



UNIVERSIDAD
POLITECNICA
DE VALENCIA

Proyecto de una planta fotovoltaica conectada a red y ubicada en Barx.

Autor: Vicent Donet Chaveli

Tutor: Antonio Abellán García

Fecha: 01/06/2018

Índice

1. Memoria descriptiva	5
1.1 Descripción General	5
1.2 Emplazamiento.....	6
1.3 Normativa.....	6
1.4 Vida útil.....	7
2. Descripción del proyecto.....	7
2.1 Descripción de la Planta Fotovoltaica	7
2.2 Funcionamiento de la planta fotovoltaica	9
2.3 Módulos fotovoltaicos	10
2.4 Estructura de soporte.....	10
2.5 Cajas de conexiones	11
2.6 Inversores	12
2.7 Contadores	13
2.8 Transformador.....	13
3. Dimensionado de la instalación	14
3.1. Configuración del generador	14
3.1.1. Número máximo de módulos en serie	15
3.2. Determinación de la potencia	15
3.3. Sombras y distancias entre filas	16
4. Criterios de elección del cableado	17
4.1 Criterio por caída de tensión	17
4.1.1 Criterio elección del cableado en corriente continua	17
4.1.2. Criterio elección del cableado en corriente alterna.....	18
4.2 Criterio térmico	19
5. Tubos protectores.....	19
6. Protecciones eléctricas.....	20
6.1 Protecciones eléctricas en corriente continua.....	20
6.1.1 Protección frente a contactos directos e indirectos	20
6.1.2 Protección frente sobrecargas	20
6.1.3 Sobretensiones	21
6.2 Protección eléctrica en corriente alterna.....	21
6.2.1 Interruptor automático magnetotérmico.....	21

6.2.2	Interruptor automático diferencial.....	21
6.2.3	Interruptor automático de interconexión	21
7.	Pararrayos.....	22
8.	Instalación de puesta a tierra.....	22
9.	Cálculo de la instalación eléctrica	22
9.1	Criterio de la caída de tensión	25
9.1.1	Cálculo de la sección desde las cadenas hasta las cajas Strings	25
9.1.2	Cálculo de la sección desde las cajas Strings hasta los inversores	28
9.1.3	Cálculo de la sección desde los inversores hasta el transformador	29
9.2	Criterio térmico	30
9.2.1	Cálculo de la sección desde las cadenas hasta las cajas Strings	30
9.2.2	Cálculo de la sección desde las cajas Strings hasta los inversores	33
9.2.3	Cálculo de la sección desde los inversores hasta el transformador	34
9.3	Calculo de Intensidades de cortocircuito	35
9.3.1	Intensidades de cortocircuito en CA.....	35
9.3.2	Intensidades de cortocircuito en CC	35
9.4	Cálculo de las protecciones.....	36
9.4.1	Fusibles.....	37
9.4.2	Interruptor magnetotérmico	41
9.4.3	Interruptor diferencial.....	41
9.4.4	Tierra	42
10.	Obra civil	42
10.1	Adecuación del terreno.....	43
10.2	Canalizaciones	43
10.3	Límites de la parcela.....	43
10.4	Edificaciones	43
11.	Montaje de la instalación	44
11.1	Almacenamiento del material	44
11.2	Montaje del campo solar	44
12.	Prueba de funcionamiento	45
13.	Mantenimiento	45
13.1	Mantenimiento preventivo	46
13.2	Mantenimiento correctivo.....	47
14.	Estudio económico.....	47

14.1 Presupuesto	47
14.2 Balance económico	49
15. Bibliografía	52
16. Planos	52

Resumen

El objetivo de este proyecto es diseñar una planta solar fotovoltaica de 500kW ubicada en el municipio de Barx (Valencia). Dicho proyecto estará conectado a la red eléctrica.

En el proyecto se debe calcular el número de placas fotovoltaicas necesarias para conseguir la potencia deseada. También se debe calcular la distribución de los paneles, las secciones de los cables, el número de inversores necesarios, etc.

Palabras clave

Paneles solares, Planta fotovoltaica, Renovables.

1. Memoria descriptiva

1.1 Descripción General

Se va a realizar el proyecto de una Planta Solar Fotovoltaica en el municipio de Barx (Valencia), la cual estará conectada a la red eléctrica, y dispondrá de una potencia de 500 kW obtenida mediante módulos fotovoltaicos.

El campo fotovoltaico estará compuesto por módulos de 250 Wp de potencia máxima, los cuales estarán agrupados en cadenas de 18 paneles las cuales se montaran sobre estructuras fijas de suelo de 36 paneles por estructura.

Para saber la radiación solar que tenemos en la ubicación de la planta solar consultamos la página Web del PVGIS la cual nos da la información de la radiación total al año:

Estimaciones PVGIS de la generación de electricidad solar

Ubicación: 39 ° 1'2 "Norte, 0 ° 18'19" Oeste, Elevación: 330 m snm,

Base de datos de radiación solar utilizada: PVGIS-CMSAF

Potencia nominal del sistema fotovoltaico: 1.0 kW (silicio cristalino)
Pérdidas estimadas debido a la temperatura y baja irradiancia: 10.9% (utilizando la temperatura ambiente local)
Pérdida estimada por efectos de reflectancia angular: 2.4%
Otras pérdidas (cables, inversor, etc.): 14.0%
Pérdidas del sistema fotovoltaico combinado: 25.3%

Sistema fijo: inclinación = 35 °, orientación = 0 °

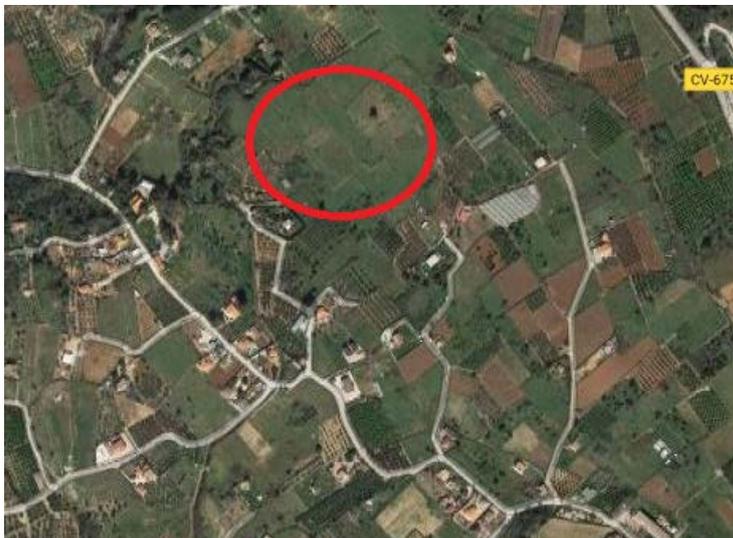
Mes	E_d	E_m	H_d	H_m
Ene	3.17	98.2	4.02	125
Feb	3.81	107	4.88	137
Mar	4.53	140	5.93	184
Abr	4.52	135	6.03	181
Mayo	4.71	146	6.40	198
Jun	4.92	147	6.79	204
Jul	4.99	155	7.00	217
Ago	4.73	147	6.62	205
Sep	4.26	128	5.86	176
Oct	3.80	118	5.11	158
Nov	3.19	95.6	4.13	124
Dic	2.85	88.3	3.61	112
Promedio anual	4.12	125	5.54	168
Total por año		1510		2020

E_d : producción diaria media de electricidad del sistema dado (kWh)
 E_m : producción eléctrica mensual media del sistema dado (kWh)
 H_d : suma diaria media de irradianción global por metro cuadrado recibida por los módulos del sistema dado (kWh / m²)
 H_m : suma promedio de irradianción global por metro cuadrado recibida por los módulos del sistema dado (kWh / m²)

Mediante la página de PVGIS también obtenemos los grados óptimos de inclinación de los módulos fotovoltaicos, los cuales debemos poner orientados al sur con una inclinación de 35° los cuales obtenemos gracias a la estructura de soporte de los módulos.

1.2 Emplazamiento

La planta fotovoltaica se construirá en Barx en una zona de huertos y ocupará una superficie de 9500 m². Cuyas coordenadas son **39°01'16.7''N 0°18'41.7''W**.



1.3 Normativa

La normativa que se tiene en cuenta para realizar el proyecto es la siguiente:

- Ley 54/1997, de 27 de noviembre, del Sector Eléctrico.
- Real Decreto 2017/1997, de 26 de diciembre, por el que se organiza y regula el procedimiento de liquidación de los costes de transporte, distribución y comercialización a tarifa, de los costes permanentes del sistema y de los costes de diversificación y seguridad de abastecimiento.
- Real Decreto 1663/2000, de 29 de septiembre, sobre conexión de instalaciones fotovoltaicas a la red de baja tensión.
- Real Decreto 842/2002, de 2 de agosto, por el que se aprueba el Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión.
- Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones Conectadas a Red, PCT-C Rev-octubre 2002
- Real Decreto 1432/2002, de 27 de diciembre, por el que se establece la metodología para la aprobación o modificación de la tarifa eléctrica media o de referencia y se modifican algunos artículos del Real Decreto 2017/1997, de 26 de diciembre, por el que se organiza y regula el procedimiento de liquidación de los costes de transporte, distribución y comercialización a tarifa, de los costes permanentes del sistema y de los costes de diversificación y seguridad de abastecimiento.
- Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación.

- Ley 10/2006, de 21 de diciembre, de Energías Renovables y Ahorro y Eficiencia Energética
- Real Decreto 661/2007, de 25 de mayo, por el que se regula la producción de energía eléctrica en régimen especial.
- Límite de mantenimiento de la retribución del Real Decreto 661/2007, de 25 de mayo, para dicha tecnología.
- Real Decreto 1578/2008, de 26 de septiembre, de retribución de la actividad de producción de energía eléctrica mediante tecnología solar fotovoltaica para instalaciones posteriores a la fecha
- Normas particulares de la IBERDROLA DISTRIBUCION ELECTRICA S.A.U.

1.4 Vida útil

La vida útil de este tipo de proyectos se estima en 30 años. Pero dado que las placas fotovoltaicas van perdiendo rendimiento, podemos decir que la productividad va a ser inferior en los últimos años de vida de la instalación, la pérdida de rendimiento se estima en un 20%.

2. Descripción del proyecto

2.1 Descripción de la Planta Fotovoltaica

La Planta Solar Fotovoltaica tiene como objetivo generar energía eléctrica mediante la captación de la radiación del Sol. Para posteriormente exportar la energía a la red de la compañía distribuidora IBERDROLA DISTRIBUCION ELECTRICA S.A.U.

Para poder llevar a cabo el su función la instalación cuenta con una los siguientes elementos:

- Módulos fotovoltaicos.
- Estructuras de soporte.
- Cajas de conexiones.
- Inversores.
- Transformador.

Los paneles solares empleados son de 250 W Policristalinos de la marca Atersa con las siguientes características:

Los conductores de interconexión entre módulos Fotovoltaicos serán de sección no inferior a 4 mm² de cobre flexible con aislamiento de 1.000 Vcc especial para intemperie.

Los módulos se instalarán sobre una estructura con capacidad para 36 paneles, los cuales se montarán en 2 columnas de 18 paneles en serie, haciendo el total de 36 paneles por estructura.

La instalación contará con 2016 paneles los cuales se dividen en cadenas de 18 paneles haciendo un total de 14 cadenas por inversor. Con un total de 8 inversores.

La energía producida por los paneles debe transformarse para poder inyectarla a la red, para ello usamos los inversores los cuales transforman corriente continua producida por los paneles a corriente alterna. Obteniendo así una frecuencia de 50 Hz y una tensión de 400 Voltios.

El inversor tiene un factor de potencia que está entorno a la unidad y el coeficiente de distorsión de la onda de salida es inferior al 3%. Por tanto la energía que se exporta a la red eléctrica es de buena calidad. El rendimiento del inversor es superior al 96%.

Aparte el inversor incorpora aislamiento galvánico entre el lado de corriente continua y el lado de corriente alterna. Y cuenta con protecciones contra sobretensiones en corriente continua y contra inversiones de polaridad. También incorpora un sistema Avanzado de seguimiento del punto de potencia máxima (MPPT). Que es capaz de soportar huecos de tensión y dispone de un control de potencia activa y reactiva. Aparte posee una protección anti-isla con desconexión automática.

Cuenta con seccionador, fusibles y descargador de sobretensiones en el lado de corriente continua.

En la parte de corriente alterna dispone de seccionador magneto-térmico y descargador de sobretensiones.

La conexión entre las cadenas y su correspondiente inversor se hace a través de canalizaciones, zanjas y cableado, y también mediante cajas de conexión intermedio (Cajas String) para optimizar las secciones de cable y minimizar las pérdidas por caídas de tensión.

2.2 Funcionamiento de la planta fotovoltaica

La planta fotovoltaica proporciona energía eléctrica durante el día. La energía proporcionada dependerá de la radiación solar que le llegue a los módulos así como el ángulo.

La energía producida por los módulos fotovoltaicos es transformada en corriente alterna a 400V y 50Hz a través del inversor para inyectarla en sincronía a la red de la empresa suministradora, la cual se encargará de distribuirla y transformarla en MT.

Por las noches la planta no produce energía y los inversores dejan de inyectar energía a la red, entrando en un estado de "stand-by" para minimizar el auto-consumo de la planta. En el momento en que el sol sale y la planta empieza a producir la suficiente energía como para poder inyectar a la red, la unidad de control empieza a supervisar la tensión y la frecuencia de la red para posteriormente empezar a inyectar la energía producida.

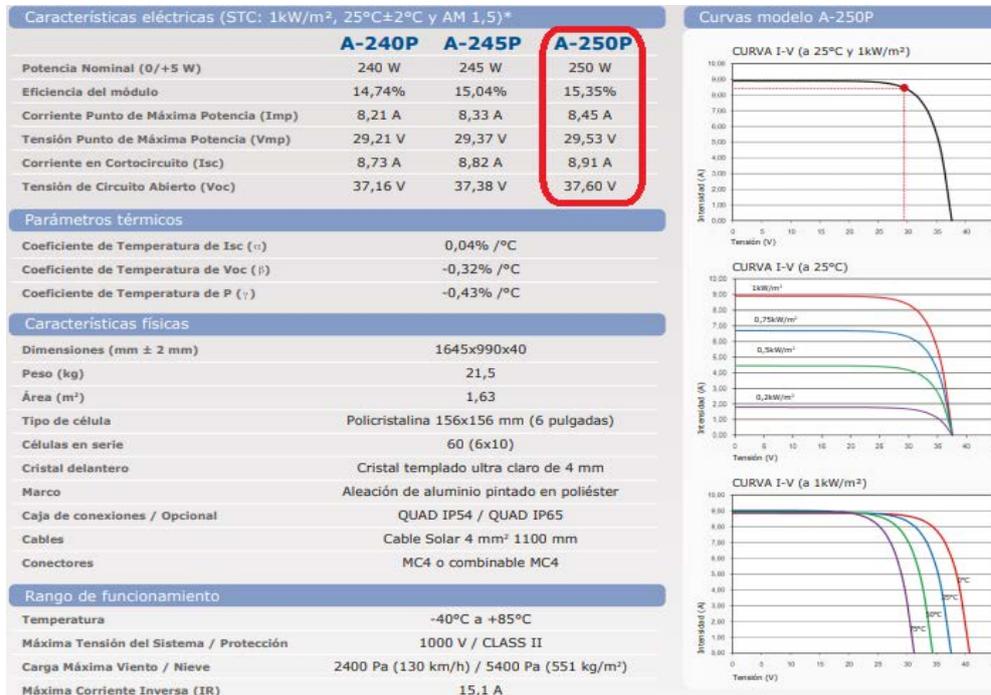
Las protecciones de los inversores están preparados para posibles fallos en la red. En caso de que la red caiga o se corte por motivos de mantenimiento los inversores están preparados para evitar trabajar en modo isla con lo que detiene el funcionamiento de la planta. Con este sistema de protección se evita el daño a posibles equipos de la planta así como la seguridad de posibles operarios en la red.

La instalación solo produce energía durante el día y no incorpora ningún tipo de almacenamiento de energía.

La planta está diseñada para proporcionar 500kW de potencia nominal.

2.3 Módulos fotovoltaicos

Las características de los módulos fotovoltaicos se muestran en la siguiente imagen:



Con los datos proporcionados por el fabricante podemos sacar las tensiones de salida de las cadenas:

La tensión nominal de trabajo de la cadena será la multiplicación del número de paneles en serie por la tensión nominal de trabajo: $V_{mpp}=29.53 \cdot 18=531.54 \text{ V}$.

La tensión de la cadena en circuito abierto se obtiene multiplicando la tensión de circuito abierto por el número de paneles conectados en serie: $V_{oc}=37.6 \cdot 18=676.8 \text{ V}$.

2.4 Estructura de soporte

La estructura de soporte está fabricada íntegramente de aluminio de alta calidad, mientras que la tornillería y accesorios están hechos de acero inoxidable. Las estructuras se soportan a través de pilares que se entierran en el suelo a una determinada profundidad que viene dada por las características del terreno.

La estructura permite colocar dos filas de módulos en posición vertical, para poder reducir el coste de montaje. La estructura está diseñada para resistir la fuerza producida por situaciones adversas bien sea lluvia, nieve, viento o posibles movimientos sísmicos.

La estructura está diseñada para soportar las dilataciones térmicas sin transmitir las cargas que puedan afectar a los módulos.

2.5 Cajas de conexiones

Las cajas de conexiones están ubicadas en cada una de las agrupaciones de las cadenas para juntar las diferentes cadenas y así pasar de una canalización sobre bandeja perforada al cableado enterrado mediante zanja.

A las cajas de conexión les llegaran de 8 a 6 entradas, dependiendo del número de cadenas en la agrupación, las secciones de los cables de entrada serán de 10 mm² de 6 mm² y de 4 mm². Los cables de salida dependiendo de la caja serán de 50 mm², 35 mm² o de 25 mm².

En las cajas también estarán los fusibles que protegen cada una de las cadenas de 16 A tipo Gg.

Contendrán un disyuntor-seccionador general de 160 A, así como descargadores de sobretensión para proteger la instalación.

Las cajas de conexiones tienen una IP 55, para asegurar que sea estanca y proteja el aislamiento frente el agua y el polvo.

La siguiente tabla muestra las características de la caja de conexión String.

Tabla de características:

CARACTERÍSTICAS GLOBALES DEL MONTAJE	
Tensión máxima de uso	1000Vdc
Corriente máxima de uso	160A
Tensión de aislamiento	1000Vdc
Capacidad de seccionamiento	Si, por interruptor de corte en carga
Protección por fusible	Si
Protección contra sobretensiones	Si
IP	55
Prensaestopas	Si
CARACTERÍSTICAS DEL INTERRUPTOR	
Marca	Telergon / Socomec
Tensión máxima de corte	1000Vdc
Corriente máxima de corte	160A
Tensión de aislamiento	1000Vdc
Accionamiento	Por mando directo
Categoría de empleo	DC21
Tipo de conexión	Disponible en pletina ó brida
CARACTERÍSTICAS DEL FUSIBLE	
Marca	DF
Tensión máxima de uso	900Vdc
Corriente de fusión de fusible	16A
Tensión de aislamiento (base)	1000Vdc
Corriente máxima de la base	32 A
Tipo de base	UTE
Calibre	10x38
Montaje	Carril
Conexión	Brida
CARACTERÍSTICAS DEL PROTECTOR	
Marca	Weidmüller
Tipo	Tipo II
Tensión de uso	1000Vdc
I de descarga	40kA
CARACTERÍSTICAS DE LA ENVOLVENTE	
Marca	Claved
Dimensiones máximas	700x500x300mm
IP	55
IK	10
Tapa	Transparente
Prensaestopas	Si (M16 y 20)
IP Prensas	66
Placa de montaje	Aislante

2.6 Inversores

Los inversores son los encargados de transformar la corriente continua de los paneles a corriente alterna. El inversor funciona mediante el seguimiento del punto de máxima potencia en cada momento, de forma que optimiza los valores de la intensidad y de tensión en corriente continua. El inversor dispone de protección ante posibles fallos de aislamiento del circuito de continua, el sistema en caso de detectar fallo abre el circuito. Por otra parte también dispone de protección en la parte de alterna la cual en caso de detectar fluctuaciones o fallos en la red abre el circuito.

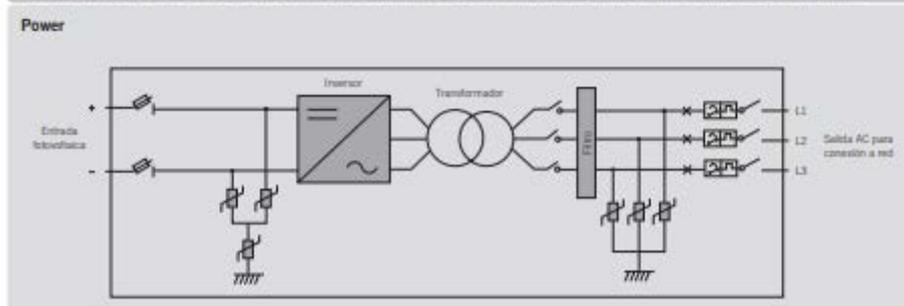
El Inversor tiene un factor de potencia igual a 1, ya que incorpora un banco de condensadores que posibilitan ese valor. Los inversores dispondrán de ventilación forzada ya que las temperaturas que alcanzan son elevadas, los inversores estarán ubicados dentro de una caseta echa exclusivamente para ellos.

La elección de los inversores viene dada por la potencia que deben transformar, en este caso la potencia es de 63 kW por tanto cogemos el de 70 kW.

La siguiente tabla muestra las características de los inversores:

	50	60	70	80	90	100
Valores de Entrada (DC)						
Rango pot. campo PV recomendado ¹⁾	52 - 85 kWp	63 - 78 kWp	75 - 91 kWp	83 - 104 kWp	93 - 117 kWp	104 - 130 kWp
Rango de tensión MPPT	405 - 750 V					
Tensión máxima ²⁾	900 V					
Corriente máxima	130 A	136 A	182 A	208 A	234 A	260 A
Nº entradas	4	4	4	4	4	4
MPPT	1	1	1	1	1	1
Valores de Salida (AC)						
Potencia nominal ³⁾	55 kW	66 kW	77 kW	88 kW	99 kW	110 kW
Corriente máxima	93 A	118 A	131 A	156 A	161 A	161 A
Tensión nominal	400 V					
Frecuencia nominal	50 / 60 Hz					
Coseno Phi ⁴⁾	1	1	1	1	1	1
Coseno Phi ajustable	Si. Sinus:55 kW	Si. Sinus:66 kW	Si. Sinus:77 kW	Si. Sinus:88 kW	Si. Sinus:99 kW	Si. Sinus:110 kW
THDi ⁵⁾	<3%	<3%	<3%	<3%	<3%	<3%
Rendimiento						
Eficiencia máxima	96,3%	96,4%	97,2%	97,5%	98,9%	98,8%
Eficiencia	94,3%	94,7%	96,1%	96,2%	98,8%	98,7%
Datos Generales						
Refrigeración por aire	2.600 m ³ /h					
Consumo en stand-by ⁶⁾	30 W					
Consumo redutido	1 W	1 W	1 W	1 W	1 W	1 W
Temperatura de funcionamiento	-20°C a +65°C					
Humedad relativa (sin condensación)	0 - 95%	0 - 95%	0 - 95%	0 - 95%	0 - 95%	0 - 95%
Grado de protección	IP20	IP20	IP20	IP20	IP20	IP20

Notas: ¹⁾ Dependiendo del tipo de instalación y de la ubicación geográfica. ²⁾ No superar el rango de tensión recomendado al aumentar de tensión de los paneles "Voc" a bajas temperaturas.
³⁾ Potencia AC hasta 40°C de temperatura ambiente. Por cada °C de incremento, la potencia de salida se reduce un 1,8%. ⁴⁾ Para Pfc>25% de la potencia nominal. ⁵⁾ Para Pfc>25% de la potencia nominal y tensión según IEC 61000-3-4. ⁶⁾ Consumo Stand-by al campo fotovoltaico.
Referencias normativas: CE, EN 61000-6-2, EN 61000-6-4, EN 61000-3-11, EN 61000-3-12, EN 50578, EN 62109-1, EN 62109-2, FCC Part 15, IEC 62116, HD3099/2011, DIN V VDE V 0136-5-1, CEI 0-35, CEI 0-23, DE-AR-N 4205:2011-08, BDEW-Mitgliedsanmeldungsschein 2011, AJO Tema, PD.12.3, South Africa Grid code, IEEE829, IEC61727



2.7 Contadores

Los contadores estarán ubicados en una sala destinada para ellos junto a las protecciones necesarias.

La sala deberá cumplir una serie de condiciones:

- La sala no servirá de paso ni de acceso a otros locales.
- Estará ubicado en la planta baja y será de fácil y libre acceso.
- Estará construido con paredes de clase M0 y suelo clase M1, separado de otros locales que presenten riesgos de incendio o produzcan vapores corrosivos y no estará expuesto a vibraciones ni humedades.
- Las paredes donde deben fijarse la concentración de contadores tendrán una resistencia no inferior a la del tabicón de medio pie de ladrillo hueco.
- Dispondrá de ventilación e iluminación suficiente para comprobar el buen funcionamiento de todos los componentes de la concentración.
- El local tendrá una altura mínima de 2,30 m y una anchura mínima en paredes ocupadas por contadores de 1,50 m. Sus dimensiones serán tales que las distancias desde la pared donde se instale la concentración de contadores hasta el primer obstáculo que tenga enfrente sean de 1,10 m. La distancia entre los laterales de dicha concentración y sus paredes colindantes será de 20 cm.
- La puerta de acceso abrirá hacia el exterior y tendrá una dimensión mínima de 0,70 x 2 m y estará equipada con la cerradura que tenga normalizada la empresa distribuidora.
- Dentro del local e inmediato a la entrada deberá instalarse un equipo autónomo de alumbrado de emergencia, de autonomía no inferior a 1 hora y proporcionando un nivel mínimo de iluminación de 5 lux.
- En el exterior del local y próximo a la puerta de entrada, deberá existir un extintor móvil, de eficacia mínima 21B.

Los módulos de los contadores contarán con un fusible de protección y un interruptor de corte con carga para posibles desconexiones de la instalación.

2.8 Transformador

Para poder inyectar la tensión a la red la instalación contará con un transformador, este será el encargado de elevar la tensión de 400 V a 11 kV para así poder inyectar la energía producida a la red.

El transformador va dentro de su propia edificación desde la cual saldrá la línea de media tensión aérea propiedad de la compañía suministradora.

3. Dimensionado de la instalación

3.1. Configuración del generador

Lo primero que debemos tener en cuenta es la potencia de los generadores y su tensión ya que esta es la que define la cantidad máxima de módulos que se pueden poner en serie.

Las tensiones de los módulos fotovoltaicos conectados en una cadena viene dado por el sumatorio de los módulos conectados en serie. Las tensiones de los módulos fotovoltaicos dependen de la temperatura, por tanto para el diseño se tiene que tener en cuenta situaciones de temperaturas extremas de 70°C y de -10°C.

El número de paneles que se pondrán en serie determina la tensión de la cadena, y por tanto la tensión que llegara a los inversores. Para elegir la cantidad de paneles en serie se tiene que tener en cuenta el intervalo de tensiones que soportan los inversores.

Para determinar la cantidad de cadenas que se conectaran en paralelo se tiene que tener en cuenta la potencia que queremos tener por inversor y las intensidades de cortocircuito que soporta el inversor en el lado de corriente continua.

Los datos de cada módulo teniendo en cuenta las temperaturas extremas están reflejadas en la siguiente tabla:

Datos paneles		
Potencia	250	W
Tensión Máxima Potencia	29.53	V
Tensión en Circuito Abierto	37.6	V
Coefficiente de Temperatura	-0.32	%/°C
Tensión sin carga máxima	48.8	V
Tensión mínima MPP	15.13	V
Tensión máxima MPP	40.73	V

3.1.1. Número máximo de módulos en serie

El cálculo del número máximo de los módulos en serie por cadena está vinculado a la condición de máxima tensión en uso que suministran los módulos, que es en la condición extrema de frío a -10°C. El inversor es el que se encarga de la seguridad, en caso de que la tensión en circuito abierto sea superior a la tensión de entrada admisible no restablece la continuidad del circuito.

La cantidad máxima de módulos en serie se obtiene de la fórmula:

$$N_{max} = \frac{U_{max}}{U_{ca}(-10^{\circ}\text{C})} = \frac{900}{40.73} = 22 \text{ Módulos}$$

Donde U_{ca} es la tensión a -10°C y U_{max} es la tensión máxima admisible en la entrada del inversor que nos proporciona el fabricante. Ahora ya conocemos la cantidad máxima de módulos que podemos poner en serie.

3.2. Determinación de la potencia

Una vez tenemos claro la cantidad de paneles que vamos a poner en cada cadena y la cantidad de cadenas por inversor, podemos seleccionar los inversores.

En esta instalación habrá 18 paneles por cadena y 14 cadenas conectadas a cada uno de los inversores, los cuales recibirán una potencia de 63 kW. Por tanto se escoge unos inversores de 70 kW. Se debe de realizar unas verificaciones con los datos del inversor para comprobar que la distribución de los módulos es el adecuado, en caso contrario se debe redimensionar la instalación.

Comprobaciones:

- Se debe ver si la tensión sin carga en los extremos de las cadenas es menor que la tensión de entrada máxima del inversor.
- Se debe comprobar que la tensión mínima que suministra la cadena no es inferior a la mínima del inversor.
- Se debe comprobar que la tensión máxima que suministra la cadena no es superior a la máxima que soporta el inversor.
- Se comprueba la corriente máxima de cortocircuito que le llega al inversor es inferior a la corriente máxima que soporta.

Tabla características inversor:

Inversor		
Potencia	70000	W
Tensión admisible en el lado CC	405/750	V
Tensión máxima en el lado CC	900	V
Intensidad entrada máxima en el lado CC	182	A

3.3. Sombras y distancias entre filas

Las sombras en los módulos fotovoltaicos ocasionan perdidas en la productividad, como estas están conectadas en serie con que uno de los módulos este parcialmente sombreado ya es suficiente para ocasionar una pérdida de intensidad y por tanto una perdida en la productividad.

Para evitar sombras en nuestra instalación se debe de tener en cuenta las sombras que se pueden provocar por los objetos circundantes a nuestra instalación, y las sombras que pueden provocar entre si los paneles de las diferentes filas.

En nuestra instalación las sombras circundantes no son un problema ya que se encuentran lejos, por tanto lo que debemos tener en cuenta son las sombras que se provocan entre filas, para el cálculo de las distancias utilizamos la siguiente figura:

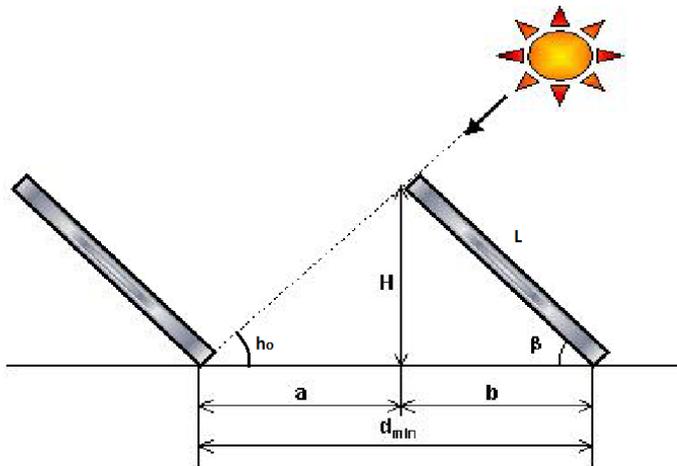


Fig. 3.15.-Distancia mínima entre filas consecutivas de paneles solares.

Para sacar la distancia mínima debemos calcularla para el peor día del año, que en nuestro caso es el solsticio de invierno que pertenece al día 355 del año. Para el cálculo también necesitamos saber la latitud de la instalación, la inclinación de los paneles y la longitud de los paneles, que en este caso será el doble ya que van dos filas montadas en la estructura de soporte.

Cálculo de distancias mínima entre filas	
Latitud	39
Día juliano	355
Declinación, δ	-23.45
ho	27.55
Inclinación paneles, β	35
Longitud del panel, L (m)	3.29
dmin (m)	6.31
b (m)	2.70
a (m)	3.62

Una vez sacamos la distancia mínima que en este caso será 3.62 m, se decide a que distancia se colocan las filas que para nuestra instalación. La distancia será de 3.65 m.

4. Criterios de elección del cableado

4.1 Criterio por caída de tensión

En un circuito cuando circula corriente eléctrica por un conductor este genera una caída de tensión debido al efecto Joule, el cual consiste en el calentamiento del cable.

Según el IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía) la caída de tensión máxima de los paneles hasta el inversor será como máxima del 1.5%. La caída de tensión la repartiremos en dos tramos, uno del 0.5% de caída máxima del tramo que va de los paneles a las cajas Strings, y un 1% de las cajas Strings a los inversores.

La distribución de los cables entre los paneles fotovoltaicos y las cajas Strings se hará sobre bandeja perforada, mientras que los cables que van de las cajas Strings a los inversores irán soterrados.

4.1.1 Criterio elección del cableado en corriente continua

El cable a utilizar en la conexión en el lado de corriente continua está dividido en dos partes la primera es la conexión de los paneles hasta la caja String, cuyo recorrido será sobre bandeja perforada. El segundo tramo estará comprendido entre las cajas Strings y los inversores, el recorrido será mediante tubos enterrados en zanjas.

El cálculo en ambos tramos será igual, se utiliza el criterio de la sección mínima para la caída de tensión máxima admisible. La ecuación que permite calcular la sección mínima requerida es la siguiente:

$$S = 200 * \frac{P * L}{\gamma * u\% * V^2}$$

Donde,

- S es la sección mínima de la caída de tensión.
- P es la potencia nominal de la rama fotovoltaica.
- L es la longitud del tramo en estudio.
- γ es la conductividad eléctrica del conductor.
- $u\%$ es la máxima caída de tensión del tramo de estudio.
- U es la tensión en condiciones normales.

Una vez se calcula la sección mínima se pasa a la elección del cable a usar, que en nuestro caso habrá dos tramos con dos tipos distintos de cable.

El primer tramo el cable debe soportar temperaturas extremas ya que está expuesto al sol por tanto para este tramo usaremos un cable solar de la marca TOPSOLAR denominado ZZ-F, este cable es de cobre con aislamiento de PVC y con una tensión asignada de 1.8 kV.

El segundo debe ser apto para estar enterado por tanto escogemos un cable preparado para ello. El cable es de la marca POWERFLEX y de denominación RV-K, el cable es de cobre con aislamiento XLPE, y una tensión asignada de 0.6/1 kV.

4.1.2. Criterio elección del cableado en corriente alterna

Para la elección del cable en el lado de corriente alterna se debe tener en cuenta que el tramo ira enterrado y su dimensionamiento dependerá de la energía a transportar y de la distancia del cable.

Al igual que en el cable de corriente continua se calcula la sección mediante el criterio de la caída de tensión máxima admisible. Donde la fórmula es la siguiente:

$$S = 100 * \frac{P * L}{\gamma * u\% * V^2}$$

Donde,

- S es la sección mínima de la caída de tensión.
- P es la potencia nominal de la rama fotovoltaica.
- L es la longitud del tramo en estudio.
- γ es la conductividad eléctrica del conductor.
- $u\%$ es la máxima caída de tensión del tramo de estudio.
- U es la tensión en condiciones normales.

De esa manera sacamos la sección mínima y por tanto seleccionamos la sección inmediatamente superior.

El cable escogido es de la marca POWERFLEX con una denominación RV-K, el cable es de cobre con aislamiento XLPE, y una tensión asignada de 0.6/1 kV. Este cable es el mismo que hemos usado en el tramo enterrado de corriente continua ya que también lo fabrican para trifásica.

4.2 Criterio térmico

Para la elección de la sección del cable no solo se debe tener en cuenta la caída de tensión sino también debemos tener en cuenta que las intensidades de diseño sean inferiores a la máxima admisible por el cable.

Los valores de las intensidades máximas admisibles nos la proporciona el fabricante. Las intensidades que nos proporciona son en situaciones ideales por tanto debemos aplicar un factor de corrección que depende de del tipo de instalación de los cables (en nuestro caso son dos casos los cables que van sobre bandeja perforada y los que van enterrados), también se tiene que tener en cuenta la agrupación de los cables.

5. Tubos protectores

En la instalación los cables irán conducidos mediante los tubos protectores rígidos.

Los tubos irán en las canalizaciones empotradas, este tramo estará en la sala de los inversores y en la sala de los contadores. Los tubos irán fijados a las paredes o por los techos por medio de bridas o abrazaderas protegidas contra la corrosión y sólidamente sujetas.

Los cables que van mediante canalizaciones enterradas también deben ponerse dentro de tubos rígidos. Estos tramos deben ir lo más recto posible y los cambios de dirección deben ser lo más suave posible.

En la instalación ira un cable por tubo, la relación del diámetro aparente del circuito será superior a 2.

6. Protecciones eléctricas

6.1 Protecciones eléctricas en corriente continua

Las protecciones de corriente continua van desde los módulos fotovoltaicos hasta la entrada de los inversores.

6.1.1 Protección frente a contactos directos e indirectos

Para poder proteger los módulos fotovoltaicos de los contactos directos e indirectos se conectaran en modo flotante. Así conseguimos que en caso de defectos a tierra de cualquier punto de la instalación en el lado de corriente continua el inversor será el encargado de detener su funcionamiento y activaría una alarma visual en el equipo. Esto es posible gracias al controlador permanente de aislamiento que posee el inversor.

Para la protección individual de cada cadena se usan fusibles los cuales protegen frente a cortocircuitos. Los fusibles son ubicados dentro de las cajas Strings, estas también incorporan un disyuntor-seccionador de 160 A.

6.1.2 Protección frente sobrecargas

Los fusibles que hemos ubicado en cada cadena sirven para proteger la instalación eléctrica frente sobrecargas.

En el dimensionado de los fusibles se debe tener claro un par de normas:

La primera norma es que la corriente que soporta el cable (I_z) debe de ser superior a la corriente nominal del fusible (I_n), y la corriente que soporta el cable (I_z) debe ser inferior a la corriente de fusión del fusible (I_{nf}), para poder garantizar que el fusible se funde antes que el cable.

La segunda norma dice que para evitar cortes en la producción energética los fusibles de cada rama deben cumplir que su intensidad nominal (I_n) debe ser superior o igual a la intensidad de la rama multiplicada por 1.25.

6.1.3 Sobretensiones

Dado que los generadores fotovoltaicos están en intemperie se puede producir posibles descargas atmosféricas, con lo que la instalación deberá disponer de protección frente a estas. Para la protección frente las sobretensiones disponemos de descargadores de sobretensiones de tipo 2, los cuales están incorporados en los inversores.

6.2 Protección eléctrica en corriente alterna

Las protecciones en el lado de corriente alterna van desde la salida del inversor hasta el transformador.

6.2.1 Interruptor automático magnetotérmico

La instalación cuenta con un interruptor magnetotérmico por inversor el cual se dimensiona mediante la expresión:

Intensidad de la línea \leq Intensidad del magnetotérmico \leq intensidad soportada por el cable.

6.2.2 Interruptor automático diferencial

El interruptor diferencial protege la instalación frente a fallos a tierra. Habrá un interruptor diferencial por cada inversor cuya sensibilidad será de 30 mA. El calibre debe ser superior o igual al de los magnetotérmico.

6.2.3 Interruptor automático de interconexión

El interruptor automático de interconexión se encarga de la conexión y desconexión automática de la instalación fotovoltaica en caso de que los valores de la red eléctrica descieran.

Una vez los valores de tensión de la red vuelvan a los valores normales el dispositivo se conecta automáticamente. Este dispositivo está integrado en grandes inversores como es en nuestro caso.

7. Pararrayos

La instalación contara con pararrayos para evitar el impacto directo de los rayos y así proteger la instalación y las personas que se encuentren en ella. Los pararrayos contarán con la tecnología CTS la cual canaliza la energía del rayo en la cabeza aérea hasta la toma de tierra.

8. Instalación de puesta a tierra

La instalación de puesta a tierra se pone para proteger los equipos de la instalación y a las personas de posibles faltas o descargas atmosféricas. Para la protección se deben conectar los elementos metálicos de la instalación a la puesta tierra. Nuestra puesta a tierra no debe alterar la de la compañía distribuidora para evitar transferir le defectos.

Las masas de la instalación fotovoltaica estarán conectados a una única tierra independiente a la del neutro de la empresa distribuidora, tal y como dice el Reglamento electrotécnico para baja tensión.

Los generadores son flotantes por tanto la toma a tierra es para amortiguar las descargas atmosféricas.

9. Cálculo de la instalación eléctrica

En el cálculo de la instalación elegiremos el tipo de cable y su sección. Para elegir correctamente la sección del cable tendremos en cuenta tres criterios:

- Criterio de caída de tensión.
- Criterio de intensidad máxima admisible.
- Criterio de la corriente de cortocircuito.

Mediante esos tres criterios sacamos la sección mínima que debemos usar, se escoge la sección del criterio más desfavorable.

El cable a usar en la instalación fotovoltaica debe ser capaz de soportar las condiciones extremas que se pueden alcanzar en la instalación.

El cable que va desde los paneles hasta las cajas strings estará en intemperie por tanto debe soportar temperaturas de hasta 90°C por tanto escogemos un cable diseñado para el uso en instalaciones solares.

Especificaciones del cable TopSolar PV ZZ-F para uso en intemperie:

- Temperatura mínima de servicio -40°C.
- Temperatura máxima del conductor 120°C.
- Resistencia a los rayos ultravioletas.
- Resistente a la inmersión en agua.
- No propagador de la llama.
- Libre de halógenos.

Como se puede ver en sus especificaciones es resistente a los rayos ultravioletas que es lo que buscamos a la hora de escoger el cable que estará expuesto al sol, y también soporta temperaturas superiores a los 90°C.

Tabla de características del cable:

 TOPSOLAR PV ZZ-F						
DIMENSIONES						
Sección (mm ²)	Diámetro (mm)	Peso (Kg/km)	Aire libre (A)	Int. Sobre Superficie (A)	Int. Adyacente a Superficie (A)	Caída tensión (V/A · km)
1 x 2,5	4,8	42	41	39	33	23,0
1 x 4	5,3	57	55	52	44	14,3
1 x 6	5,9	76	70	67	57	9,49
1 x 10	7,0	120	98	93	79	5,46
1 x 16	8,2	179	132	125	107	3,47
1 x 25	10,8	294	176	167	142	2,23
1 x 35	11,9	390	218	207	176	1,58

Para la parte que va desde las cajas strings hasta los inversores y de los inversores hasta los contadores será una instalación enterrada por tanto el cable debe estar preparado para ir bajo tubo enterrado.

Por tanto el cable a usar será el POWERFLEX RV-K para uso enterrado con las siguientes especificaciones:

- Temperatura mínima de servicio -40°C.
- Temperatura máxima del conductor 90°C.
- Resistente a la inmersión en agua.
- No propagador de la llama.

Tabla de características del cable:

POWERFLEX RV-K					
DIMENSIONES					
Sección (mm ²)	Diámetro (mm)	Peso (Kg/km)	Aire libre a 30°C (A)	Enterrado a 20°C (A)	Caída tensión (VA · km)
1 x 1,5	5,7	42	23	22	29,50
1 x 2,5	6,2	54	29	29	17,70
1 x 4	6,7	70	40	37	11,00
1 x 6	7,3	90	53	46	7,32
1 x 10	8,2	133	74	61	4,23
1 x 16	9,2	189	101	79	2,68
1 x 25	11,0	284	135	101	1,73
1 x 35	12,1	381	169	122	1,23
1 x 50	13,8	517	207	144	0,86
1 x 70	15,7	712	268	178	0,603
1 x 95	17,6	923	328	211	0,457
1 x 120	19,2	1.165	383	240	0,357
1 x 150	21,5	1.446	444	271	0,286
1 x 185	23,9	1.748	510	304	0,235
1 x 240	26,9	2.280	607	351	0,178
1 x 300	29,6	2.829	703	396	0,142
1 x 400	33,8	3.731	823	464	0,108
1 x 500	37,4	4.776	946	525	0,085
1 x 630	42,7	6.276	1.088	596	0,064
2 x 1,5	8,2	90	26	26	34,00
2 x 2,5	9,2	120	36	34	20,40
2 x 4	10,3	161	49	44	12,70
2 x 6	11,3	211	63	56	8,45
2 x 10	13,2	316	86	73	4,89
2 x 16	14,9	450	115	95	3,10
2 x 25	20,8	806	149	121	1,99
3 G 1,5	8,9	108	26	26	34,00
3 G 2,5	9,8	144	36	34	20,40
3 G 4	11	198	49	44	12,70
3 G 6	12,1	263	63	56	8,45
3 G 10	14,3	405	86	73	4,89
3 x 16	16,4	593	100	79	2,68
3 x 25	21,3	975	127	101	1,73
3 x 35	24,1	1.319	158	122	1,23
3 x 50	27,8	1.812	192	144	0,86
3 x 70	30,8	2.463	246	178	0,603
3 x 16 + 1 x 10	17,6	696	100	79	2,68
3 x 25 + 1 x 16	22,7	1.136	127	101	1,73
3 x 35 + 1 x 16	25	1.461	158	122	1,23
3 x 50 + 1 x 25	29,1	2.033	192	144	0,86
3 x 70 + 1 x 35	33,8	2.834	246	178	0,603
3 x 95 + 1 x 50	38,2	3.702	298	211	0,457
3 x 120 + 1 x 70	42,1	4.723	346	240	0,357
3 x 150 + 1 x 70	46,8	5.779	399	271	0,286
3 x 185 + 1 x 95	53,5	7.202	456	304	0,235
3 x 240 + 1 x 120	60,4	9.306	538	351	0,178
3 x 300	62,3	10.050	621	396	0,142

9.1 Criterio de la caída de tensión

En el criterio de caída de tensión se tiene en cuenta el efecto Joule el cual se genera al circular corriente por un conductor y este se calienta y genera pérdidas.

Para nuestra instalación el IDEA dice que la caída de tensión máxima entre los generadores hasta el inversor es del 1,5%. Este tramo está dividido en dos partes. La primera parte es la que circula mediante bandeja perforada a la cual le daremos una caída de tensión máxima del 0,5%. La segunda parte es la que circula enterrada bajo zanja a la cual le damos un valor máximo de caída de tensión de 1%.

Del inversor hasta el transformador nos dan una caída de tensión máxima del 1,5%.

9.1.1 Cálculo de la sección desde las cadenas hasta las cajas Strings

La caída máxima de cada cadena hasta las cajas Strings es del 0,5%. Por tanto mediante la fórmula de la caída de tensión sacamos la sección mínima necesaria para no superar la caída de tensión del 0,5%.

$$S = 200 * \frac{P * L}{\gamma * u\% * V^2}$$

- S es la sección mínima de la caída de tensión.
- P es la potencia nominal de la rama fotovoltaica.
- L es la longitud del tramo en estudio.
- γ es la conductividad eléctrica del conductor.
- u% es la máxima caída de tensión del tramo de estudio.
- U es la tensión en condiciones normales.

Una vez sabemos la sección mínima necesaria solo debemos buscar en el catálogo del fabricante la inmediatamente superior a la calculada. Con lo que obtenemos las secciones de los cables de cada una de las cadenas hasta las cajas Strings.

Calculo sección por caída de tensión de los paneles a las cajas Strings								
Strings	Cadenas	Potencia (W)	Tensión (V)	Longitud (m)	Caída de tensión (%)	Sección calculada (mm ²)	Sección elegida (mm ²)	
String 1	Cadena 1	4500	531.54	56	0.5	7.43	10	
	Cadena 2	4500	531.54	37	0.5	4.91	6	
	Cadena 3	4500	531.54	19	0.5	2.52	4	
	Cadena 4	4500	531.54	20	0.5	2.65	4	
	Cadena 5	4500	531.54	56	0.5	7.43	10	
	Cadena 6	4500	531.54	37	0.5	4.91	6	
	Cadena 7	4500	531.54	19	0.5	2.52	4	
	Cadena 8	4500	531.54	20	0.5	2.65	4	
String 2	Cadena 9	4500	531.54	56	0.5	7.43	10	
	Cadena 10	4500	531.54	37	0.5	4.91	6	
	Cadena 11	4500	531.54	19	0.5	2.52	4	
	Cadena 12	4500	531.54	56	0.5	7.43	10	
	Cadena 13	4500	531.54	37	0.5	4.91	6	
	Cadena 14	4500	531.54	19	0.5	2.52	4	
String 3	Cadena 15	4500	531.54	56	0.5	7.43	10	
	Cadena 16	4500	531.54	37	0.5	4.91	6	
	Cadena 17	4500	531.54	19	0.5	2.52	4	
	Cadena 18	4500	531.54	56	0.5	7.43	10	
	Cadena 19	4500	531.54	37	0.5	4.91	6	
	Cadena 20	4500	531.54	19	0.5	2.52	4	
String 4	Cadena 21	4500	531.54	56	0.5	7.43	10	
	Cadena 22	4500	531.54	37	0.5	4.91	6	
	Cadena 23	4500	531.54	19	0.5	2.52	4	
	Cadena 24	4500	531.54	20	0.5	2.65	4	
	Cadena 25	4500	531.54	56	0.5	7.43	10	
	Cadena 26	4500	531.54	37	0.5	4.91	6	
	Cadena 27	4500	531.54	19	0.5	2.52	4	
	Cadena 28	4500	531.54	20	0.5	2.65	4	
String 5	Cadena 29	4500	531.54	56	0.5	7.43	10	
	Cadena 30	4500	531.54	37	0.5	4.91	6	
	Cadena 31	4500	531.54	19	0.5	2.52	4	
	Cadena 32	4500	531.54	20	0.5	2.65	4	
	Cadena 33	4500	531.54	56	0.5	7.43	10	
	Cadena 34	4500	531.54	37	0.5	4.91	6	
	Cadena 35	4500	531.54	19	0.5	2.52	4	
	Cadena 36	4500	531.54	20	0.5	2.65	4	
String 6	Cadena 37	4500	531.54	56	0.5	7.43	10	
	Cadena 38	4500	531.54	37	0.5	4.91	6	
	Cadena 39	4500	531.54	19	0.5	2.52	4	
	Cadena 40	4500	531.54	56	0.5	7.43	10	
	Cadena 41	4500	531.54	37	0.5	4.91	6	
	Cadena 42	4500	531.54	19	0.5	2.52	4	
String 7	Cadena 43	4500	531.54	56	0.5	7.43	10	
	Cadena 44	4500	531.54	37	0.5	4.91	6	
	Cadena 45	4500	531.54	19	0.5	2.52	4	
	Cadena 46	4500	531.54	56	0.5	7.43	10	
	Cadena 47	4500	531.54	37	0.5	4.91	6	
	Cadena 48	4500	531.54	19	0.5	2.52	4	
String 8	Cadena 49	4500	531.54	56	0.5	7.43	10	
	Cadena 50	4500	531.54	37	0.5	4.91	6	
	Cadena 51	4500	531.54	19	0.5	2.52	4	
	Cadena 52	4500	531.54	20	0.5	2.65	4	
	Cadena 53	4500	531.54	56	0.5	7.43	10	
	Cadena 54	4500	531.54	37	0.5	4.91	6	
	Cadena 55	4500	531.54	19	0.5	2.52	4	
	Cadena 56	4500	531.54	20	0.5	2.65	4	
String 9	Cadena 57	4500	531.54	56	0.5	7.43	10	
	Cadena 58	4500	531.54	37	0.5	4.91	6	
	Cadena 59	4500	531.54	19	0.5	2.52	4	
	Cadena 60	4500	531.54	20	0.5	2.65	4	
	Cadena 61	4500	531.54	56	0.5	7.43	10	
	Cadena 62	4500	531.54	37	0.5	4.91	6	
	Cadena 63	4500	531.54	19	0.5	2.52	4	
	Cadena 64	4500	531.54	20	0.5	2.65	4	

String 10	Cadena 65	4500	531.54	56	0.5	7.43	10
	Cadena 66	4500	531.54	37	0.5	4.91	6
	Cadena 67	4500	531.54	19	0.5	2.52	4
	Cadena 68	4500	531.54	56	0.5	7.43	10
	Cadena 69	4500	531.54	37	0.5	4.91	6
	Cadena 70	4500	531.54	19	0.5	2.52	4
String 11	Cadena 71	4500	531.54	56	0.5	7.43	10
	Cadena 72	4500	531.54	37	0.5	4.91	6
	Cadena 73	4500	531.54	19	0.5	2.52	4
	Cadena 74	4500	531.54	56	0.5	7.43	10
	Cadena 75	4500	531.54	37	0.5	4.91	6
	Cadena 76	4500	531.54	19	0.5	2.52	4
String 12	Cadena 77	4500	531.54	56	0.5	7.43	10
	Cadena 78	4500	531.54	37	0.5	4.91	6
	Cadena 79	4500	531.54	19	0.5	2.52	4
	Cadena 80	4500	531.54	20	0.5	2.65	4
	Cadena 81	4500	531.54	56	0.5	7.43	10
	Cadena 82	4500	531.54	37	0.5	4.91	6
	Cadena 83	4500	531.54	19	0.5	2.52	4
	Cadena 84	4500	531.54	20	0.5	2.65	4
String 13	Cadena 85	4500	531.54	56	0.5	7.43	10
	Cadena 86	4500	531.54	37	0.5	4.91	6
	Cadena 87	4500	531.54	19	0.5	2.52	4
	Cadena 88	4500	531.54	20	0.5	2.65	4
	Cadena 89	4500	531.54	56	0.5	7.43	10
	Cadena 90	4500	531.54	37	0.5	4.91	6
	Cadena 91	4500	531.54	19	0.5	2.52	4
	Cadena 92	4500	531.54	20	0.5	2.65	4
String 14	Cadena 93	4500	531.54	56	0.5	7.43	10
	Cadena 94	4500	531.54	37	0.5	4.91	6
	Cadena 95	4500	531.54	19	0.5	2.52	4
	Cadena 96	4500	531.54	56	0.5	7.43	10
	Cadena 97	4500	531.54	37	0.5	4.91	6
	Cadena 98	4500	531.54	19	0.5	2.52	4
String 15	Cadena 99	4500	531.54	56	0.5	7.43	10
	Cadena 100	4500	531.54	37	0.5	4.91	6
	Cadena 101	4500	531.54	19	0.5	2.52	4
	Cadena 102	4500	531.54	56	0.5	7.43	10
	Cadena 103	4500	531.54	37	0.5	4.91	6
	Cadena 104	4500	531.54	19	0.5	2.52	4
String 16	Cadena 105	4500	531.54	56	0.5	7.43	10
	Cadena 106	4500	531.54	37	0.5	4.91	6
	Cadena 107	4500	531.54	19	0.5	2.52	4
	Cadena 108	4500	531.54	20	0.5	2.65	4
	Cadena 109	4500	531.54	56	0.5	7.43	10
	Cadena 110	4500	531.54	37	0.5	4.91	6
	Cadena 111	4500	531.54	19	0.5	2.52	4
	Cadena 112	4500	531.54	20	0.5	2.65	4

9.1.2 Cálculo de la sección desde las cajas Strings hasta los inversores

Usando el mismo procedimiento que en el cálculo de las secciones del punto anterior sacamos las secciones mínimas necesarias para cumplir que la caída de tensión máxima no supere el 1%. Una vez tenemos la sección mínima volvemos al catálogo del fabricante para coger la sección inmediatamente superior a la calculada. Hay que tener en cuenta que no se trata del mismo cable ya que este irá enterado.

Criterio por caída de tensión de las cajas strigs a los inversores							
Caja string	Numero de cadenas	Potencia	Longitud (m)	Tensión (V)	Caída de tensión (%)	Sección calculada (mm ²)	Sección elegida (mm ²)
String 1	8	36000	81	531.54	1	46.91	50
String 2	6	27000	75	531.54	1	32.58	35
String 3	6	27000	69	531.54	1	29.97	35
String 4	8	36000	63	531.54	1	36.49	50
String 5	8	36000	56	531.54	1	32.43	35
String 6	6	27000	50	531.54	1	21.72	25
String 7	6	27000	44	531.54	1	19.11	25
String 8	8	36000	37	531.54	1	21.43	25
String 9	8	36000	40	531.54	1	23.17	25
String 10	6	27000	46	531.54	1	19.98	25
String 11	6	27000	52	531.54	1	22.59	25
String 12	8	36000	59	531.54	1	34.17	35
String 13	8	36000	65	531.54	1	37.65	50
String 14	6	27000	72	531.54	1	31.28	35
String 15	6	27000	78	531.54	1	33.88	35
String 16	8	36000	85	531.54	1	49.23	50

9.1.3 Cálculo de la sección desde los inversores hasta el transformador

Para este tramo la caída de tensión máxima es del 1,5% según REBT. Para el cálculo de las secciones mínimas se usa la siguiente formula:

$$S = 100 * \frac{P * L}{\gamma * u\% * V^2}$$

- S es la sección mínima de la caída de tensión.
- P es la potencia nominal.
- L es la longitud del tramo en estudio.
- γ es la conductividad eléctrica del conductor.
- u% es la máxima caída de tensión del tramo de estudio.
- U es la tensión en condiciones normales.

Criterio por caída de tensión de los inversores a la red						
Inversor	Potencia	Longitud (m)	Tensión (V)	Caída de tensión (%)	Sección calculada (mm ²)	Sección elegida (mm ²)
Inversor 1	63000	22	400	1.5	16.40625	25
Inversor 2	63000	22	400	1.5	16.40625	25
Inversor 3	63000	22	400	1.5	16.40625	25
Inversor 4	63000	22	400	1.5	16.40625	25
Inversor 5	63000	22	400	1.5	16.40625	25
Inversor 6	63000	22	400	1.5	16.40625	25
Inversor 7	63000	22	400	1.5	16.40625	25
Inversor 8	63000	22	400	1.5	16.40625	25

Una vez tenemos las secciones mínimas vamos al catálogo y elegimos la sección inmediatamente superior.

9.2 Criterio térmico

Con el criterio de intensidad máxima tenemos en cuenta las intensidades que circulan por los cables y las intensidades máximas que soportan los conductores, estas deben ser inferiores a las que circularan, se tiene que tener en cuenta también el factor de corrección de agrupamiento de los cables.

Para sacar la intensidad que circulara por la línea usamos la siguiente formula:

$$I = 1,25 * \frac{P}{V}$$

- P es la potencia nominal.
- V es la tensión nominal.

Una vez tenemos la intensidad que circulara seleccionamos la sección adecuada teniendo en cuenta que debemos multiplicar su intensidad máxima soportada por el factor de corrección para así sacar la intensidad que soporta el cable en las condiciones que tenemos.

9.2.1 Cálculo de la sección desde las cadenas hasta las cajas Strings

La instalación será sobre bandeja perforada en horizontal instalación tipo E. La máxima agrupación de los circuitos serán 6, por tanto el factor de agrupamiento de los circuitos será 0,75.

Calculo sección por criterio térmico de los paneles a las cajas Strings									
Strings	Cadenas	Potencia (W)	Tensión (V)	Intensidad (A)	Sección (mm ²)	Imax (A)	Factor de corrección	Iz (A)	
String 1	Cadena 1	4500	531.54	10.58245852	1.5	23	0.75	17.25	
	Cadena 2	4500	531.54	10.58245852	1.5	23	0.75	17.25	
	Cadena 3	4500	531.54	10.58245852	1.5	23	0.75	17.25	
	Cadena 4	4500	531.54	10.58245852	1.5	23	0.75	17.25	
	Cadena 5	4500	531.54	10.58245852	1.5	23	0.75	17.25	
	Cadena 6	4500	531.54	10.58245852	1.5	23	0.75	17.25	
	Cadena 7	4500	531.54	10.58245852	1.5	23	0.75	17.25	
	Cadena 8	4500	531.54	10.58245852	1.5	23	0.75	17.25	
String 2	Cadena 9	4500	531.54	10.58245852	1.5	23	0.75	17.25	
	Cadena 10	4500	531.54	10.58245852	1.5	23	0.75	17.25	
	Cadena 11	4500	531.54	10.58245852	1.5	23	0.75	17.25	
	Cadena 12	4500	531.54	10.58245852	1.5	23	0.75	17.25	
	Cadena 13	4500	531.54	10.58245852	1.5	23	0.75	17.25	
	Cadena 14	4500	531.54	10.58245852	1.5	23	0.75	17.25	
String 3	Cadena 15	4500	531.54	10.58245852	1.5	23	0.75	17.25	
	Cadena 16	4500	531.54	10.58245852	1.5	23	0.75	17.25	
	Cadena 17	4500	531.54	10.58245852	1.5	23	0.75	17.25	
	Cadena 18	4500	531.54	10.58245852	1.5	23	0.75	17.25	
	Cadena 19	4500	531.54	10.58245852	1.5	23	0.75	17.25	
	Cadena 20	4500	531.54	10.58245852	1.5	23	0.75	17.25	

String 11	Cadena 71	4500	531.54	10.58245852	1.5	23	0.75	17.25
	Cadena 72	4500	531.54	10.58245852	1.5	23	0.75	17.25
	Cadena 73	4500	531.54	10.58245852	1.5	23	0.75	17.25
	Cadena 74	4500	531.54	10.58245852	1.5	23	0.75	17.25
	Cadena 75	4500	531.54	10.58245852	1.5	23	0.75	17.25
	Cadena 76	4500	531.54	10.58245852	1.5	23	0.75	17.25
String 12	Cadena 77	4500	531.54	10.58245852	1.5	23	0.75	17.25
	Cadena 78	4500	531.54	10.58245852	1.5	23	0.75	17.25
	Cadena 79	4500	531.54	10.58245852	1.5	23	0.75	17.25
	Cadena 80	4500	531.54	10.58245852	1.5	23	0.75	17.25
	Cadena 81	4500	531.54	10.58245852	1.5	23	0.75	17.25
	Cadena 82	4500	531.54	10.58245852	1.5	23	0.75	17.25
	Cadena 83	4500	531.54	10.58245852	1.5	23	0.75	17.25
	Cadena 84	4500	531.54	10.58245852	1.5	23	0.75	17.25
String 13	Cadena 85	4500	531.54	10.58245852	1.5	23	0.75	17.25
	Cadena 86	4500	531.54	10.58245852	1.5	23	0.75	17.25
	Cadena 87	4500	531.54	10.58245852	1.5	23	0.75	17.25
	Cadena 88	4500	531.54	10.58245852	1.5	23	0.75	17.25
	Cadena 89	4500	531.54	10.58245852	1.5	23	0.75	17.25
	Cadena 90	4500	531.54	10.58245852	1.5	23	0.75	17.25
	Cadena 91	4500	531.54	10.58245852	1.5	23	0.75	17.25
	Cadena 92	4500	531.54	10.58245852	1.5	23	0.75	17.25
String 14	Cadena 93	4500	531.54	10.58245852	1.5	23	0.75	17.25
	Cadena 94	4500	531.54	10.58245852	1.5	23	0.75	17.25
	Cadena 95	4500	531.54	10.58245852	1.5	23	0.75	17.25
	Cadena 96	4500	531.54	10.58245852	1.5	23	0.75	17.25
	Cadena 97	4500	531.54	10.58245852	1.5	23	0.75	17.25
	Cadena 98	4500	531.54	10.58245852	1.5	23	0.75	17.25
String 15	Cadena 99	4500	531.54	10.58245852	1.5	23	0.75	17.25
	Cadena 100	4500	531.54	10.58245852	1.5	23	0.75	17.25
	Cadena 101	4500	531.54	10.58245852	1.5	23	0.75	17.25
	Cadena 102	4500	531.54	10.58245852	1.5	23	0.75	17.25
	Cadena 103	4500	531.54	10.58245852	1.5	23	0.75	17.25
	Cadena 104	4500	531.54	10.58245852	1.5	23	0.75	17.25
String 16	Cadena 105	4500	531.54	10.58245852	1.5	23	0.75	17.25
	Cadena 106	4500	531.54	10.58245852	1.5	23	0.75	17.25
	Cadena 107	4500	531.54	10.58245852	1.5	23	0.75	17.25
	Cadena 108	4500	531.54	10.58245852	1.5	23	0.75	17.25
	Cadena 109	4500	531.54	10.58245852	1.5	23	0.75	17.25
	Cadena 110	4500	531.54	10.58245852	1.5	23	0.75	17.25
	Cadena 111	4500	531.54	10.58245852	1.5	23	0.75	17.25
	Cadena 112	4500	531.54	10.58245852	1.5	23	0.75	17.25

9.2.2 Cálculo de la sección desde las cajas Strings hasta los inversores

Este tramo será enterrado y para el cálculo de este tramo se tiene en cuenta varios coeficientes. Nos basaremos en los coeficientes de corrección que vienen dados por las especificaciones de la ITC-BT-07.

- Temperatura del terreno en 25°C.
- Resistividad térmica del terreno 1 km/W.
- Profundidad de soterramiento 0.7 m.

Los conductores irán dentro de tubos protectores que irán en contacto. Con lo que el factor de corrección que obtenemos es de 0.6.

Calculo sección por criterio térmico de las cajas strings a los inversores								
Strings	Cadenas	Potencia (W)	Tensión máxima(V)	Intensidad (A)	Sección (mm ²)	Imax (A)	Factor de corrección	lz (A)
String 1	8	36000	733.14	61.37981832	35	122	0.6	73
String 2	6	27000	733.14	46.03486374	25	101	0.6	61
String 3	6	27000	733.14	46.03486374	25	101	0.6	61
String 4	8	36000	733.14	61.37981832	35	122	0.6	73
String 5	8	36000	733.14	61.37981832	35	122	0.6	73
String 6	6	27000	733.14	46.03486374	25	101	0.6	61
String 7	6	27000	733.14	46.03486374	25	101	0.6	61
String 8	8	36000	733.14	61.37981832	35	122	0.6	73
String 9	8	36000	733.14	61.37981832	35	122	0.6	73
String 10	6	27000	733.14	46.03486374	25	101	0.6	61
String 11	6	27000	733.14	46.03486374	25	101	0.6	61
String 12	8	36000	733.14	61.37981832	35	122	0.6	73
String 13	8	36000	733.14	61.37981832	35	122	0.6	73
String 14	6	27000	733.14	46.03486374	25	101	0.6	61
String 15	6	27000	733.14	46.03486374	25	101	0.6	61
String 16	8	36000	733.14	61.37981832	35	122	0.6	73

9.2.3 Cálculo de la sección desde los inversores hasta el transformador

Este tramo al igual que el anterior será enterrado y utilizaremos las especificaciones que nos da la ITC-BT-07.

Dado que hay menos cables pondremos una separación entre los tubos de 0.25 m. Por lo que obtenemos un factor de corrección de 0.8 para este tramo.

Para sacar la intensidad que circulara por la línea usamos la siguiente formula:

$$I = 1,25 * \frac{P}{\sqrt{3} * V}$$

- P es la potencia nominal.
- V es la tención nominal.

Calculo sección por criterio térmico de los inversores a la red							
Inversor	Potencia (W)	Tensión máxima(V)	Intensidad (A)	Sección (mm ²)	Imax (A)	Factor de corrección	Iz (A)
Inversor 1	63000	400	113.7	50	144	0.8	115.2
Inversor 2	63000	400	113.7	50	144	0.8	115.2
Inversor 3	63000	400	113.7	50	144	0.8	115.2
Inversor 4	63000	400	113.7	50	144	0.8	115.2
Inversor 5	63000	400	113.7	50	144	0.8	115.2
Inversor 6	63000	400	113.7	50	144	0.8	115.2
Inversor 7	63000	400	113.7	50	144	0.8	115.2
Inversor 8	63000	400	113.7	50	144	0.8	115.2

9.3 Calculo de Intensidades de cortocircuito

9.3.1 Intensidades de cortocircuito en CA

La intensidad de cortocircuito en corriente alterna nos la da la empresa de distribución en este caso es Iberdrola, que nos dice que será de 12 kA.

La intensidad mínima de cortocircuito calculada será la tensión entre la impedancia de línea.

Icc min. Caja proteccion			
Z equi.	Zl	Zt	Icc min. (A)
0.019166667	0.01	0.02916667	7885.71429

9.3.2 Intensidades de cortocircuito en CC

Para el cálculo de las intensidades de cortocircuito que llegan a las cajas strings debemos saber las intensidades de cortocircuito de los módulos fotovoltaicos y la cantidad de cadenas que le llegan a cada caja string.

Numero de cadenas por caja string			
String	Numero de cadenas	Icc Generador (A)	Icc String (A)
String 1	8	8.91	71.28
String 2	6	8.91	53.46
String 3	6	8.91	53.46
String 4	8	8.91	71.28
String 5	8	8.91	71.28
String 6	6	8.91	53.46
String 7	6	8.91	53.46
String 8	8	8.91	71.28
String 9	8	8.91	71.28
String 10	6	8.91	53.46
String 11	6	8.91	53.46
String 12	8	8.91	71.28
String 13	8	8.91	71.28
String 14	6	8.91	53.46
String 15	6	8.91	53.46
String 16	8	8.91	71.28

Una vez sabemos las intensidades de cada caja string podemos saber la intensidad de cortocircuito que le llegaran al inversor y con la intensidad máxima del inversor que nos la da el fabricante. Debemos comprobar que la intensidad máxima de cortocircuito no supere la máxima soportada por el inversor:

Icc Inversor		
Icc soporta Inversor (A)	182	Cumple
Icc max Inversor (A)	124.74	

9.4 Cálculo de las protecciones

La instalación cuenta con protecciones que debemos calcular, en el lado de corriente continua debemos calcular el calibre de los fusibles que se ubicaran en las cajas strings, en el lado de corriente alterna debemos calcular los magnetotérmicos y los diferenciales que se ubicaran en la caja general de protección.

9.4.1 Fusibles

Los fusibles protegerán las dos líneas de corriente continua. Se coloca un fusible por cadena para proteger la línea que va de los paneles a la caja string, y un fusible para proteger la línea que va de la caja string al inversor.

Calibre de los fusibles para cada una de las cadenas:

Fusibles por cadena					
Strings	Cadenas	I _b (A)	I _n (A)	I _z (A)	P.Corte (kA)
String 1	Cadena 1	10.5824585	16	69.75	20
	Cadena 2	10.5824585	16	50.25	20
	Cadena 3	10.5824585	16	39	20
	Cadena 4	10.5824585	16	39	20
	Cadena 5	10.5824585	16	69.75	20
	Cadena 6	10.5824585	16	50.25	20
	Cadena 7	10.5824585	16	39	20
	Cadena 8	10.5824585	16	39	20
String 2	Cadena 9	10.5824585	16	69.75	20
	Cadena 10	10.5824585	16	50.25	20
	Cadena 11	10.5824585	16	39	20
	Cadena 12	10.5824585	16	69.75	20
	Cadena 13	10.5824585	16	50.25	20
	Cadena 14	10.5824585	16	39	20
String 3	Cadena 15	10.5824585	16	69.75	20
	Cadena 16	10.5824585	16	50.25	20
	Cadena 17	10.5824585	16	39	20
	Cadena 18	10.5824585	16	69.75	20
	Cadena 19	10.5824585	16	50.25	20
	Cadena 20	10.5824585	16	39	20
String 4	Cadena 21	10.5824585	16	69.75	20
	Cadena 22	10.5824585	16	50.25	20
	Cadena 23	10.5824585	16	39	20
	Cadena 24	10.5824585	16	39	20
	Cadena 25	10.5824585	16	69.75	20
	Cadena 26	10.5824585	16	50.25	20
	Cadena 27	10.5824585	16	39	20
	Cadena 28	10.5824585	16	39	20

String 5	Cadena 29	10.5824585	16	69.75	20
	Cadena 30	10.5824585	16	50.25	20
	Cadena 31	10.5824585	16	39	20
	Cadena 32	10.5824585	16	39	20
	Cadena 33	10.5824585	16	69.75	20
	Cadena 34	10.5824585	16	50.25	20
	Cadena 35	10.5824585	16	39	20
	Cadena 36	10.5824585	16	39	20
String 6	Cadena 37	10.5824585	16	69.75	20
	Cadena 38	10.5824585	16	50.25	20
	Cadena 39	10.5824585	16	39	20
	Cadena 40	10.5824585	16	69.75	20
	Cadena 41	10.5824585	16	50.25	20
	Cadena 42	10.5824585	16	39	20
String 7	Cadena 43	10.5824585	16	69.75	20
	Cadena 44	10.5824585	16	50.25	20
	Cadena 45	10.5824585	16	39	20
	Cadena 46	10.5824585	16	69.75	20
	Cadena 47	10.5824585	16	50.25	20
	Cadena 48	10.5824585	16	39	20
String 8	Cadena 49	10.5824585	16	69.75	20
	Cadena 50	10.5824585	16	50.25	20
	Cadena 51	10.5824585	16	39	20
	Cadena 52	10.5824585	16	39	20
	Cadena 53	10.5824585	16	69.75	20
	Cadena 54	10.5824585	16	50.25	20
	Cadena 55	10.5824585	16	39	20
	Cadena 56	10.5824585	16	39	20
String 9	Cadena 57	10.5824585	16	69.75	20
	Cadena 58	10.5824585	16	50.25	20
	Cadena 59	10.5824585	16	39	20
	Cadena 60	10.5824585	16	39	20
	Cadena 61	10.5824585	16	69.75	20
	Cadena 62	10.5824585	16	50.25	20
	Cadena 63	10.5824585	16	39	20
	Cadena 64	10.5824585	16	39	20

String 10	Cadena 65	10.5824585	16	69.75	20
	Cadena 66	10.5824585	16	50.25	20
	Cadena 67	10.5824585	16	39	20
	Cadena 68	10.5824585	16	69.75	20
	Cadena 69	10.5824585	16	50.25	20
	Cadena 70	10.5824585	16	39	20
String 11	Cadena 71	10.5824585	16	69.75	20
	Cadena 72	10.5824585	16	50.25	20
	Cadena 73	10.5824585	16	39	20
	Cadena 74	10.5824585	16	69.75	20
	Cadena 75	10.5824585	16	50.25	20
	Cadena 76	10.5824585	16	39	20
String 12	Cadena 77	10.5824585	16	69.75	20
	Cadena 78	10.5824585	16	50.25	20
	Cadena 79	10.5824585	16	39	20
	Cadena 80	10.5824585	16	39	20
	Cadena 81	10.5824585	16	69.75	20
	Cadena 82	10.5824585	16	50.25	20
	Cadena 83	10.5824585	16	39	20
Cadena 84	10.5824585	16	39	20	
String 13	Cadena 85	10.5824585	16	69.75	20
	Cadena 86	10.5824585	16	50.25	20
	Cadena 87	10.5824585	16	39	20
	Cadena 88	10.5824585	16	39	20
	Cadena 89	10.5824585	16	69.75	20
	Cadena 90	10.5824585	16	50.25	20
	Cadena 91	10.5824585	16	39	20
	Cadena 92	10.5824585	16	39	20
String 14	Cadena 93	10.5824585	16	39	20
	Cadena 94	10.5824585	16	39	20
	Cadena 95	10.5824585	16	69.75	20
	Cadena 96	10.5824585	16	50.25	20
	Cadena 97	10.5824585	16	39	20
	Cadena 98	10.5824585	16	39	20

String 15	Cadena 99	10.5824585	16	39	20
	Cadena 100	10.5824585	16	39	20
	Cadena 101	10.5824585	16	69.75	20
	Cadena 102	10.5824585	16	50.25	20
	Cadena 103	10.5824585	16	39	20
	Cadena 104	10.5824585	16	39	20
String 16	Cadena 105	10.5824585	16	69.75	20
	Cadena 106	10.5824585	16	50.25	20
	Cadena 107	10.5824585	16	39	20
	Cadena 108	10.5824585	16	39	20
	Cadena 109	10.5824585	16	69.75	20
	Cadena 110	10.5824585	16	50.25	20
	Cadena 111	10.5824585	16	39	20
	Cadena 112	10.5824585	16	39	20

Calibre de los fusibles de protección del tramo de la caja string al inversor:

Fusibles por caja String					
Strings	Cadenas	Ib (A)	In (A)	Iz (A)	P.Corte (kA)
String 1	8	61.3798183	63	86	20
String 2	6	46.0348637	63	73	20
String 3	6	46.0348637	63	73	20
String 4	8	61.3798183	63	86	20
String 5	8	61.3798183	63	73	20
String 6	6	46.0348637	50	61	20
String 7	6	46.0348637	50	61	20
String 8	8	61.3798183	63	73	20
String 9	8	61.3798183	63	73	20
String 10	6	46.0348637	50	61	20
String 11	6	46.0348637	50	61	20
String 12	8	61.3798183	63	73	20
String 13	8	61.3798183	63	86	20
String 14	6	46.0348637	63	73	20
String 15	6	46.0348637	63	73	20
String 16	8	61.3798183	63	86	20

9.4.2 Interruptor magnetotérmico

Los interruptores magnetotérmicos se encargan de proteger la línea que va desde los inversores hasta el transformador.

Los interruptores se colocan dentro de la caja general de protección y su elección dependerá de la intensidad que circulara por el circuito y la intensidad máxima que soporta el conductor.

Magnetotermico por inversor						
Inversor	Ib (A)	In (A)	Iz (A)	P.Corte (KA)	Seccion eleg. (mm2)	Nº Polos
Inversor 1	113.7	125	144	15	50	3P+N
Inversor 2	113.7	125	144	15	50	3P+N
Inversor 3	113.7	125	144	15	50	3P+N
Inversor 4	113.7	125	144	15	50	3P+N
Inversor 5	113.7	125	144	15	50	3P+N
Inversor 6	113.7	125	144	15	50	3P+N
Inversor 7	113.7	125	144	15	50	3P+N
Inversor 8	113.7	125	144	15	50	3P+N

9.4.3 Interruptor diferencial

Para asegurar que el circuito tenga protección frente fallos a tierra instalamos interruptores diferenciales en cada una de las líneas de los inversores.

En la siguiente tabla se define cada uno de los diferenciales:

Diferencial		
Inversor	In dif (A)	Sensibilidad (mA)
Inversor 1	125	30
Inversor 2	125	30
Inversor 3	125	30
Inversor 4	125	30
Inversor 5	125	30
Inversor 6	125	30
Inversor 7	125	30
Inversor 8	125	30

9.4.4 Tierra

En el cálculo de la tierra debemos saber el tipo de suelo que tenemos, que en nuestro caso el suelo es de tierra caliza compacta cuya resistividad va de 1000 a 5000 $\Omega \cdot m$ nosotros cogemos un valor intermedio de 2500 $\Omega \cdot m$.

Lo primero que se debe calcular es la impedancia máxima de la tierra para que las masas de la instalación estén protegidas por la sensibilidad del diferencial, la fórmula es la siguiente:

$$R < \frac{V_s}{I_s}$$

La tensión V_s cogemos el caso más desfavorable que nos dice la normativa que será de 24 V en caso de locales húmedos. Con esto obtenemos resistencia máxima de 800 Ω .

Ahora debemos saber si es necesario colocar picas o por lo contrario con colocar un conductor desnudo de 35 mm² es suficiente, por tanto debemos calcular la resistencia de tierra. En caso que la resistencia de tierra sea mayor que la resistencia máxima de tierra deberemos poner picas.

La fórmula para el cálculo de la resistencia de tierra con conductor desnudo enterrado horizontalmente es la siguiente:

$$R = 2 * \frac{\rho}{L}$$

Los resultados se muestran en la siguiente tabla:

Tierra				
L (m)	ρ tierra	R tierras	R max tierr.	Picas
85	2500	58.8235294	800	No

10. Obra civil

Dentro de la obra civil se incorpora todas las obras y zanjas que se deben realizar en nuestra planta solar fotovoltaica para su condicionamiento.

10.1 Adecuación del terreno

Para poder instalar nuestra planta solar primero debemos adecuar el terreno que vamos a utilizar aplicando primero las labores de desbroce de la hierba. Una vez el terreno esta desbrozado se procede a nivelar el terreno para evitar que allá grandes desniveles en pequeños tramos.

10.2 Canalizaciones

Dado que los cables deben recorrer una distancia que va desde las cajas strings hasta los inversores y de los inversores hasta los contadores estos deberán ir enterrados. Los tubos protectores deberán enterrarse dejando una profundidad de 0.7 m de distancia entre la parte superior del tubo y el pavimento del parque.

Dado que la canalización no será toda recta si no que habrá una curva de 90° se debe poner una arqueta de 60x120 cm la cual va ubicada en el punto de cambio de dirección.

Habrà dos tipos de canalizaciones en la primera canalización que corresponde al tramo entre las cajas strings y los inversores, los tubos en este tramo irán en contacto unos con otros. En el segundo tramo el cual va desde los inversores hasta los contadores habrá una separación de 0.25 m entre tubos.

10.3 Límites de la parcela

Para evitar la entrada de personal no autorizada se vallara el perímetro de la instalación fotovoltaica. Al colocar las vallas dejaremos una distancia óptima de 3 m entre los paneles y la valla para que puedan circular vehículos autorizados en nuestra instalación.

10.4 Edificaciones

En nuestra instalación se construirán tres casetas. La primera es para albergar los inversores de nuestra instalación, la segunda es para albergar los contadores y la tercera es para la colocación del transformador.

11. Montaje de la instalación

11.1 Almacenamiento del material

Lo primero para realizar el montaje de la instalación es recibir el material necesario para el montaje de la misma. Para recibir el material es necesario disponer de un casetas donde poder alojar el material que no deban estar en intemperie, bien porque se puedan estropear o porque exista peligro de robo.

También debemos realizar inventario del material recibido y comprobar el estado en el que nos llega.

11.2 Montaje del campo solar

Antes de empezar a montar los paneles se comprueban para asegurarse de su correcto funcionamiento. También se deben calcular las intensidades y las tenciones de cada uno de los módulos para poder clasificarlos para en el posterior montaje juntar los paneles con características similares.

Mientras unos operarios comprueban los paneles otro grupo de operarios monta las estructuras que soportan los paneles.

Una vez el campo solar está montado se procede al conexionado eléctrico de los módulos, así como la puesta a tierra de los módulos y de las estructuras de soporte.

Al mismo tiempo los obreros construirán los locales para albergar los componentes eléctricos.

También se realizan las zanjas mediante maquinaria específicas para ello.

Una vez se termina de montar los paneles y las zanjas están terminadas se pasa al montaje de los inversores, los contadores y el transformador. Lo último que nos falta es colocar las canalizaciones de los conductores para dejar para el último paso la conexión de los diferentes sistemas eléctricos.

12. Prueba de funcionamiento

Una vez esta todo montado se debe realizar pruebas para ver que todo funciona correctamente las pruebas las realizaran la empresa eléctrica de distribución y la administración pública competente. Una vez se verifica que todo funciona correctamente se comprueban los voltajes y las intensidades de los diferentes puntos del sistema. También se comprueban las tomas de tierra del sistema.

Antes de la puesta en marcha se realizan unas pruebas a los elementos principales de la instalación (módulos fotovoltaicos, inversores, contadores), las pruebas que debe realizar un instalador serán las siguientes:

- Prueba de arranque y parada en distintos instantes de funcionamiento.
- Prueba de los elementos de medida y protección, comprobando la seguridad y el funcionamiento de las alarmas.
- Determinación de la potencia de la instalación.

Una vez concluidas todas las pruebas se pasa a la puesta en marcha de la instalación la cual entrará en una fase de Recepción Provisional de la instalación. En esta fase la instalación debe suministrar energía correctamente durante un mínimo de 240 horas seguidas, sin tener interrupciones ni paradas causadas por fallos o errores del sistema suministrador.

Aparte debe cumplir una serie de requisitos:

- Entregar toda la documentación requerida
- Retirar todo el material sobrante de la obra

Una vez pasadas las 240 horas sin ningún fallo se firmará el Acta de Recepción Provisional.

13. Mantenimiento

En este apartado se define las condiciones mínimas que se deben seguir para el mantenimiento de la instalación solar fotovoltaica. El mantenimiento se divide en dos partes:

- Mantenimiento preventivo
- Mantenimiento correctivo

13.1 Mantenimiento preventivo

En el mantenimiento preventivo se realizan inspecciones visuales y se verifican las actuaciones de los dispositivos las cuales nos dicen si están dentro de los límites aceptables y del correcto funcionamiento.

Este mantenimiento debe incluir una visita semestral a la instalación para realizar un informe técnico donde en cada visita se pondrán todos los controles y verificaciones realizados y si ha habido alguna incidencia.

En la inspección visual de los paneles tiene como objetivo detectar los fallos los cuales pueden ser:

- Posibles roturas del cristal.
- Oxidaciones de los circuitos y soldaduras de las células fotovoltaicas.
- El estado de las estructuras de soporte de los paneles frente a la corrosión.
- Revisar que no existan sombras en nuestro campo solar producida por la creciente vegetación de los alrededores.

Los paneles no necesitan un gran mantenimiento basta con limpiarlos para eliminar la suciedad acumulada en la cubierta transparente, así evitamos que la suciedad produzca el efecto de inversión que es producido por las sombras.

El mantenimiento de los inversores se reduce a una serie de operaciones ya que las averías en ellos son poco frecuentes, las operaciones son las siguientes:

- Se observa el estado del equipo y su funcionamiento. La observación visual permite detectar si su funcionamiento es el correcto ya que el inversor cuenta con avisadores y luces que nos avisan de si su funcionamiento es el adecuado.
- También se debe comprobar las posibles corrosiones y aprietes de las conexiones.

Por tanto en cada revisión semestral se harán las siguientes comprobaciones:

- Comprobación visual de los generadores fotovoltaicos.
- Comprobación de las conexiones de la instalación.
- Comprobación de los inversores.
- Comprobación de las protecciones de la instalación.
- Pruebas de arranque y paradas en distintos momentos de funcionamiento.
- Comprobación de la potencia instalada e inyectada a la red.
- Comprobación del sistema de monitorización.
- Medir la resistencia a tierra, comprobando que la puesta a tierra funciona correctamente.

El mantenimiento debe realizarse por personal técnico cualificado bajo la responsabilidad de la empresa suministradora.

13.2 Mantenimiento correctivo

El mantenimiento correctivo consiste en cambiar los aparatos que se han dañado por otros nuevos, así nos aseguramos que el sistema funciona correctamente durante el resto de su vida útil.

Este mantenimiento debe realizarlo un técnico cualificado el cual llevará a cabo las operaciones de sustitución o de reparación. Esta visita solo se lleva a cabo cuando existe una incidencia en la instalación.

14. Estudio económico

14.1 Presupuesto

Mediante la realización del presupuesto obtenemos los gastos de la instalación.

El presupuesto esta desglosado en distintas tablas para así poder detallar mejor los gastos de todos los tipos de componentes. Estas tablas incorporan la suma de los precios totales de todos los componentes detallados en ellas.

La siguiente tabla muestra el tipo de cable que usaremos, la longitud del cable necesaria, el precio por metro del cable, el precio total de cada uno de los cables y el precio total de los cables.

Cableado				
Referencia	Sección (mm ²)	Longitud (m)	Precio por metro (€)	Precio total (€)
PV ZZ-F	4	928	1.00	930
	6	1184	1.38	1634
	10	1792	2.14	3828
POWERFLEX RV-K	25	192	2.52	484
	35	486	3.42	1662
	50	470	3.62	1703
				10241

La tabla de los tubos muestra la sección de tubo necesaria y sus precios.

Tubos				
Tipo	Sección (mm ²)	Longitud (m)	Precio por metro (€)	Precio total(€)
Tubo Rígido Blindado	32	192	2.286	439
	40	486	3.162	1537
	63	470	4.266	2005
				3981

La siguiente tabla es la de las protecciones la cual muestra el tipo de protección con su respectivo calibre. En la tabla también se puede ver las unidades necesarias con sus precios.

Protecciones				
Tipo	Calibre (A)	Cantidad (Ud.)	Precio unidad (€)	Precio total (€)
Fusibles	16	112	3.678	412
Fusibles	50	4	10.164	41
Fusibles	63	12	10.242	123
Int.Magnetotérmico	125	8	207.234	1658
Int.Diferencial	125	8	221.976	1776
				4009

La siguiente tabla es la de la obra civil la cual está compuesta por los tres tipos de obras necesarias en la instalación. La tabla incorpora la cantidad de metros o de edificaciones necesarias con sus respectivos precios. El precio total es una estimación aproximada, dado que a la hora de realizar las zanjas en el terreno se pueden encontrar problemas que compliquen la excavación del terreno.

Obra civil			
Tipo	Cantidad (Ud.-m)	Precio unidad (€)	Precio total (€)
Zanja	174	140	24360
Arqueta	1	20	20
Edificaciones	3	X	4000
Vallado	406	15	6090
			34470

La siguiente tabla es la del presupuesto la cual incorpora los gastos de las anteriores tablas más algunos componentes de la instalación que no han sido necesarios detallar.

Presupuesto			
Material	Cantidad (Ud.)	Precio unidad (€)	Precio total (€)
Estructura Soporte de los Paneles	56	846	47376
Panel Solar	2016	125	252000
Caja String	16	234	3744
Cableado	X	X	10241
Anillo de tierra	400	4.8	1920
Inversor	8	10201	81608
Tubos	X	X	3981
Protecciones	X	X	4009
Transformador	1	14000	14000
Obra civil	X	X	34470
Mano de obra	x	x	64000
			517349

14.2 Balance económico

Para obtener el tiempo que tardaremos en amortizar la instalación debemos sacar los beneficios que nos aportara la instalación a partir de la energía que produce, la cual se vende a la empresa suministradora.

Para poder estimar los beneficios obtenidos por nuestra instalación durante su vida útil debemos tener en cuenta los siguientes puntos:

- Potencia de la instalación.
- Radiación media anual.
- Energía producida en un año.
- Precio de venta de la energía.
- Eficiencia de la instalación.
- Perdida de rendimiento de los paneles solares.

El primer paso es sacar la energía producida en cada uno de los años de vida útil de la instalación.

Para ello debemos tener claro que los módulos fotovoltaicos tienen un rendimiento que con el paso de los años va disminuyendo hasta un punto del 80% en el último año. Este descenso de rendimiento se estipula que aparece a partir del quinto año, y este descenso del rendimiento no sigue ninguna norma por tanto e establecido un descenso de un 1% cada dos años durante los diez años siguientes. Y a partir de esa fecha el descenso es del 1% cada año.

La siguiente tabla muestra la energía producida cada uno de los años.

Año	Potencia de la instalación (kW)	Radiación media anual (kWh)	Eficiencia de la instalación	Rendimiento de los paneles (%)	Energía producida (MWh)
1	504	1510	0.8	100	608.832
2	504	1510	0.8	100	608.832
3	504	1510	0.8	100	608.832
4	504	1510	0.8	100	608.832
5	504	1510	0.8	100	608.832
6	504	1510	0.8	99	602.744
7	504	1510	0.8	99	602.744
8	504	1510	0.8	98	596.655
9	504	1510	0.8	98	596.655
10	504	1510	0.8	97	590.567
11	504	1510	0.8	97	590.567
12	504	1510	0.8	96	584.479
13	504	1510	0.8	96	584.479
14	504	1510	0.8	95	578.390
15	504	1510	0.8	95	578.390
16	504	1510	0.8	94	572.302
17	504	1510	0.8	93	566.214
18	504	1510	0.8	92	560.125
19	504	1510	0.8	91	554.037
20	504	1510	0.8	90	547.949
21	504	1510	0.8	89	541.860
22	504	1510	0.8	88	535.772
23	504	1510	0.8	87	529.684
24	504	1510	0.8	86	523.596
25	504	1510	0.8	85	517.507
26	504	1510	0.8	84	511.419
27	504	1510	0.8	83	505.331
28	504	1510	0.8	82	499.242
29	504	1510	0.8	81	493.154
30	504	1510	0.8	80	487.066

Una vez tenemos la energía que producirá la instalación solo nos queda multiplicarla por el precio de venta de la energía. Pero este valor cambia cada día por tanto no se puede realizar una estimación exacta de los beneficios que nos proporcionara. Pero mediante la página web de OMIE podemos saber la media mensual del precio de venta de energía.

La siguiente tabla muestra los beneficios obtenidos cada uno de los años, también muestra el balance de beneficios de la instalación.

Año	Energía producida (MWh)	Precio de venta mWh (€)	Beneficios de la venta (€)	Balance de beneficios (€)
1	608.832	50.94	31014	-486335
2	608.832	50.94	31014	-455321
3	608.832	50.94	31014	-424307
4	608.832	50.94	31014	-393293
5	608.832	50.94	31014	-362279
6	602.744	50.94	30704	-331575
7	602.744	50.94	30704	-300872
8	596.655	50.94	30394	-270478
9	596.655	50.94	30394	-240084
10	590.567	50.94	30083	-210001
11	590.567	50.94	30083	-179917
12	584.479	50.94	29773	-150144
13	584.479	50.94	29773	-120371
14	578.390	50.94	29463	-90907
15	578.390	50.94	29463	-61444
16	572.302	50.94	29153	-32291
17	566.214	50.94	28843	-3448
18	560.125	50.94	28533	25085
19	554.037	50.94	28223	53307
20	547.949	50.94	27913	81220
21	541.860	50.94	27602	108822
22	535.772	50.94	27292	136114
23	529.684	50.94	26982	163096
24	523.596	50.94	26672	189768
25	517.507	50.94	26362	216130
26	511.419	50.94	26052	242182
27	505.331	50.94	25742	267923
28	499.242	50.94	25431	293355
29	493.154	50.94	25121	318476
30	487.066	50.94	24811	343287

La instalación tiene un tiempo alto de amortización (18 años), por lo que este proyecto empieza a dar beneficios cuando ya ha pasado la mitad de la vida útil de la instalación.

15. Bibliografía

- Cuaderno de aplicaciones técnicas nº10 Plantas Fotovoltaicas (cuaderno ABB).
- Apuntes de Instalaciones Eléctricas de Energías Renovables.
- Apuntes Sistemas Electrónicos para Energías Renovables.
- Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión.
- Apuntes de Instalaciones Eléctricas de Baja Tensión.
- Página web de componentes AutoSolar.
- Página web de protecciones Wccsolar.
- Página web de OMIE.

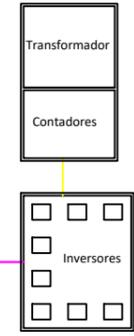
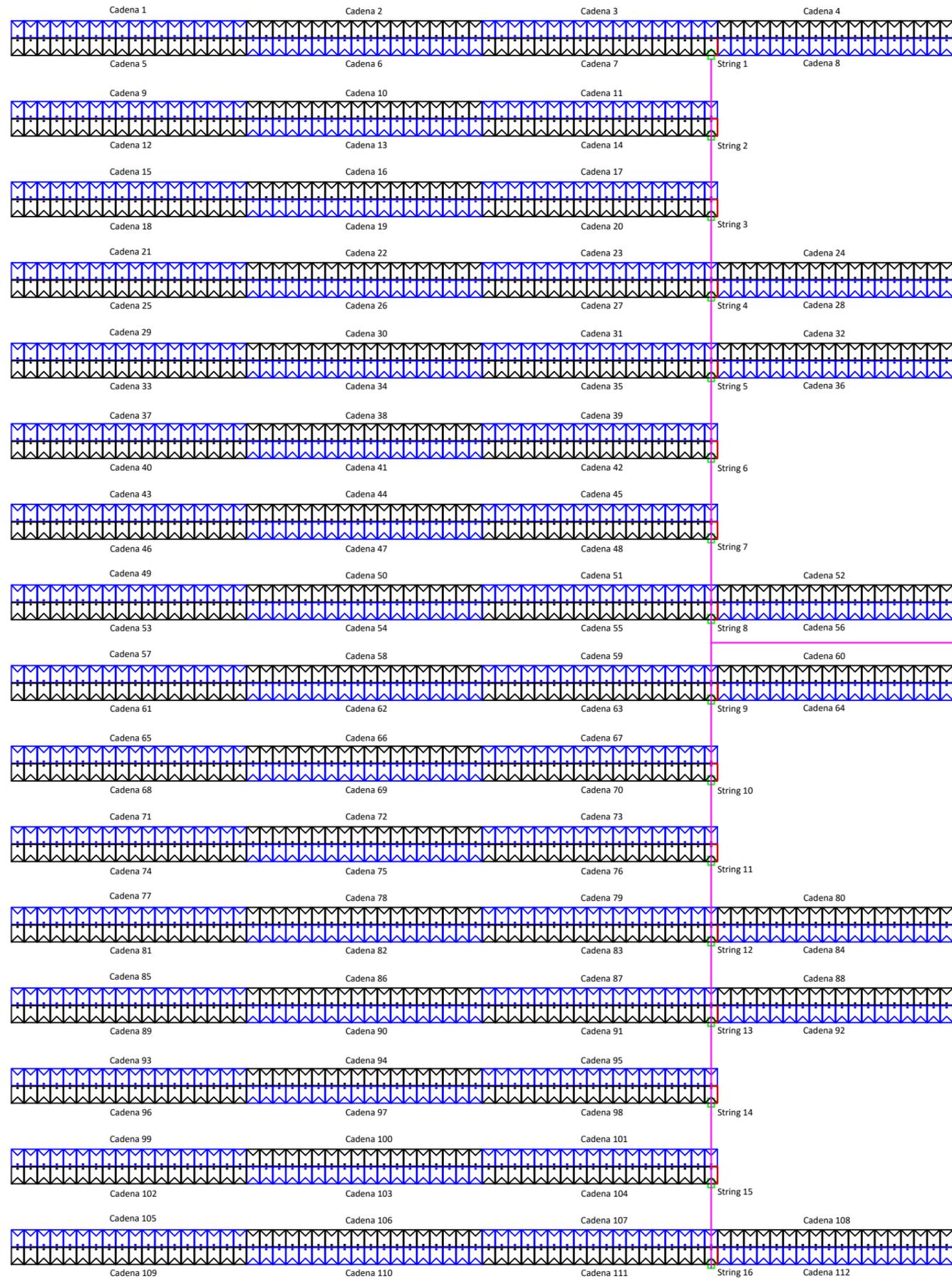
16. Planos

En este último punto se ubican los diferentes planos necesarios para nuestra instalación.

- Plano 1: Distribución de los paneles, cajas strings, inversores, contadores y transformador.
- Plano 2: Ubicación de las zanjas y canalizaciones.
- Plano 3: Conexión de los paneles.
- Plano 4: Dimensiones de las zanjas.
- Plano 5: Esquema unifilar de la instalación fotovoltaica.



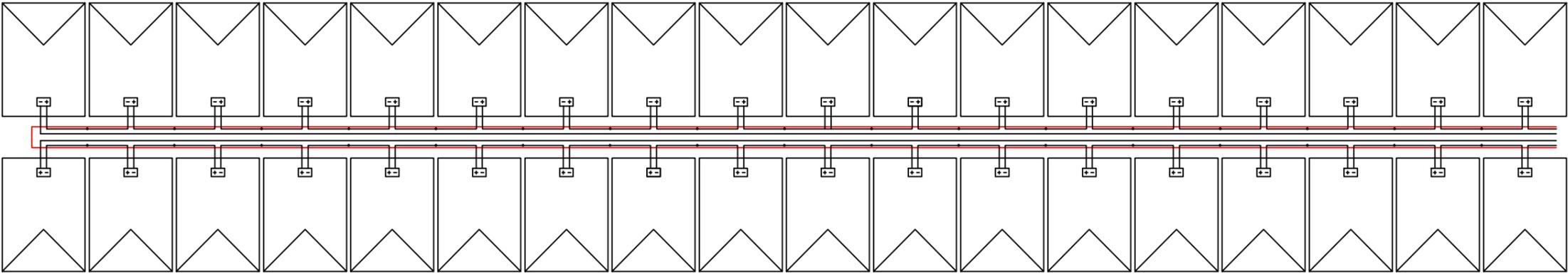
07/9/2018	Dibujado	Vicent Donet Chaveli		Universidad Politécnica de Valencia
Escala: 1:400	Plano 1: Distribución de los paneles, cajas strings, inversores, contadores y transformador.			Página: 45 Curso: 4 Ingeniería Eléctrica



LEYENDA	
	Bandeja perforada
	Zanja tipo 1
	Zanja tipo 2

07/9/2018	Dibujado	Vicent Donet Chaveli		Universidad Politécnica de Valencia
Escala: 1:400	Plano 2: Ubicacion de las zanjas y canalizaciones			Página: 46
				Curso: 4 Ingeniería Eléctrica

Cadena 1

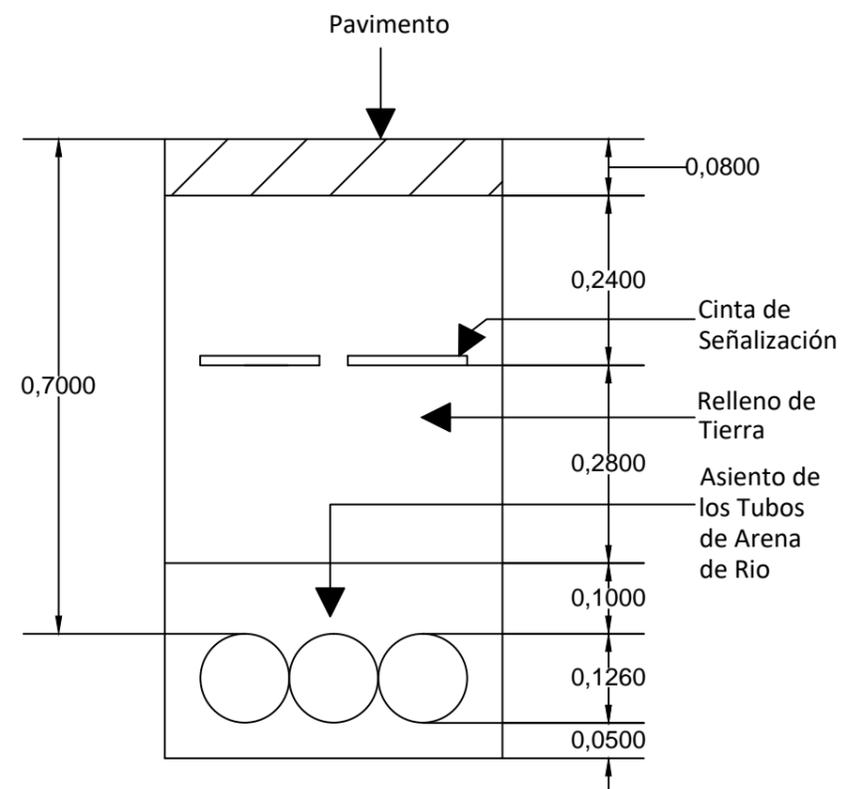


Cadena 5

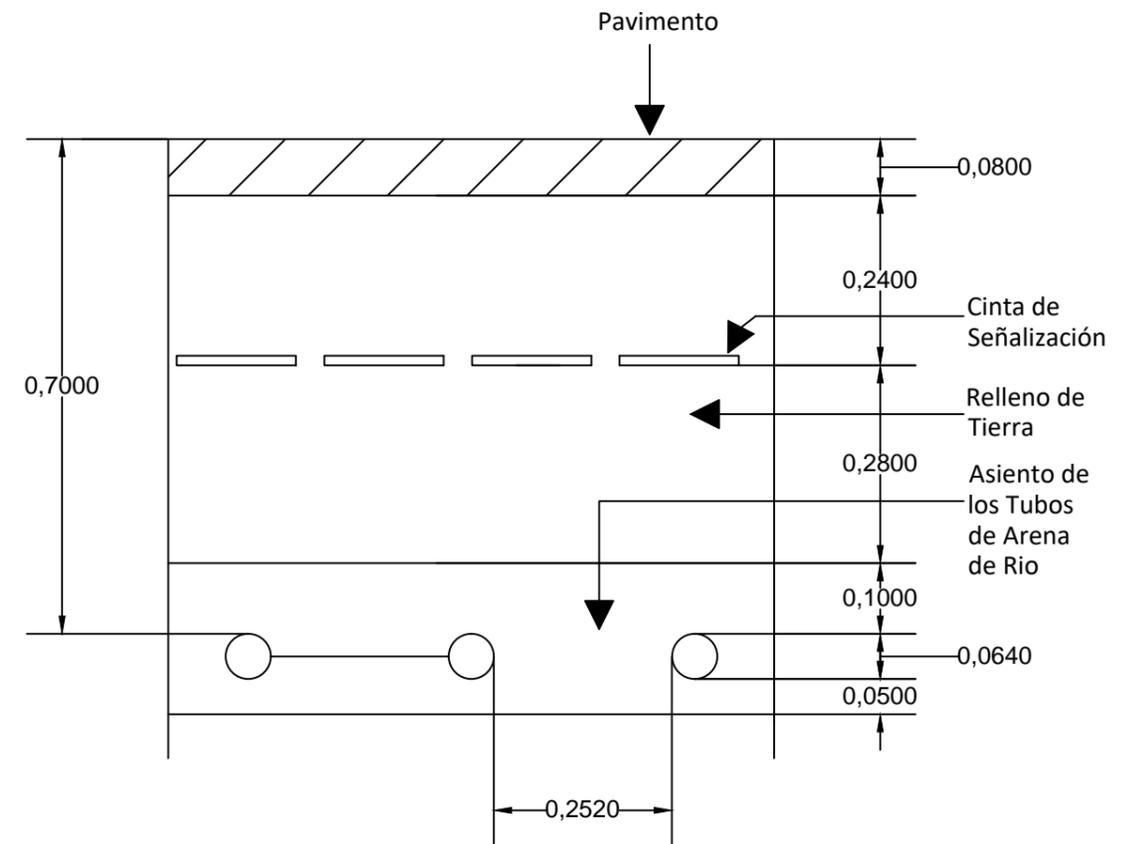
LEYENDA
 Bandeja perforada

07/9/2018	Dibujado	Vicent Donet Chaveli		Universidad Politécnica de Valencia
Escala: 1:60	Plano 3: Conexión de los paneles			Página: 47
				Curso: 4 Ingeniería Eléctrica

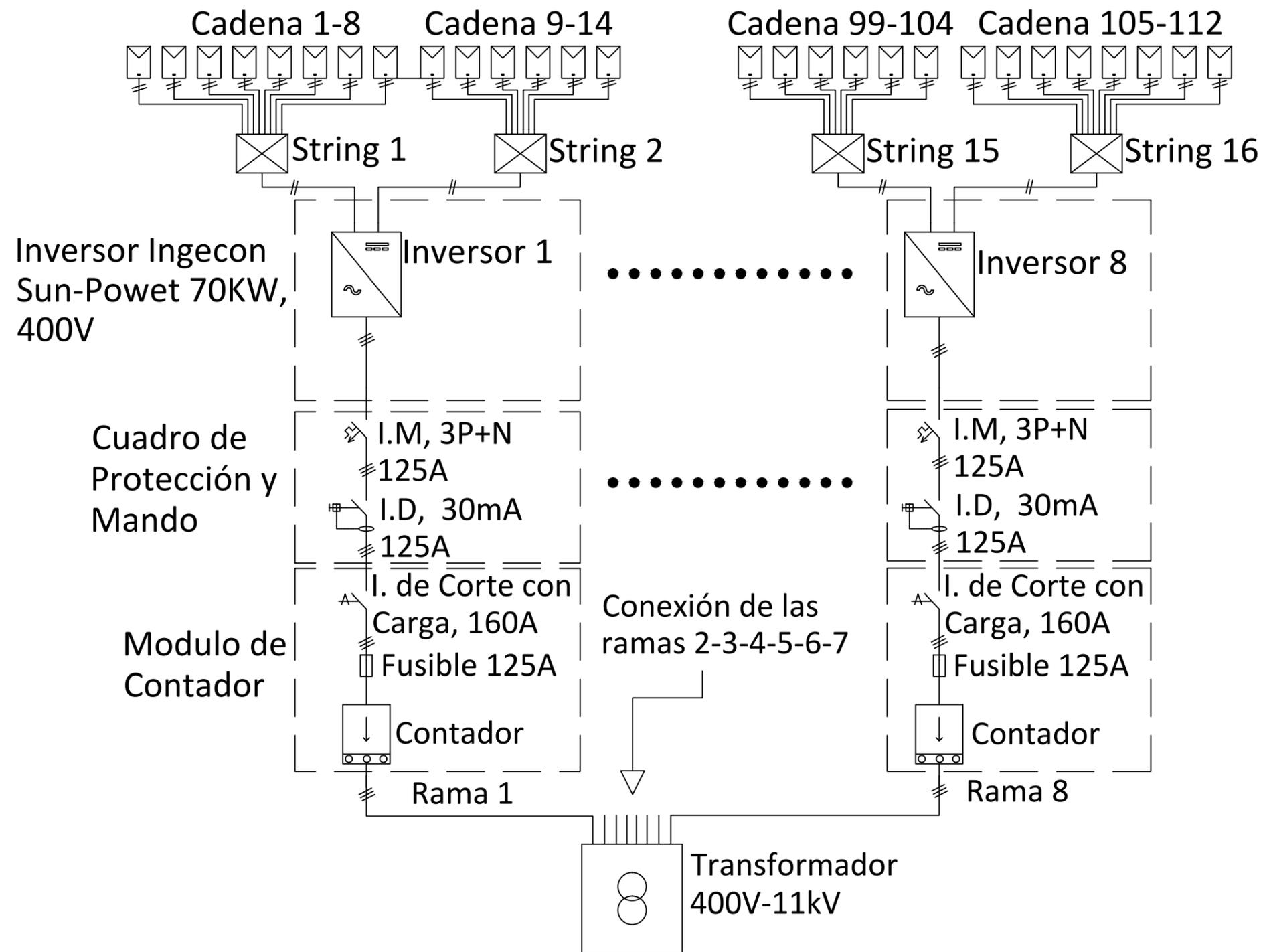
Zanja Tipo 1



Zanja Tipo 2



09/10/2018	Dibujado	Vicent Donet Chaveli		Universidad Politécnica de Valencia
Escala: 1:10	Plano 4: Dimensiones de las Zanjas			Página: 48
				Curso: 4 Ingeniería Eléctrica



09/10/2018	Dibujado	Vicent Donet Chaveli		Universidad Politécnica de Valencia
Escala: 1:200	Plano 5: Esquema unifilar de la instalación fotovoltaica			Página: 49
				Curso: 4 Ingeniería Eléctrica