mm<sup>2</sup> (Gráfico I, Según Normas IEC 60949 y UNE 21192). Que será la escogida finalmente como sección de diseño para el cableado de media tensión.

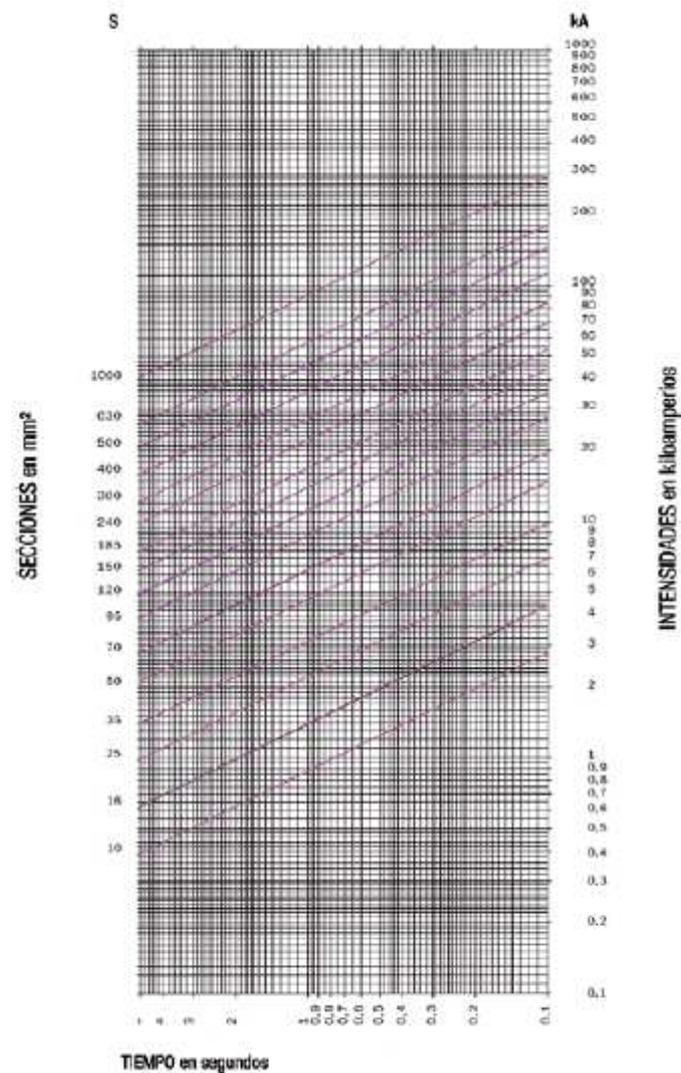


Figura 10. Intensidades térmicamente admisibles en cortocircuito para conductores de cobre.

El cálculo de estas pérdidas, se hará utilizando las siguientes fórmulas:

$$S_{CA}(mm^2) = \frac{\sqrt{3} \cdot L_{CA} \cdot I_n \cdot \cos \varphi}{K \cdot \Delta U}$$

Siendo:

- $L_{CA}$  : Longitud del circuito trifásico de corriente alterna.
- $I_n$  : Intensidad Nominal del tramo.
- $\cos \varphi$  : Factor de Potencia.
- $\Delta U$  : Caída de Tensión con respecto a la nominal (400 V)
- $k$  : Valor de la conductividad, ya corregido para la temperatura de funcionamiento.

Al igual que en el caso de los cálculos para el sistema de corriente continua, a partir de un porcentaje de caída de tensión deseada (buscando minimizarla), se obtiene un valor teórico para la sección mínima del cableado. A partir entonces de la sección más cercana por encima, y compatible con la intensidad a soportar, se obtienen

entonces las pérdidas de potencia, a partir de la siguiente fórmula:

$$\Delta P_{CA}(W) = \frac{\sqrt{3} \cdot L_{CA} \cdot I_n^2 \cdot \cos \varphi}{K \cdot S_{CA}}$$

Las Caídas de Tensión para todos los tramos considerados:

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot L \cdot I \cdot (R \cdot \cos \varphi + X \cdot \sin \varphi)$$

Siendo:

- $\Delta U$ : Caída de tensión
- $L$ : Longitud de l alínea en kilómetros
- $I$ : Intensidad de la línea en A
- $R$ : Resistencia de la línea en  $\Omega/\text{km}$
- $X$ : Reactancia de la línea en  $\Omega/\text{km}$

Se muestran en la tabla a continuación:

MAGNITUD	ANILLO 1				ANILLO 2				ANILLO 3	
	TRAMO 1	TRAMO 2	TRAMO 3	TRAMO 4	TRAMO 1	TRAMO 2	TRAMO 3	TRAMO 4	TRAMO 1	TRAMO 2
LONGITUD (m)	100	25	70	1.5	265	25	235	1.5	354	1.5
TIPO DE CONDUCTOR	Al				Al				Al	
TIPO DE AISLAMIENTO	XLPE				XLPE				XLPE	
TENSIÓN (kV)	20 kV				20 Kv				20 kV	
INTENSIDAD MÁX. (A)	261.09	261.09	261.09	214.09	314,84	314,84	314,84	214.08	157,42	107.05
SECCIÓN TEÓRICA (mm <sup>2</sup> ) (CRIT.INTENSIDADES)	185	185	185	120	185	185	185	120	70	35
Tª FUNCIONAMIENTO	90 °C				90 °C				90 °C	
COEF. DE VAR. POR Tª DE LA RESISTENCIA	0,00392				0,00392				0,00392	
RESISTIVIDAD CORREGIDA	0.03371				0.03371				0.03371	
SECCIÓN TEÓRICA (CRIT. POTENCIA)	185	185	185	185	185	185	185	185	185	185
RESISTENCIA DEL TRAMO ( $\Omega$ )	0,0182	0.0045	0.0127	0.0003	0.0483	0.0045	0.0428	0.0003	0.0623	0.0003
CAÍDA MÁX. DE TENSIÓN	5.708	1.427	3.996	0.086	15.126	1.427	13.144	0.085	9.846	0.043

Tabla 25. Valores y características del cableado que contienen los anillos de media tensión.

### 2.2.2.3 ALIMENTACIÓN AUXILIAR

Desde un transformador de servicios auxiliares situado en el centro de entrega de la planta, salen tres líneas de auxiliares para:

- Alimentación a los motores de las mesas seguidoras.
- Alimentación a luminaria exterior.
- Alimentación a cámaras de vigilancia.

Se describen a continuación cada una de ellas.

#### 1. ALIMENTACIÓN A LOS MOTORES

Los motores están alimentados con dos líneas trifásicas principales que recorren de norte a sur la planta. De modo que cada una de ellas alimentará a la mitad de los 495 motores, una para los motores situados en la zona este, y otra para los 495 motores situados en la zona oeste.

Cada línea de mesas perpendicular a la línea trifásica mencionada anteriormente, es alimentada por una de las fases de ésta. Quedando el sistema equilibrado ya que son quince las líneas necesarias, cinco para cada fase.

El cableado utilizado para este tramo será Cobre del tipo **RV-K 0,6/1 kV** de 16 mm<sup>2</sup> de sección, con aislamiento de polietileno reticulado (XLPE). Tres cables unipolares.

Por otro lado, para el tipo de montaje que se trata (Tres conductores unipolares directamente enterrados) se muestran los valores característicos de intensidad según secciones y los coeficientes de reducción según la norma UNE-HD 60364-5-52. Para el caso más desfavorable:

AISLAMIENTO XLPE		REFERENCIA S/ UNE-HD 60364-5-52				TABLA B.52.3 Col.8
DISPOSICIÓN		TRES CONDUCTORES UNIPOLARES DIRECTAMENTE ENTERRADOS				
SECCIÓN (mm <sup>2</sup> )	I MÁX. (A)	FACTOR DE TEMPERATURA	FACTOR RESISTIVIDAD DEL TERRENO	FACTOR DE AGRUPAMIENTO	I CORREGIDA (A)	
4	46	1	1	1	38.10	

Tabla 26. . Sección de diseño para la línea de alimentación de los motores.

Con las siguientes condiciones:

Resistividad del terreno: 2,5 k·m/W

Temperatura del Terreno: 20°C

Profundidad: 0,7m

4 Circuitos en cada zanja

La sección mínima a enterrar es 16 mm<sup>2</sup>, ésta será la sección de todo el cableado.

ALIMENTACIÓN MOTORES LÍNEA TRIFÁSICA OESTE								
MAGNITUD	TRAMO 1	TRAMO 2	TRAMO 3	TRAMO 4	TRAMO 5	TRAMO 6	TRAMO 7	TRAMO 8
LONGITUD (m)	12	26	26	30	26	26	30	26
TIPO DE CONDUCTOR	COBRE							
TIPO DE AISLAMIENTO	XLPE							
TENSIÓN	400 V							
INTENSIDAD MÁX. (A)	38,11	35,56	33,02	30,84	27,94	25,40	22,86	20,32
SECCIÓN TEÓRICA (CRIT. INTENSIDADES)	4 mm <sup>2</sup>	4 mm <sup>2</sup>	2,5 mm <sup>2</sup>	2,5 mm <sup>2</sup>	2,5 mm <sup>2</sup>	1,5 mm <sup>2</sup>	1,5 mm <sup>2</sup>	1,5 mm <sup>2</sup>
Tª FUNCIONAMIENTO	90°C							
COEF. DE VAR. POR Tª DE LA RESISTENCIA	0,00392							
RESISTIVIDAD CORREGIDA	0,023							
SECCIÓN TEÓRICA (MÍN. ENTERRAR)	16 mm <sup>2</sup>	16 mm <sup>2</sup>	16 mm <sup>2</sup>	16 mm <sup>2</sup>	16 mm <sup>2</sup>	16 mm <sup>2</sup>	16 mm <sup>2</sup>	16 mm <sup>2</sup>
RESISTENCIA DEL TRAMO (Ω)	0,017	0,037	0,037	0,043	0,037	0,037	0,043	0,037
CAÍDA MÁX. DE TENSIÓN (V)	0,969	1,960	1,820	1,939	1,540	1,400	1,454	1,120

Tabla 27. Valores y características del cableado que alimenta los motores. Línea Oeste.

ALIMENTACIÓN MOTORES LÍNEA TRIFÁSICA OESTE (CONT.)							
MAGNITUD	TRAMO 9	TRAMO 10	TRAMO 11	TRAMO 12	TRAMO 13	TRAMO 14	TRAMO 15
LONGITUD (m)	26	30	26	26	30	26	26
TIPO DE CONDUCTOR	COBRE						
TIPO DE AISLAMIENTO	XLPE						
TENSIÓN	400 V						
INTENSIDAD MÁX. (A)	17,78	15,24	12,70	10,16	7,62	5,08	2,54
SECCIÓN TEÓRICA (CRIT. INTENSIDADES)	1,5 mm <sup>2</sup>						
Tª FUNCIONAMIENTO	90°C						
COEF. DE VAR. POR Tª DE LA RESISTENCIA	0,00392						
RESISTIVIDAD CORREGIDA	0,023						
SECCIÓN TEÓRICA (MÍN. ENTERRAR)	16 mm <sup>2</sup>						
RESISTENCIA DEL TRAMO (Ω)	0,037	0,043	0,037	0,037	0,043	0,037	0,037
CAÍDA MÁX. DE TENSIÓN (V)	0,980	0,969	0,700	0,560	0,485	0,280	0,140

ALIMENTACIÓN MOTORES LÍNEA TRIFÁSICA ESTE								
MAGNITUD	TRAMO 1	TRAMO 2	TRAMO 3	TRAMO 4	TRAMO 5	TRAMO 6	TRAMO 7	TRAMO 8
LONGITUD (m)	12	26	26	30	26	26	30	26
TIPO DE CONDUCTOR	COBRE							
TIPO DE AISLAMIENTO	XLPE							
TENSIÓN	400 V							
INTENSIDAD MÁX. (A)	38,11	35,56	33,02	30,47	27,92	25,40	22,87	20,33
SECCIÓN TEÓRICA (CRIT. INTENSIDADES)	4 mm <sup>2</sup>	4 mm <sup>2</sup>	2,5 mm <sup>2</sup>	2,5 mm <sup>2</sup>	2,5 mm <sup>2</sup>	1,5 mm <sup>2</sup>	1,5 mm <sup>2</sup>	1,5 mm <sup>2</sup>
Tª FUNCIONAMIENTO	90°C							
COEF. DE VAR. POR Tª DE LA RESISTENCIA	0,00392	0,00392	0,00392	0,00392	0,00392	0,00392	0,00392	0,00392
RESISTIVIDAD CORREGIDA	0,023							
SECCIÓN TEÓRICA (MÍN. ENTERRAR)	16 mm <sup>2</sup>	16 mm <sup>2</sup>	16 mm <sup>2</sup>	16 mm <sup>2</sup>	16 mm <sup>2</sup>	16 mm <sup>2</sup>	16 mm <sup>2</sup>	16 mm <sup>2</sup>
RESISTENCIA DEL TRAMO (Ω)	0,017	0,037	0,037	0,043	0,037	0,037	0,043	0,037
CAÍDA MÁX. DE TENSIÓN (V)	0,969	1,960	1,820	1,938	1,539	1,400	1,454	1,120

Tabla 28. Valores y características del cableado que alimenta los motores. Línea Este.

ALIMENTACIÓN MOTORES LÍNEA TRIFÁSICA ESTE (CONT.)							
MAGNITUD	TRAMO 9	TRAMO 10	TRAMO 11	TRAMO 12	TRAMO 13	TRAMO 14	TRAMO 15
LONGITUD (m)	26	30	26	26	30	26	26
TIPO DE CONDUCTOR	COBRE						
TIPO DE AISLAMIENTO	XLPE						
TENSIÓN	400 V						
INTENSIDAD MÁX. (A)	17,78	15,21	12,69	10,17	7,65	5,10	2,62
SECCIÓN TEÓRICA (CRIT. INTENSIDADES)	1,5 mm <sup>2</sup>						
Tª FUNCIONAMIENTO	90°C						
COEF. DE VAR. POR Tª DE LA RESISTENCIA	0,00392						
RESISTIVIDAD CORREGIDA	0,023						
SECCIÓN TEÓRICA (MÍN. ENTERRAR)	16 mm <sup>2</sup>						
RESISTENCIA DEL TRAMO (Ω)	0,037	0,043	0,037	0,037	0,043	0,037	0,037
CAÍDA MÁX. DE TENSIÓN (V)	0,980	0,968	0,699	0,561	0,487	0,281	0,145

Tabla 29. Valores y características del cableado que alimenta los motores. Línea Este. Continuación.

Para las líneas que alimentan los motores de cada una de las mesas, se tiene, desde que se ramifica una de las fases del cableado trifásico anterior hasta el último motor entre 31, 33 y 34 tramos según el caso. Así pues para claridad de los resultados se exponen en la tabla un resumen de las magnitudes obtenidas. La tabla con los datos completos se puede consultar en el ANEXO.

ALIMENTACIÓN MOTORES		
MAGNITUD	ENTRE LOS TRAMOS 1 Y 31 SE TIENEN UNAS MAGNITUDES MÁXIMAS Y MÍNIMAS:	
LONGITUD (m)	TODOS LOS TRAMOS DE 5 m	
TIPO DE CONDUCTOR	COBRE	
TIPO DE AISLAMIENTO	XLPE	
TENSIÓN	400 V	
INTENSIDAD MÁX. (A)	Máx. para el Tramo 1: 3,76 A	Mín. para el Tramo 31: 0,16 A
SECCIÓN TEÓRICA (CRIT. INTENSIDADES)	1,5 mm <sup>2</sup>	
Tº FUNCIONAMIENTO	90°C	
COEF. DE VAR. POR TEMP. DE LA RESISTENCIA	0,00392	
RESISTIVIDAD CORREGIDA	0,023	
SECCIÓN TEÓRICA (MÍN. ENTERRAR)	16 mm <sup>2</sup>	
RESISTENCIA DEL TRAMO (Ω)	0,0072 Ω	
CAÍDA MÁX. DE TENSIÓN (V)	Máx. para el Tramo 1: 0,039 V	Mín. para el Tramo 31: 0,002 V

Tabla 30. Valores y características del cableado que alimenta los motores. Circuito con 31 seguidores.

ALIMENTACIÓN MOTORES		
MAGNITUD	ENTRE LOS TRAMOS 1 Y 33 SE TIENEN UNAS MAGNITUDES MÁXIMAS Y MÍNIMAS:	
LONGITUD (m)	TODOS LOS TRAMOS DE 5 m	
TIPO DE CONDUCTOR	COBRE	
TIPO DE AISLAMIENTO	XLPE	
TENSIÓN	400 V	
INTENSIDAD MÁX. (A)	Máx. para el Tramo 1: 4 A	Mín. para el Tramo 31: 0,16 A
SECCIÓN TEÓRICA (CRIT. INTENSIDADES)	1,5 mm <sup>2</sup>	
Tª FUNCIONAMIENTO	90°C	
COEF. DE VAR. POR Tª DE LA RESISTENCIA	0,00392	
RESISTIVIDAD CORREGIDA	0,023	
SECCIÓN TEÓRICA (MÍN. ENTERRAR)	16 mm <sup>2</sup>	
RESISTENCIA DEL TRAMO (Ω)	0,072 Ω	
CAÍDA MÁX. DE TENSIÓN (V)	Máx. para el Tramo 1: 0,043 V	Mín. para el Tramo 31: 0,002 V

Tabla 31. Valores y características del cableado que alimenta los motores. Circuito con 33 seguidores.

ALIMENTACIÓN MOTORES		
MAGNITUD	ENTRE LOS TRAMOS 1 Y 34 SE TIENEN UNAS MAGNITUDES MÁXIMAS Y MÍNIMAS:	
LONGITUD (m)	TODOS LOS TRAMOS DE 5 m	
TIPO DE CONDUCTOR	COBRE	
TIPO DE AISLAMIENTO	XLPE	
TENSIÓN	400 V	
INTENSIDAD MÁX. (A)	Máx. para el Tramo 1: 4,125 A	Mín. para el Tramo 31: 0,165 A
SECCIÓN TEÓRICA (CRIT. INTENSIDADES)	1,5 mm <sup>2</sup>	
Tª FUNCIONAMIENTO	90°C	
COEF. DE VAR. POR Tª DE LA RESISTENCIA	0,00392	
RESISTIVIDAD CORREGIDA	0,023	
SECCIÓN TEÓRICA (MÍN. ENTERRAR)	16 mm <sup>2</sup>	
RESISTENCIA DEL TRAMO (Ω)	0,072 Ω	
CAÍDA MÁX. DE TENSIÓN (V)	Máx. para el Tramo 1: 0,044 V	Mín. para el Tramo 31: 0,002 V

Tabla 32. Valores y características del cableado que alimenta los motores. Circuito con 34 seguidores.

## 2. ALIMENTACIÓN A LUMINARIA EXTERIOR

La luminaria exterior está compuesta por 8 lámparas LED dispuestas en el perímetro de la parcela. Esta luminaria se alimenta por medio de dos líneas monofásicas que parten desde el centro de entrega, una hacia el Este, y otra hacia el Oeste, cada una de ellas alimentando 4 puntos de luz.

El cableado utilizado para este tramo será Cobre del tipo **RV-K 0,6/1 kV** de 16 mm<sup>2</sup> de sección, con aislamiento de polietileno reticulado (XLPE). Cables unipolares, directamente enterrados.

AISLAMIENTO XLPE		REFERENCIA S/ UNE-HD 60364-5-52				TABLA B.52.3 Col.8
DISPOSICIÓN		CONDUCTORES UNIPOLARES DIRECTAMENTE ENTERRADOS				
SECCIÓN (mm <sup>2</sup> )	I MÁX. (A)	FACTOR DE TEMPERATURA	FACTOR RESISTIVIDAD DEL TERRENO	FACTOR DE AGRUPAMIENTO	I CORREGIDA (A)	
1,5	27	1	1	1	0,75	

Tabla 33. Sección de diseño para la línea de alimentación de la luminaria exterior.

Con las siguientes condiciones:

Resistividad del terreno: 2,5 k-m/W

Temperatura del Terreno: 20°C

Profundidad: 0,7m

4 Circuitos en cada zanja

La sección mínima a enterrar es 16 mm<sup>2</sup>, ésta será la sección de todo el cableado.

ALIMENTACIÓN LUMINARIA - LÍNEA ESTE				
MAGNITUD	TRAMO 1	TRAMO 2	TRAMO 3	TRAMO 4
LONGITUD (m)	20	175	205	205
TIPO DE CONDUCTOR	COBRE			
TIPO DE AISLAMIENTO	XLPE			
TENSIÓN	240 V			
INTENSIDAD MÁX. (A)	0,75	0,56	0,38	0,19
SECCIÓN TEÓRICA (CRIT. INTENSIDADES)	1,5 mm <sup>2</sup>	1,5 mm <sup>2</sup>	1,5 mm <sup>2</sup>	1,5 mm <sup>2</sup>
Tª FUNCIONAMIENTO	90°C			
COEF. DE VAR. POR Tª DE LA RESISTENCIA	0,00392			
RESISTIVIDAD CORREGIDA	0,023			
SECCIÓN TEÓRICA (MÍN. ENTERRAR)	16 mm <sup>2</sup>	16 mm <sup>2</sup>	16 mm <sup>2</sup>	16 mm <sup>2</sup>
RESISTENCIA DEL TRAMO (Ω)	0,029	0,252	0,295	0,295
CAÍDA MÁX. DE TENSIÓN (V)	0,0319	0,2097	0,1637	0,0819

Tabla 34. Valores y características del cableado que alimenta la luminaria. Línea Este

ALIMENTACIÓN LUMINARIA - LÍNEA OESTE				
MAGNITUD	TRAMO 1	TRAMO 2	TRAMO 3	TRAMO 4
LONGITUD (m)	175	205	205	175
TIPO DE CONDUCTOR	COBRE			
TIPO DE AISLAMIENTO	XLPE			
TENSIÓN	240 V			
INTENSIDAD MÁX. (A)	0,75	0,56	0,38	0,19
SECCIÓN TEÓRICA (CRIT. INTENSIDADES)	1,5 mm <sup>2</sup>	1,5 mm <sup>2</sup>	1,5 mm <sup>2</sup>	1,5 mm <sup>2</sup>
Tª FUNCIONAMIENTO	90°C			
COEF. DE VAR. POR Tª DE LA RESISTENCIA	0,00392			
RESISTIVIDAD CORREGIDA	0,023			
SECCIÓN TEÓRICA (MÍN. ENTERRAR)	16 mm <sup>2</sup>	16 mm <sup>2</sup>	16 mm <sup>2</sup>	16 mm <sup>2</sup>
RESISTENCIA DEL TRAMO (Ω)	0,252	0,295	0,295	0,252
CAÍDA MÁX. DE TENSIÓN (V)	0,2796	0,2456	0,1637	0,0699

Tabla 35. Valores y características del cableado que alimenta la luminaria. Línea Oeste.

### 3. ALIMENTACIÓN A CÁMARAS DE VIGILANCIA

El sistema de vigilancia está compuesta por 4 cámaras colocadas en las cuatro esquinas del perímetro de la parcela. Éste se alimenta por medio de dos líneas monofásicas que parten desde el centro de entrega, una hacia el Este, y otra hacia el Oeste, cada una de ellas alimentando 2 cámaras.

El cableado utilizado para este tramo será Cobre del tipo **RV-K 0,6/1 kV** de 16 mm<sup>2</sup> de sección, con aislamiento de polietileno reticulado (XLPE). Cables unipolares, directamente enterrados.

AISLAMIENTO XLPE		REFERENCIA S/ UNE-HD 60364-5-52		TABLA B.52.3 Col.8	
DISPOSICIÓN CONDUCTORES UNIPOLARES DIRECTAMENTE ENTERRADOS					
SECCIÓN (mm <sup>2</sup> )	I MÁX. (A)	FACTOR DE TEMPERATURA	FACTOR RESISTIVIDAD DEL TERRENO	FACTOR DE AGRUPAMIENTO	I CORREGIDA (A)
1,5	27	1	1	1	1,71

Tabla 36. Sección de diseño para la línea de alimentación de las cámaras de vigilancia.

<b>ALIMENTACIÓN SISTEMA DE VIGILANCIA - LÍNEA ESTE</b>		
<b>MAGNITUD</b>	<b>TRAMO 1</b>	<b>TRAMO 2</b>
LONGITUD (m)	175	680
TIPO DE CONDUCTOR	COBRE	COBRE
TIPO DE AISLAMIENTO	XLPE	XLPE
TENSIÓN	240 V	240 V
INTENSIDAD MÁX. (A)	0,75	0,56
SECCIÓN TEÓRICA (CRIT. INTENSIDADES)	1,5 mm <sup>2</sup>	1,5 mm <sup>2</sup>
Tº FUNCIONAMIENTO	90°C	90°C
COEF. DE VAR. POR TEMP. DE LA RESISTENCIA	0,00392	0,00392
RESISTIVIDAD CORREGIDA	0,023	0,023
SECCIÓN TEÓRICA (MÍN. ENTERRAR)	16 mm <sup>2</sup>	16 mm <sup>2</sup>
RESISTENCIA DEL TRAMO (Ω)	0,252	0,9775
CAÍDA MÁX. DE TENSIÓN (V)	0,2653	0,5155

Tabla 37. Valores y características del cableado que alimenta las cámaras de vigilancia. Línea Este

<b>ALIMENTACIÓN SISTEMA DE VIGILANCIA - LÍNEA OESTE</b>		
<b>MAGNITUD</b>	<b>TRAMO 1</b>	<b>TRAMO 2</b>
LONGITUD (m)	175	680
TIPO DE CONDUCTOR	COBRE	COBRE
TIPO DE AISLAMIENTO	XLPE	XLPE
TENSIÓN	240 V	240 V
INTENSIDAD MÁX. (A)	0,75	0,56
SECCIÓN TEÓRICA (CRIT. INTENSIDADES)	1,5 mm <sup>2</sup>	1,5 mm <sup>2</sup>
Tº FUNCIONAMIENTO	90°C	90°C
COEF. DE VAR. POR TEMP. DE LA RESISTENCIA	0,00392	0,00392
RESISTIVIDAD CORREGIDA	0,023	0,023
SECCIÓN TEÓRICA (MÍN. ENTERRAR)	16 mm <sup>2</sup>	16 mm <sup>2</sup>
RESISTENCIA DEL TRAMO (Ω)	0,252	0,9775
CAÍDA MÁX. DE TENSIÓN (V)	0,2653	0,5155

Tabla 38. Valores y características del cableado que alimenta las cámaras de vigilancia. Línea Oeste

**RESUMEN DE RESULTADOS OBTENIDOS**

En las siguientes tablas, se resumen el total de pérdidas para cada una de las instalaciones, tanto en el sistema de corriente continua como en el de corriente alterna:

**CORRIENTE CONTINUA:**

<b>INSTALACIÓN</b>	<b>TOTAL PÉRDIDAS DC (W)</b>	<b>TOTAL (%)</b>
TIPO A	16.878,15	1,46
TIPO B	16.352,29	1,41
TIPO C	17.354,96	1,50
TIPO D	17.091,32	1,47
<b>TOTAL PLANTA</b>	<b>169.799,72</b>	<b>1,46</b>

Tabla 39. Resumen pérdidas instalación de continua.

**MEDIA TENSIÓN:**

<b>INSTALACIÓN</b>	<b>TOTAL PÉRDIDAS DC (W)</b>	<b>TOTAL (%)</b>
ANILLO 1	2.188,48	0.049
ANILLO 2	5.781,51	0.131
ANILLO 3	947.25	0.043
<b>TOTAL</b>	<b>8.917,24</b>	<b>0.081</b>

Tabla 40. Resumen pérdidas instalación de media tensión.

Y para las instalaciones de alterna alimentadas por trafo de servicios auxiliares, motores, iluminación y vigilancia, se tiene una potencia suministrada de 48.700 W, y las pérdidas correspondientes:

<b>INSTALACIÓN</b>	<b>POTENCIA (W)</b>	<b>PÉRDIDAS (W)</b>	<b>%</b>
MOTORES	52274	1686,869097	3,226975356
ILUMINACIÓN	360	0,865195313	0,240332031
VIGILANCIA	820	5,78938151	0,706022135
<b>TOTAL</b>	<b>53454</b>	<b>1693,523674</b>	<b>3,168188862</b>

Tabla 41. Resumen pérdidas instalaciones auxiliares.

### 2.2.3 ELECCIÓN DE LAS PROTECCIONES

Para dimensionar las protecciones será necesaria averiguar la tensión y la intensidad a la que van a estar sometidos. En el caso de la intensidad, será la correspondiente a cada caso, sea ramal, grupo o conjunto de grupos. En el caso de la tensión, será la diferencia entre la tensión en circuito abierto y la tensión en el punto de máxima potencia, ambas medidas en sus casos más desfavorables.

La tensión de uno de los módulos en el punto más desfavorable, es decir a bajas temperaturas, será de

$$U_{CA}(-1.875^{\circ}\text{C}) = 49,985 \text{ V}$$

Para el caso de un ramal con 18 módulos en serie se tendrá una tensión total en circuito abierto de

$$U_{MAX,RAMAL} = 899,73 \text{ V}$$

La tensión de uno de los módulos en el punto más desfavorable, es decir a bajas temperaturas, será de

$$U_{PMP}(-1.875^{\circ}\text{C}) = 41,285 \text{ V}$$

Para el caso de un ramal con 18 módulos en serie se tendrá una tensión total en el punto de máxima potencia de

$$U_{MAX,RAMAL} = 743.13 \text{ V}$$

Al final resulta que la diferencia de tensiones antes mencionada será de:  $\Delta U = 156,6 \text{ V}$

Se escogerán entonces protecciones con una tensión nominal de 500 V.

### 2.2.4 PROTECCIONES DEL RAMAL

Puesto que como ya se ha visto en un apartado anterior, la máxima corriente circulando por un ramal va a ser de 9,56 A (situación de cortocircuito, a 76,25 °C). En cada mesa existirán dos ramales, a la salida y para economizar cableado, se unirán por medio de un conector en Y, y será este último segmento el que tenga una protección en la caja de conexiones mediante *Fusible* para corriente continua, con un calibre de 20 A y una tensión de funcionamiento de hasta 500VDC.

### 2.2.5 PROTECCIONES GENERALES DEL SISTEMA DE CORRIENTE CONTINUA

La protección y maniobra se hará desde el propio cuadro de protección de corriente continua del equipo inversor en cada instalación. Éste lleva incorporado sistemas de protección tanto para cortocircuito como para sobretensión.

### 2.2.6 PROTECCIONES GENERALES DEL SISTEMA DE CORRIENTE ALTERNA

A la salida de cada Inversor se tendrá un sistema modular y compacto con aislamiento integral en gas, que contiene tres celdas, una para la evacuación de la potencia obtenida del generador fotovoltaico y dos de línea, (salida y entrada), para la formación de los anillos que transportarán la potencia al centro de entrega. Estas celdas estarán protegidas por interruptor automático e interruptor-seccionador, respectivamente.

La máxima intensidad que circulará por estos circuitos será de 141,13 A, y a una tensión de 20 kV.

### 2.3 PUESTA A TIERRA DE LA INSTALACIÓN

El cálculo de la puesta a tierra se realizará de acuerdo con la ITC-BT-18 del REBT y la ITC-RAT-13.

Como se ha comentado en la memoria descriptiva, dispondrá de un sistema de puesta a tierra compuesto por las puestas a tierras de cada una de las partes de la instalación y unidas entre sí eléctricamente.

- Tierra de protección corriente continua: donde se conectarán las masas del sistema de corriente continua.
- Tierra de protección corriente alterna: donde se conectarán las masas del sistema de corriente alterna.

En ausencia de datos fiables sobre el valor de la resistividad del terreno en cuestión, nos remitimos a los valores orientativos que ofrece el REBT en su tabla 3 de la ITC-BT-18, considerando una resistividad de cálculo de 275  $\Omega\text{m}$  para un terreno de arena arcillosa.

En la puesta en marcha de la instalación se deberá comprobar que la resistencia a tierra es inferior a la calculada en este proyecto.

#### Resistencia máxima de la puesta a tierra

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

Este valor de resistencia de tierra será tal que cualquier masa no pueda dar lugar a tensiones de contacto superiores a:

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

La protección diferencial que protege la instalación es para este proyecto de 300 mA, y se considerará esta instalación como local o emplazamiento conductor, por lo que la resistencia máxima de puesta a tierra será:

$$R = \frac{V}{I} = \frac{24}{0.3} = 80 \Omega$$

#### Puesta a tierra de protección de corriente continua

En cada caja de conexión se instalará un descargador tipo I con pica de puesta a tierra. Los propios inversores tienen descargadores Tipo I y II incluidos en ellos en el lado de baja tensión para su protección.

Cada generador fotovoltaico tendrá su puesta a tierra de protección de corriente continua que rodeará cada conjunto de paneles.

Se definen individualmente cuatro instalaciones tipo de puesta a tierra para cada tipo de grupo generador fotovoltaico definido, que evacúa su energía producida a su inversor correspondiente. Todas ellas unidas eléctricamente formando un único sistema de puesta a tierra.

La configuración de la tierra de protección de cada instalación generadora tiene las siguientes propiedades:

Geometría del sistema	Anillo rectangular
Distancia de la red	28 m x 157 m
Profundidad del electrodo horizontal	0.5 m
Número de picas	4
Longitud de las picas	2 m

Tabla 42. Configuración de la tierra de protección para la instalación tipo A.

Geometría del sistema	Anillo rectangular
Distancia de la red	28 m x 157 m
Profundidad del electrodo horizontal	0.5 m
Número de picas	4
Longitud de las picas	2 m

Tabla 43. Configuración de la tierra de protección para la instalación tipo B.

Geometría del sistema	Anillo rectangular
Distancia de la red	28 m x 162 m
Profundidad del electrodo horizontal	0.5 m
Número de picas	4
Longitud de las picas	2 m

Tabla 44. Configuración de la tierra de protección para la instalación tipo C.

Geometría del sistema	Anillo rectangular
Distancia de la red	28 m x 162 m
Profundidad del electrodo horizontal	0.5 m
Número de picas	4
Longitud de las picas	2 m

Tabla 45. Configuración de la tierra de protección para la instalación tipo D.

Las picas se unirán entre si con conductor desnudo de cobre 25 mm<sup>2</sup>.

- Resistencia de cada pica

$$R_P = \frac{\rho}{L} = \frac{275}{2} = 137.5 \Omega$$

- Resistencia del conjunto de 4 picas

$$R_{4P} = \frac{1}{4 \cdot \left(\frac{1}{R_P}\right)} = \frac{R_P}{4} = \frac{137.5}{4} = 34.38 \Omega$$

- Resistencia del conductor desnudo

$$R_C = \frac{2 \cdot \rho}{L} = \frac{2 \cdot 275}{380} = 1.49 \Omega$$

L=380m en el caso más desfavorable.

- Resistencia del conjunto de 4 picas más conductor desnudo

$$R_{Total} = \frac{1}{\frac{1}{R_{4P}} + \frac{1}{R_C}} = \frac{1}{\frac{1}{34.38} + \frac{1}{1.49}} = 1.42 \Omega$$

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

#### Puesta a tierra de protección del sistema de media tensión.

Se protegen las partes metálicas de la parte de corriente alterna de cada instalación. Atendiendo a la ITC-RAT-13 del Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en instalaciones eléctricas de alta tensión se verificará que la tensión de paso y la tensión de contacto no superen los máximos admisibles para un tiempo de disparo dado y una corriente de falta fase-tierra determinada para la instalación.

Según procedimiento a seguir la ITC previamente mencionada:

1. Investigación de las características del suelo.

Tal y como se comentó en el apartado anterior se, en ausencia de datos fiables sobre el valor de la resistividad del terreno en cuestión, se considera una resistividad de cálculo de 275  $\Omega$ m para un terreno de arena arcillosa.

2. Determinación de las corrientes máximas de puesta a tierra y del tiempo máximo correspondiente de eliminación del defecto.

Para esta instalación se define una corriente de falta Fase-Tierra de 8000 A, y un tiempo máximo de disparo de 1 segundo.

3. Diseño preliminar de la instalación de tierra.

Geometría del sistema	Picas alineadas
Número de picas	2
Longitud entre picas	345 m
Profundidad de las picas	0.8 m
Longitud de las picas	2 m

Tabla 46. Configuración de la tierra de protección para la instalación de media tensión.

Los conductores empleados en las líneas de puesta a tierra tendrán una resistencia mecánica adecuada y ofrecerán una elevada resistencia a la corrosión.

Su sección será tal, que la máxima corriente que circule por ellos en caso de defecto o de descarga atmosférica no lleve a estos conductores a una temperatura cercana a la de fusión, ni ponga en peligro sus empalmes y conexiones.

A efectos de dimensionado de las secciones, el tiempo mínimo a considerar para duración del defecto a la frecuencia de la red será de un segundo, y no podrán superarse las siguientes densidades de corriente:

- a) Cobre: 160 A/mm<sup>2</sup>
- b) Aluminio: 100 A/mm<sup>2</sup>
- c) Acero: 60 A/mm<sup>2</sup>

Las picas se unirán entre si con conductor desnudo de cobre 50mm<sup>2</sup>. (Corriente de falta Fase-Tierra de 8000 A)

#### 4. Cálculo de la resistencia del sistema de tierra.

- Resistencia de cada pica

$$R_p = \frac{\rho}{L} = \frac{275}{2} = 137.5 \Omega$$

- Resistencia del conjunto de 2 picas

$$R_{2p} = \frac{1}{2 \cdot \left(\frac{1}{R_p}\right)} = \frac{R_p}{2} = \frac{137.5}{2} = 68.75 \Omega$$

- Resistencia del conductor desnudo

$$R_c = \frac{2 \cdot \rho}{L} = \frac{2 \cdot 275}{345} = 1.59 \Omega$$

- Resistencia del conjunto de 2 picas más conductor desnudo

$$R_{Total} = \frac{1}{\frac{1}{R_{2p}} + \frac{1}{R_c}} = \frac{1}{\frac{1}{68.75} + \frac{1}{1.59}} = 1.55 \Omega$$

### 5. Cálculo de las tensiones de paso y contacto en la instalación.

Los valores admisibles de la tensión de contacto aplicada,  $U_{ca}$ , a la que puede estar sometido el cuerpo humano entre la mano y los pies, en función de la duración de la corriente de falta, se dan en la siguiente figura:

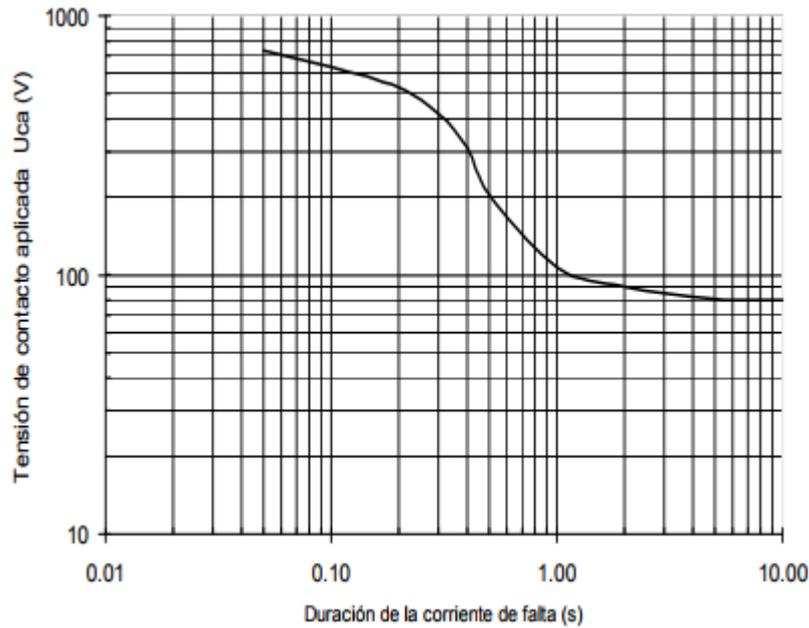


Figura 11. Valores admisibles de la U de contacto aplicada  $U_{ca}$  en función de la duración de la I de falta.

En la siguiente tabla se muestran alguno de los puntos de la curva anterior:

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

Tabla 47. Valores admisibles de la U de contacto aplicada  $U_{ca}$  en función de la duración de la I de falta  $t_f$

Los valores admisibles de la tensión de paso aplicada entre los dos pies de una persona, considerando únicamente la propia impedancia del cuerpo humano sin resistencias adicionales como las de contacto con el terreno o las del calzado se define como diez veces el valor admisible de la tensión de contacto aplicada, ( $U_{pa} = 10 U_{ca}$ ).

Así pues, para un tiempo máximo de disparo de 1 segundo,  $U_{ca}=107$  V, y  $U_{pa}=1070$  V.

6. Comprobar que las tensiones de paso y contacto calculadas en los párrafos 5 y 6 son inferiores a los valores máximos definidos por las ecuaciones (1) y (2).

A efectos de los cálculos para el proyecto, para determinar las máximas tensiones de contacto y paso admisibles se podrán emplear las expresiones siguientes:

$$U_C = U_{CA} \left[ 1 + \frac{R_{a1} + R_{a2}}{2 Z_B} \right] = U_{CA} \left[ 1 + \frac{\frac{R_{a1}}{2} + 1.5\rho_s}{1000} \right] \quad (1)$$

$$U_P = U_{PA} \left[ 1 + \frac{2R_{a1} + 2R_{a2}}{Z_B} \right] = 10U_{CA} \left[ 1 + \frac{2R_{a1} + 6\rho_s}{1000} \right] \quad (2)$$

Donde:

$U_{CA}$ : Tensión de contacto aplicada admisible, la tensión a la que puede estar sometido el cuerpo humano entre una mano y los pies.

$U_{PA}$ : Tensión de paso aplicada admisible, la tensión a la que puede estar sometido el cuerpo humano entre los dos pies. ( $U_{PA}=10 U_{CA}$ ).

$Z_B$ : Impedancia del cuerpo humano. Se considerará un valor de 1000  $\Omega$ .

$I_B$ : Corriente que fluye a través del cuerpo;

$U_C$ : Tensión de contacto máxima admisible en la instalación que garantiza la seguridad de las personas, considerando resistencias adicionales (por ejemplo, resistencia a tierra del punto de contacto, calzado, presencia de superficies de material aislante).

$U_P$ : Tensión de paso máxima admisible en la instalación que garantiza la seguridad de las personas, considerando resistencias adicionales (por ejemplo, resistencia a tierra del punto de contacto, calzado, presencia de superficies de material aislante).

$R_a$ : Resistencia adicional total suma de las resistencias adicionales individuales.

$R_{a1}$ : Es, por ejemplo, la resistencia equivalente del calzado de un pie cuya suela sea aislante. Se puede emplear como valor 2000  $\Omega$ . Se considerará nula esta resistencia cuando las personas puedan estar descalzas, en instalaciones situadas en lugares tales como jardines, piscinas, campings, y áreas recreativas.

$R_{a2}$ : Resistencia a tierra del punto de contacto con el terreno de un pie.  $R_{a2}=3\rho_s$ , donde  $\rho_s$  es la resistividad del suelo cerca de la superficie.

Con el siguiente planteamiento:

- $U_{CA}$  es el valor admisible de la tensión de contacto aplicada que es función de la duración de la corriente de falta. (figura y tabla anteriores).
- Se supone que la resistencia del cuerpo humano es de 1000  $\Omega$ .
- Se asimila cada pie a un electrodo en forma de placa de 200 cm<sup>2</sup> de superficie, ejerciendo sobre el suelo una fuerza mínima de 250 N, lo que representa una resistencia de contacto con el suelo para cada electrodo de 3  $\rho_s$ , evaluada en función de la resistividad superficial aparente,  $\rho_s$ , del terreno.
- Según cada caso,  $R_{a1}$  es la resistencia del calzado, la resistencia de superficies de material aislante, etc. Para la resistencia del calzado se puede utilizar  $R_{a1} = 2000\Omega$ .

Para calcular la resistividad superficial aparente del terreno en los casos en que el terreno se recubra de una capa adicional de elevada resistividad (grava, hormigón, etc.) se multiplicará el valor de la resistividad de la capa de terreno adicional, por un coeficiente reductor. No aplica en este caso, el terreno en cuestión será el propio suelo original compactado.

El proyectista de la instalación de tierra deberá comprobar mediante el empleo de un procedimiento de cálculo sancionado por la práctica que los valores de las tensiones de contacto  $U'_c$ , y de paso,  $U'_p$ , que calcule para la instalación proyectada en función de la geometría de la misma, de la corriente de puesta a tierra que considere y de la resistividad correspondiente al terreno, no superen en las condiciones más desfavorables las calculadas por las fórmulas anteriores en ninguna zona del terreno afectada por la instalación de tierra.

$$U'_c = 254.12V > U_{ca} = 107V$$

$$U'_p = 6955V > U_{pa} = 1070V$$

7. Investigación de las tensiones transferibles al exterior por tuberías, raíles, vallas, conductores de neutro, pantallas o armaduras de cables, circuitos de señalización y de los puntos especialmente peligrosos, y estudio de las formas de eliminación o reducción. No aplica.

## 2.4 COMPROBACIÓN DE LA RESISTENCIA AL VUELCO DE LOS APOYOS DE LOS SEGUIDORES

Se Comprueba a continuación la Resistencia al vuelco de los apoyos de hormigón sobre los que se apoyan las estructuras de las mesas-seguidor.

Cada estructura estará formada por cinco pórticos, sobre bloques de hormigón, de 30x30x400 cm los tres centrales, y de 30x30x300 cm los dos situados en las puntas, separados equidistantes.

Así, para el caso más desfavorable:

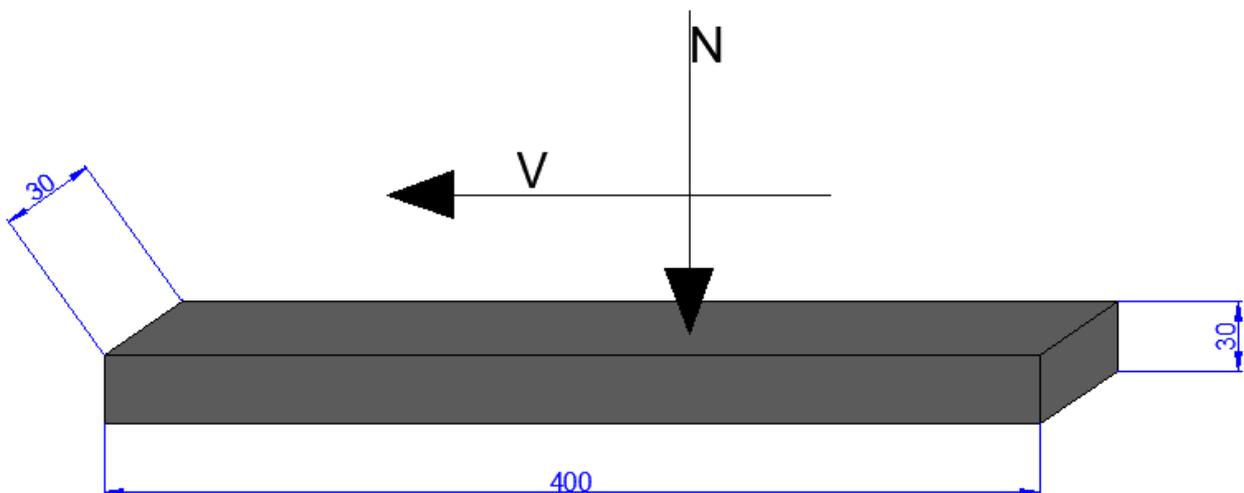


Figura 12. Esfuerzos Aplicados sobre apoyo de la mesa seguidor.

Para comprobar la condición al vuelco, se debe cumplir:

$$(N + P) \cdot \frac{b}{2} \geq (M + V \cdot h) \cdot \gamma_s$$

Siendo:

- N, M, V : Esfuerzos sobre el la losa de hormigón
- P: Peso propio

- b: Ancho=4m
- h: Altura=0.3m
- $\gamma_s$ : Coeficiente de Seguridad, 1.5

Cálculos:

- N, peso soportado. (Al impedir el vuelco, se desprecia el peso de la estructura sobre la que se colocan los paneles.

Peso panel 25.8kg

Nº paneles en estructura: 36

Peso paneles: 928.8 kg

- P, peso propio

Densidad hormigón: 2300 kg/m<sup>3</sup>

Volumen: 4x0.3x0.3 m<sup>3</sup>=0.36m<sup>3</sup>

P=828kg

- V, esfuerzo horizontal del viento sobre el panel en posición completamente vertical

$q_v=0.537\text{kN/m}^2$ ;

Valor obtenido del código técnico de la edificación (Seguridad Estructural Acciones en la edificación)

$$q_v = q_e = q_b \cdot c_e \cdot c_p$$

Siendo:

- o  $q_b$ : presión dinámica, 0.42 kN/m<sup>2</sup>. (Valor obtenido del mapa de vientos del código de la edificación, Zona A)
- o  $c_e$ : coeficiente de exposición. Calculado como  $c_e = F(F+7K) = 1.42$

con:

$$F = K \ln(z/L) = 0.7011$$

$$L = 0.05; z = 2$$

- o  $c_p$ : coeficiente de presión, 0.9.

Sobre una superficie total de  $A = 24 \times 3 \text{m}^2 = 72 \text{m}^2$

$V = 38.65 \text{ kN}$

- Con lo que, finalmente, se tiene:

$$(N + P) \cdot \frac{b}{2} = (9280 + 8280) \cdot \frac{4}{2} = 35.12 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$(M + V \cdot h) \cdot \gamma_s = (0.537 \cdot 72 \cdot 0.3 \cdot 1.5) = 17.39 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Se cumple la condición.

$$(N + P) \cdot \frac{b}{2} \geq (M + V \cdot h) \cdot \gamma_s$$

## **3 PRESUPUESTO**

---

<b>Código</b>	<b>Nat</b>	<b>Ud</b>	<b>Resumen</b>	<b>CanPres</b>	<b>PrPres</b>	<b>ImpPres</b>
<b>01</b>	<b>Capítulo</b>		<b>OBRA CIVIL</b>	<b>1</b>	<b>796.582,33</b>	<b>796.582,33</b>
<b>01.01</b>	<b>Capítulo</b>	<b>ud</b>	<b>ACONDICIONAMIENTO DEL TERRENO</b>	<b>1,00</b>	<b>552.825,00</b>	<b>552.825,00</b>
01.01.01	Partida	m2	ACONDICIONAMIENTO DEL TERRENO  Desbroce y limpieza superficial del terreno (5 cm de espesor) por medios mecánicos, sin carga ni transporte al vertedero y con p.p. de medios auxiliares. Medida la superficie teórica ejecutada.	146.250,00	3,78	552.825,00
			<b>01.01</b>	<b>1,00</b>	<b>552.825,00</b>	<b>552.825,00</b>
<b>01.02</b>	<b>Capítulo</b>	<b>ud</b>	<b>CIMENTACIONES</b>	<b>1,00</b>	<b>100.670,31</b>	<b>100.670,31</b>
01.02.01	Partida	m3	HORM. HA-25/P/20/I V. MANUAL  Hormigón armado HA-25/P/20/I, elaborado en central en relleno de zapatas y zanjas de cimentación, incluso encamillado de pilares, vertido por medios manuales o directamente desde camión, vibrado y colocación. Según normas NTE-CSZ y EHE. Medido el volumen teórico ejecutado.	1.603,80	60,26	96.644,99
01.02.02	Partida	m2	SOLERA HORMIG.HM-20/P/20 e=10cm  Solera de hormigón en masa de 10 cm. de espesor en capa de limpieza, realizada con hormigón HM-20 N/mm2., Tmáx.20 mm., elaborado en obra, i/vertido, colocación, p.p. de juntas, aserrado de las mismas y fratasado. Según NTE-RSS y EHE. Medida la superficie teórica ejecutada.	104,31	38,59	4.025,32
			<b>01.02</b>	<b>1,00</b>	<b>100.670,31</b>	<b>100.670,31</b>
<b>01.03</b>	<b>Capítulo</b>	<b>ud</b>	<b>EDIFICIO CENTRO DE ENTREGA</b>	<b>1,00</b>	<b>62.586,00</b>	<b>62.586,00</b>
01.03.01	Partida	m	Edificio Centro de Entrega  Edificio de centro de entrega para la monitorización y control de la planta. Dimensiones 18.3m X 5.7m	600,00	104,31	62.586,00
			<b>01.03</b>	<b>1,00</b>	<b>62.586,00</b>	<b>62.586,00</b>
<b>01.04</b>	<b>Capítulo</b>	<b>ud</b>	<b>CAMINOS Y VÍAS DE ACCESO</b>	<b>1,00</b>	<b>80.501,02</b>	<b>80.501,02</b>
01.04.01	Partida	m2	Camino sin pavimentar	9.933,48	3,39	33.674,50
01.04.02	Partida	m2	Pavimento asfaltado	9.005,10	5,20	46.826,52
			<b>01.04</b>	<b>1,00</b>	<b>80.501,02</b>	<b>80.501,02</b>
			<b>01</b>	<b>1</b>	<b>796.582,33</b>	<b>796.582,33</b>
<b>02</b>	<b>Capítulo</b>		<b>GENERADOR FOTOVOLTAICO</b>	<b>1</b>	<b>6.029.676,70</b>	<b>6.029.676,70</b>
<b>02.01</b>	<b>Capítulo</b>		<b>GENERADOR FOTOVOLTAICO</b>	<b>1,00</b>	<b>5.164.222,20</b>	<b>5.164.222,20</b>
02.01.01	Partida	Ud	MÓDULOS FOTOVOLTAICOS  Suministro de módulo solar fotovoltaico de silicio cristalino de 325 W pico y rango de potencia +/- 5%. Potencia total instalada: 11.583.000 Wp. Precio del módulo en emplazamiento y ya instalado, incluyendo alquiler y montaje de andamiaje para facilitar la instalación de módulos a más altura.	35.640,00	140,08	4.992.451,20

02.01.02	Partida	Ud	CABLEADO DE CONEXIÓN ENTRE MÓDULOS Conectores y Latiguillos Tegplug, Prysmian . Especificación: Conector unipolar IP 68 . Cuerpo: Poliamida (PA66) . Sellado: NBR (goma de nitrilo butadieno) . Contacto macho perforado de cobre estañado . Contacto hembra perforado de cobre estañado . Marcado: PS4011 Intensidad admisible / sección nominal + (Female [hembra]) o (Male [macho]) . Sección nominal: Desde 1,5 mm2 hasta 10 mm2	32.670,00	3,30	107.811,00
02.01.03	Partida	Ud	CAJA DE BORNAS Caja de conexión inteligente con fusibles para cadenas de instalación fácil SKYTRON Array Guard FH. PV29.1X con fusible de 20 A,	120,00	533,00	63.960,00
			<b>02.01</b>	1,00	<b>5.164.222,20</b>	<b>5.164.222,20</b>
<b>02.02</b>	<b>Capítulo</b>		<b>INVERSOR DE CONEXIÓN A RED</b>	<b>1,00</b>	<b>865.454,50</b>	<b>865.454,50</b>
02.02.01	Partida	Ud.	INVERSOR 1000 MV Sunny Central para la inyección directa de media tensión. 1000 MV.	10,00	86.545,45	865.454,50
			<b>02.02</b>	1,00	<b>865.454,50</b>	<b>865.454,50</b>
			<b>02</b>	<b>1</b>	<b>6.029.676,70</b>	<b>6.029.676,70</b>
<b>03</b>	<b>Capítulo</b>		<b>INSTALACION ELÉCTRICA DC</b>	<b>1</b>	<b>433.819,00</b>	<b>433.819,00</b>
<b>03.01</b>	<b>Capítulo</b>		<b>CANALIZACIONES AÉREAS</b>	<b>1,00</b>	<b>223.025,10</b>	<b>223.025,10</b>
03.01.01	Partida	m	CONEXIONES INTERNAS Suministro y tendido de cableado de Cu aislado con polietileno reticulado ZZ-F 0,6/1 KV 2x1x6 mm2 en Bandeja.	22.675,00	6,80	154.190,00
<b>03.01.02</b>	<b>Capítulo</b>	<b>m</b>	<b>BANDEJAS UNEX</b>	<b>1,00</b>	<b>68.835,10</b>	<b>68.835,10</b>
03.01.02.01	Partida	Ud.	Bandeja aislante UNEX 45m 45 metros de Bandeja aislante UNEX deBase perforada de 60x90 mm, en U23X, con cumplimiento de la Directiva RoHS, con carga admisible de 7,9 Kg/m según ensayo tipo I s/EN 61537, temperatura de servicio de -20°C a 60°C, resistencia al impacto 5 J a -20°C. Buen comportamiento frente a los UV en instalaciones exteriores. Resistencia a la corrosión según EN 61537:2007, y requerimientos de REBT 2002 / ITC-BT 30. Resistencia a agentes químicos según ISO/TR 10358, DIN 8061. Reacción al fuego M1 según UNE 23727:1990; Ensayo del Hilo incandescente a 960°C, sin propagación de la llama. Reciclable mecánicamente. Longitud 3m, color gris 7035, montada sobre soportes horizontales, con parte proporcional de soportes y accesorios. El fabricante acreditará el cumplimiento de la norma EN 61537 mediante homologaciones y marcas de calidad emitidas por organismos de normalización y certificación internacionalmente reconocidos.	35,00	621,61	21.756,35
03.01.02.02	Partida	Ud.	Bandeja aislante UNEX 42m 42 metros de Bandeja aislante UNEX deBase perforada de 60x90 mm, en U23X, con cumplimiento de la Directiva RoHS, con carga admisible de 7,9 Kg/m según ensayo tipo I s/EN 61537, temperatura de servicio de -20°C a 60°C, resistencia al impacto 5 J a -20°C. Buen comportamiento frente a los UV en instalaciones exteriores. Resistencia a la corrosión según EN 61537:2007, y requerimientos de REBT 2002 / ITC-BT 30. Resistencia a agentes químicos según ISO/TR 10358, DIN 8061. Reacción al fuego M1 según UNE 23727:1990; Ensayo del Hilo incandescente a 960°C, sin propagación de la llama. Reciclable mecánicamente. Longitud 3m, color gris 7035, montada sobre soportes horizontales, con parte proporcional de soportes y accesorios. El fabricante acreditará el cumplimiento de la norma EN 61537 mediante homologaciones y marcas de calidad emitidas por organismos de normalización y certificación internacionalmente reconocidos.	70,00	557,96	39.057,20

03.01.02.03	Partida	Ud.	Bandeja aislante UNEX 36m	5,00	488,81	2.444,05
			36 metros de Bandeja aislante UNEX deBase perforada de 60x90 mm, en U23X, con cumplimiento de la Directiva RoHS, con carga admisible de 7,9 Kg/m según ensayo tipo I s/EN 61537, temperatura de servicio de -20°C a 60°C, resistencia al impacto 5 J a -20°C. Buen comportamiento frente a los UV en instalaciones exteriores. Resistencia a la corrosión según EN 61537:2007, y requerimientos de REBT 2002 / ITC-BT 30. Resistencia a agentes químicos según ISO/TR 10358, DIN 8061. Reacción al fuego M1 según UNE 23727:1990; Ensayo del Hilo incandescente a 960°C, sin propagación de la llama. Reciclable mecánicamente. Longitud 3m, color gris 7035, montada sobre soportes horizontales, con parte proporcional de soportes y accesorios. El fabricante acreditará el cumplimiento de la norma EN 61537 mediante homologaciones y marcas de calidad emitidas por organismos de normalización y certificación internacionalmente reconocidos			
03.01.02.04	Partida	Ud.	Bandeja aislante UNEX 27m	10,00	350,69	3.506,90
			27 metros de Bandeja aislante UNEX deBase perforada de 60x90 mm, en U23X, con cumplimiento de la Directiva RoHS, con carga admisible de 7,9 Kg/m según ensayo tipo I s/EN 61537, temperatura de servicio de -20°C a 60°C, resistencia al impacto 5 J a -20°C. Buen comportamiento frente a los UV en instalaciones exteriores. Resistencia a la corrosión según EN 61537:2007, y requerimientos de REBT 2002 / ITC-BT 30. Resistencia a agentes químicos según ISO/TR 10358, DIN 8061. Reacción al fuego M1 según UNE 23727:1990; Ensayo del Hilo incandescente a 960°C, sin propagación de la llama. Reciclable mecánicamente. Longitud 3m, color gris 7035, montada sobre soportes horizontales, con parte proporcional de soportes y accesorios. El fabricante acreditará el cumplimiento de la norma EN 61537 mediante homologaciones y marcas de calidad emitidas por organismos de normalización y certificación internacionalmente reconocidos.			
03.01.02.05	Partida	Ud.	Bandeja aislante UNEX 15m	10,00	207,06	2.070,60
			15 metros de Bandeja aislante UNEX deBase perforada de 60x90 mm, en U23X, con cumplimiento de la Directiva RoHS, con carga admisible de 7,9 Kg/m según ensayo tipo I s/EN 61537, temperatura de servicio de -20°C a 60°C, resistencia al impacto 5 J a -20°C. Buen comportamiento frente a los UV en instalaciones exteriores. Resistencia a la corrosión según EN 61537:2007, y requerimientos de REBT 2002 / ITC-BT 30. Resistencia a agentes químicos según ISO/TR 10358, DIN 8061. Reacción al fuego M1 según UNE 23727:1990; Ensayo del Hilo incandescente a 960°C, sin propagación de la llama. Reciclable mecánicamente. Longitud 3m, color gris 7035, montada sobre soportes horizontales, con parte proporcional de soportes y accesorios. El fabricante acreditará el cumplimiento de la norma EN 61537 mediante homologaciones y marcas de calidad emitidas por organismos de normalización y certificación internacionalmente reconocidos			
			<b>03.01.02</b>	<b>1,00</b>	<b>68.835,10</b>	<b>68.835,10</b>
			<b>03.01</b>	<b>1,00</b>	<b>223.025,10</b>	<b>223.025,10</b>
<b>03.02</b>	<b>Capítulo</b>		<b>CANALIZACIONES SUBTERRÁNEAS</b>	<b>1,00</b>	<b>210.793,90</b>	<b>210.793,90</b>
03.02.01	Partida	m	CABLEADO 70mm2	100,00	13,38	1.338,00
			Cableado de 2x1x70 mm2 de sección con aislamiento del tipo RV-K 0,6/1 kV directamente enterrado			
03.02.02	Partida	m	CABLEADO 95mm2	5.730,00	17,72	101.535,60
			Cableado de 2x1x95 mm2 de sección con aislamiento del tipo RV-K 0,6/1 kV enterrado			
03.02.03	Partida	m	CABLEADO 120mm2	4.805,00	22,46	107.920,30

			Cableado de 2x1x120 mm2 de sección con aislamiento del tipo RV-K 0,6/1 kV directamente enterrado			
			<b>03.02</b>	1,00	<b>210.793,90</b>	<b>210.793,90</b>
			<b>03</b>	1	<b>433.819,00</b>	<b>433.819,00</b>
<b>04</b>	<b>Capítulo</b>		<b>INSTALACION ELÉCTRICA AC</b>	<b>1</b>	<b>218.295,05</b>	<b>218.295,05</b>
<b>04.01</b>	<b>Capítulo</b>		<b>TRAMO INVERSOR A CENTRO DE ENTREGA</b>	<b>1,00</b>	<b>7.980,60</b>	<b>7.980,60</b>
04.01.01	Partida	m	CABLEADO MEDIA TENSIÓN  Instalación de cableado en el tramo que une la salida de los Inversore con el centro de entrega, formado por conductores de 185 mm2 de sección, de Cobre para cada una de las fases (tres cables unipolares). Directamente enterrado, Voltalene, sin armadura, Aislamiento XLPE, RHZ1-18/20kV	705,00	11,32	7.980,60
			<b>04.01</b>	1,00	<b>7.980,60</b>	<b>7.980,60</b>
<b>04.02</b>	<b>Capítulo</b>		<b>INSTALACIÓN DE SERVICIOS AUXILIARES</b>	<b>1,00</b>	<b>210.314,45</b>	<b>210.314,45</b>
<b>04.02.01</b>	<b>Capítulo</b>		<b>SALIDA CENTRO DE ENTREGA</b>  Potencia nominal 100kVA 20kV/240V Aislamiento con Aceite	<b>1,00</b>	<b>11.921,73</b>	<b>11.921,73</b>
04.02.01.01	Partida	Ud.	TRANSFORMADOR DE SERVICIOS AUXILIARES	1,00	4.208,00	4.208,00
04.02.01.02	Partida	Ud.	CUADRO GENERAL DE PROTECCIÓN	1,00	496,48	496,48
04.02.01.03	Partida	Ud.	GRUPO ELECTRÓGENO  Grupo Electrónico Kaiser TG70T 50Hz. Potencia principal 56kW/70kVA Voltaje dsiponible 380/220V, 440/230V, 415/240V Modelo motor: TGR410	1,00	7.217,25	7.217,25
			<b>04.02.01</b>	1,00	<b>11.921,73</b>	<b>11.921,73</b>
<b>04.02.02</b>	<b>Capítulo</b>		<b>ALUMBRADO PERIMETRAL</b>	<b>1,00</b>	<b>6.533,60</b>	<b>6.533,60</b>
04.02.02.01	Partida	Ud.	LÁMPARAS LED  Lámparas Mini 300 Stealth Led BVO333 Green Line 4900Lm o similar Ángulo del haz asimétrico 60º, Tensión de Línea 220V, 43 W.	8,00	350,00	2.800,00
04.02.02.02	Partida	Ud.	POSTES  FAROLA CHAPA AC. GALVANIZADO 3,70 m	8,00	221,00	1.768,00
04.02.02.03	Partida	m	CABLEADO  Cableado de 2x1x16 mm2 de sección con aislamiento del tipo RV-K 0,6/1 kV enterrado directamente.	2.730,00	0,72	1.965,60
			<b>04.02.02</b>	1,00	<b>6.533,60</b>	<b>6.533,60</b>
<b>04.02.03</b>	<b>Capítulo</b>		<b>SISTEMA DE VIGILANCIA</b>	<b>1,00</b>	<b>5.612,40</b>	<b>5.612,40</b>
04.02.03.01	Partida	Ud.	CÁMARAS  Cámaras de vigilancia y detección termal AXIS Q87-DUal PTZ Network Camera Series reconocimiento a 400 m o similar	6,00	525,00	3.150,00
04.02.03.02	Partida	m	CABLEADO  Cableado de 2x1x16 mm2 de sección con aislamiento del tipo RV-K 0,6/1 kV enterrado directamente	3.420,00	0,72	2.462,40
			<b>04.02.03</b>	1,00	<b>5.612,40</b>	<b>5.612,40</b>
<b>04.02.04</b>	<b>Capítulo</b>		<b>ALIMENTACIÓN A MOTORES SEGUIDORES</b>	<b>1,00</b>	<b>186.246,72</b>	<b>186.246,72</b>

04.02.04.01	Partida	Ud.	MOTORES	990,00	180,00	178.200,00
			Motor para mesa seguidor, 12 V, 4 A, Consumo 10Wh/día sensibilidad al tracking de 1º.			
04.02.04.02	Partida	m	CABLEADO	11.176,00	0,72	8.046,72
			Cableado de 2x1x16 mm2 de sección con aislamiento del tipo RV-K 0,6/1 kV directamente enterrado			
			<b>04.02.04</b>	<b>1,00</b>	<b>186.246,72</b>	<b>186.246,72</b>
			<b>04.02</b>	<b>1,00</b>	<b>210.314,45</b>	<b>210.314,45</b>
			<b>04</b>	<b>1</b>	<b>218.295,05</b>	<b>218.295,05</b>
<b>05</b>	<b>Capítulo</b>		<b>INSTALACIONES DE PUESTA A TIERRA</b>	<b>1</b>	<b>34.544,75</b>	<b>34.544,75</b>
<b>05.01</b>	<b>Capítulo</b>		<b>UNIÓN EQUIPOTENCIAL PARQUE SOLAR</b>	<b>1,00</b>	<b>34.544,75</b>	<b>34.544,75</b>
			Red de cableado de puesta de tierra de la instalación. Sección 50mm2. Cu.			
05.01.01	Partida	m	CABLEADO DE UNIÓN ESTRUCTURAS DC	3.850,00	5,57	21.444,50
			Red de cableado de puesta de tierra de la instalación. Sección 25mm2. Cu.			
05.01.02	Partida	m	CABLEADO DE MEDIA TENSIÓN	345,00	10,65	3.674,25
			Red de cableado de puesta de tierra de la instalación. Sección 50mm2. Cu.			
05.01.03	Partida	ud	GRAPAS PUESTA A TIERRA MARCO SEGUIDOR	990,00	1,25	1.237,50
			Grapa G-14 Grapa para conexión a tierra de cableado mediante contacto directo.  Fabricada en latón. Tornillería zincada.			
05.01.04	Partida	ud	DESCARGADOR TIPO I	120,00	38,20	4.584,00
			DEHNbloc® modular. Descargador coordinado de corriente de rayo, sobre la base de vías de chispas, compuesto por etapa de base y módulo de protección enchufable. Selectivo con fusibles de 35 A gG, para corrientes de cortocircuito hasta 50 kAeff, Capacidad de derivación hasta 50 kA (10/350 µs)			
05.01.05	Partida	ud	PICA PUESTA A TIERRA EN DESCARGADOR	120,00	12,19	1.462,80
			Pica acero-cobre con recubrimiento de 150 µm fabricadas a partir de acero calibrado y cobre electrolítico de alta conductividad electrodepositado.			
05.01.06	Partida	ud	VIGILANTE DE AISLAMIENTO	10,00	214,17	2.141,70
			Monitor de Fuga a Tierra para sistemas fotovoltaicos con paneles conectados a tierra, y Reconexión			
			<b>05.01</b>	<b>1,00</b>	<b>34.544,75</b>	<b>34.544,75</b>
			<b>05</b>	<b>1</b>	<b>34.544,75</b>	<b>34.544,75</b>
<b>06</b>	<b>Capítulo</b>		<b>MONITORIZACIÓN Y TELECONTROL</b>	<b>1</b>	<b>147.651,84</b>	<b>147.651,84</b>
06.01	Partida	ud	POWER PLAN CONTROLLER	1,00	40.000,00	40.000,00
06.02	Partida	ud	INSTALACIÓN PPC	1,00	25.000,00	25.000,00
06.03	Partida	ud	SCADA	1,00	50.000,00	50.000,00
06.04	Partida	ud	ESTACIÓN METEO	1,00	6.500,00	6.500,00

06.05	Partida	m	Cableado RS-485 Bus de dos hilos RS485 para transmisión de señal entre motores y controlador. 22AWG de calibre. Cobre estañado.	2,34	11.176,00	26.151,84
<b>06</b>				<b>1</b>	<b>147.651,84</b>	<b>147.651,84</b>
<b>07</b>	<b>Capítulo</b>		<b>DISPOSITIVO DE SEGURIDAD</b>	<b>1</b>	<b>32.573,70</b>	<b>32.573,70</b>
<b>07.01</b>	<b>Capítulo</b>	<b>ud</b>	<b>VALLADO PERIMETRAL</b>	<b>1,00</b>	<b>32.573,70</b>	<b>32.573,70</b>
07.01.01	Partida	m	VALLADO PERIMETRAL Cercado de 2,00 m. de altura realizado con malla soldada en caliente de trama 50/116, tipo Teminsa y postes de tubo de acero galvanizado por inmersión de 48 mm. de diámetro, p.p. de postes de esquina, jabalcones, tornapuntas, tensores, grupillas y accesorios, montada i/ replanteo y recibido de postes con hormigón HM-20/P/20/I de central. Montado sobre murete de bloques de hormigón de 1 metro de altura, haciendo una altura total de vallado de 3 metros.	1.530,00	21,29	32.573,70
<b>07.01</b>				<b>1,00</b>	<b>32.573,70</b>	<b>32.573,70</b>
<b>07</b>				<b>1</b>	<b>32.573,70</b>	<b>32.573,70</b>
<b>PRESUPUESTO</b>				<b>1</b>	<b>7.693.143,37</b>	<b>7.693.143,37</b>

# REFERENCIAS

---

- Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión, con las correspondientes instrucciones técnicas complementarias. REAL DECRETO 842/2002, de 2 de agosto, y sus revisiones.
- Norma UNE-HD60364-5-52, Instalaciones eléctricas de baja tensión. Parte 5: Selección e instalación de equipos eléctricos. Canalizaciones.
- Norma UNE-HD60364-5-54, Instalaciones eléctricas de baja tensión. Parte 5-54: Selección e instalación de los equipos eléctricos. Puesta a tierra y conductores de protección.
- Código Técnico de la Edificación.
- Norma UNE-211435, Guía para la elección de cables eléctricos de tensión asignada superior o igual a 0,6/1 kV para circuitos de distribución de energía eléctrica.
- Real Decreto 337/2014, de 9 de mayo, por el que se aprueban el Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en instalaciones eléctricas de alta tensión y sus Instrucciones Técnicas Complementarias ITC-RAT 01 a 23.
- La norma UNE-IEC/TS 60479-1 da indicaciones sobre los efectos de la corriente que pasa a través del cuerpo humano en función de su magnitud y duración, estableciendo una relación entre los valores admisibles de la corriente que puede circular a través del cuerpo humano y su duración.
- Nuevo Reglamento de Instalaciones Eléctricas de Alta Tensión. REAL DECRETO 223/2008, de 15 de febrero, por el que se aprueban el Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en líneas eléctricas de alta tensión y sus instrucciones técnicas complementarias ITC-LAT 01 a 09.
- UNE 21192. Cálculo de las intensidades de cortocircuito térmicamente admisibles, teniendo en cuenta los efectos del calentamiento no adiabático.



## **ANEXO**

---

Se incluyen en el anexo las tablas que contienen la información completa necesaria para el dimensionamiento del cableado. Las referencias necesarias para situar cada tabla se encuentran en el plano N° 14. Referencia para tablas.



















# PLANOS

---