

ANEXO I - CÁLCULOS

ÍNDICE

<u>CÁLCULO DEL GENERADOR FOTOVOLTAICO</u>	<u>5</u>
CÁLCULO DE AZIMUT	5
INCLINACIÓN DE LOS PANELES	6
ORIENTACION DE LOS PANELES	6
DISTANCIA MÍNIMA ENTRE FILAS DE MÓDULOS	6
NUMERO DE PANELES SOLARES	7
POTENCIA DEL INVERSOR	9
CONEXIONADO DE LOS PANELES	9
<u>CÁLCULO DEL CABLEADO</u>	<u>11</u>
<u>CABLEADO DE PROTECCIÓN</u>	<u>17</u>
<u>CÁLCULO DE PROTECCIONES</u>	<u>18</u>
<u>SEGURIDAD FRENTE AL RIESGO CAUSADO POR LA ACCIÓN DEL RAYO</u>	<u>25</u>
<u>CÁLCULO DE LA TOMA DE TIERRA</u>	<u>27</u>

CÁLCULO DEL GENERADOR FOTOVOLTAICO

CÁLCULO DE AZIMUT

Para el cálculo del azimut hemos utilizado las coordenadas UTM de dos esquinas de la cubierta de la cooperativa agrícola GLUS.

$$(X_a, Y_a) = (391085,12, 4582857,57)$$

$$(X_b, Y_b) = (391120,85, 4582824,81)$$

$$X_b - X_a = 391120,85 - 391085,12 = 35,73$$

$$Y_b - Y_a = 4582824,81 - 4582857,57 = -32,76$$

$$A = \arctg\left(\frac{X_b - X_a}{Y_b - Y_a}\right) = \arctg\left(\frac{35,73}{-32,76}\right) = \arctg(-1.0907) = -47,483^\circ$$

Si $(X_b - X_a) > 0$ y $(Y_b - Y_a) > 0$ estaríamos en el primer cuadrante con lo cual el ángulo es directo

Si $(X_b - X_a) > 0$ y $(Y_b - Y_a) < 0$ estaríamos en el segundo cuadrante con lo cual sumamos 200° al ángulo obtenido

Si $(X_b - X_a) < 0$ y $(Y_b - Y_a) < 0$ estaríamos en el tercer cuadrante con lo cual sumamos 200° al ángulo obtenido

Si $(X_b - X_a) < 0$ y $(Y_b - Y_a) > 0$ estaríamos en el cuarto cuadrante con lo cual sumamos 400° al ángulo obtenido

$$\text{AZIMUT} = 200 - 47,483 = 152,517^\circ$$

INCLINACIÓN DE LOS PANELES

El cálculo de la inclinación óptima de los módulos se llevará a cabo mediante el método de la inclinación óptima anual, en el cual se tiene en cuenta únicamente la latitud del emplazamiento en valor absoluto según la fórmula siguiente:

$$\beta = 3.7 + 0.69 * |\text{latitud}|$$
$$\beta = 3.7 + 0.69 * 41 = 31.99 \sim 30^\circ$$

Por lo que los paneles irán colocados en estructuras que consigan 30° con la horizontal.

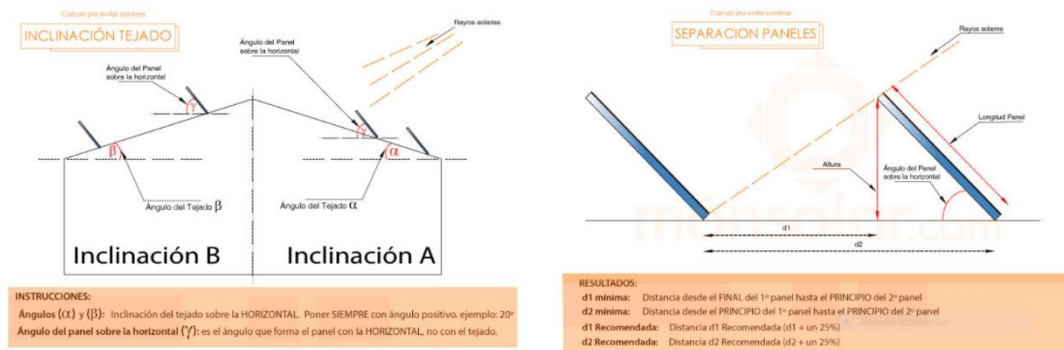
ORIENTACION DE LOS PANELES

Según el IDEA, la orientación está definida por el ángulo azimut y en este caso corresponde con el ángulo azimut del emplazamiento.

DISTANCIA MÍNIMA ENTRE FILAS DE MÓDULOS

La cubierta tiene una pendiente del 30% (17°) y la inclinación óptima para los módulos fotovoltaicos es de 30°, con lo cual necesitamos calcular la distancia mínima entre las placas para evitar sombras. Vamos a utilizar la herramienta de la página Monsolar para calcular dicha distancia.

Podemos ver que la distancia mínima (d1) entre paneles debe ser de 0.5m.



3.- Tabla calculadora de separaciones

Tipo de Tejado	Ángulo de inclinación tejado (Ángulos en positivo)	Latitud del lugar	Longitud del panel en metros	Ángulo del panel sobre la Horizontal	d1 mínima	d1 Recomendada	d2 mínima	d2 Recomendada
Horizontal	0	0	0	0				
Inclinación A	17	41	2	30	0.491	0.614	2.440	3.050

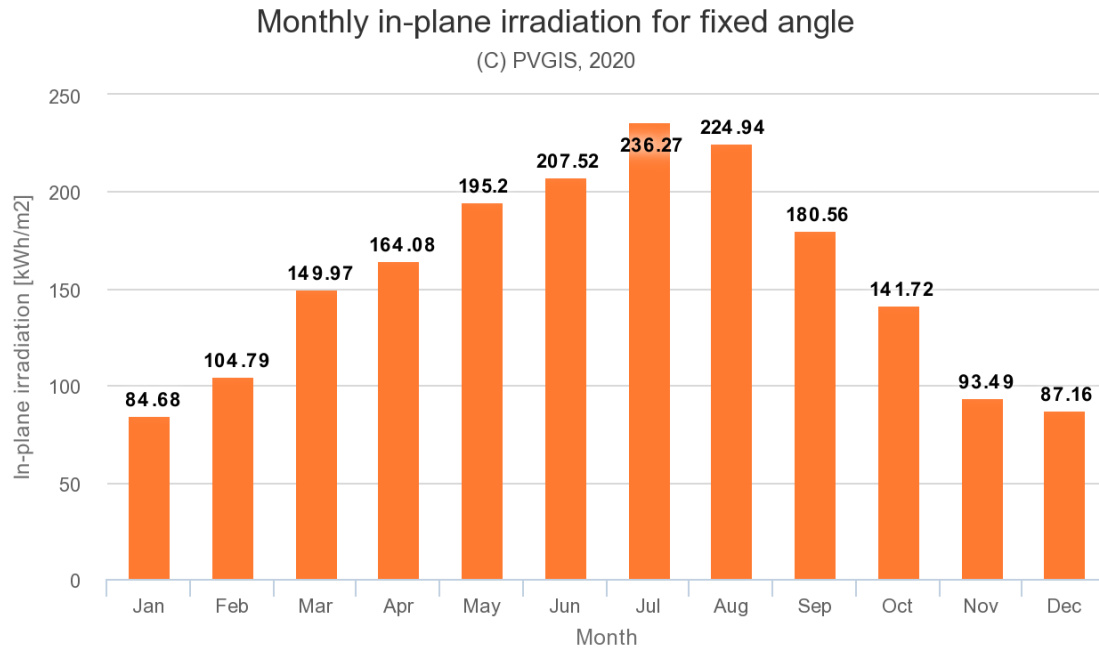
Ilustración 1 Herramienta Monsolar calculadora de distancia entre módulos fotovoltaicos

NUMERO DE PANELES SOLARES

Para este proyecto hemos utilizado la herramienta interactiva PVGIS versión 5 (Photovoltaic Geographical Information System), que es una web en la que se pueden realizar diferentes cálculos de un sistema fotovoltaico con determinadas características en diferentes partes del mundo.

Los datos que nos proporciona esta herramienta ya tiene en cuenta las pérdidas más comunes de energía como por ejemplo: pérdidas en cables e inversores de potencia, suciedad (a veces nieve) en los módulos, los cuales también tienden a perder un poco de su potencia, por lo que la producción anual promedio durante la vida útil del sistema será un porcentaje un poco menor que la producción en los primeros años, etc. Utiliza de estimación un 14% de pérdidas generales.

Este software toma como referencia el sur para el ángulo azimut, siendo 0° el sur, -90° el este y 90° el oeste. En nuestro caso introduciremos un azimut igual a -27, 48°. La siguiente gráfica representa los datos mensuales de irradiación sobre un plano fijo a 30° en la situación de la cooperativa:



Para hacer el dimensionamiento de la planta vamos a escoger la media anual de energía consumida, así no creamos una planta más costosa de lo necesario.

El consumo medio anual es de 2.799,17 kWh.

El número de paneles lo calculamos mediante la siguiente fórmula:

$$N = \text{energía necesaria} / \text{HSP} * \text{rendimiento} * \text{potencia pico del panel solar}$$

La energía necesaria es: 2.799,17 kWh

Lo dividimos entre el número de días y tenemos la energía media necesaria en

el mes de enero: $\frac{2,043}{31} = 90.29 \text{ Kwh/día}$

El HSP (Hora Solar Pico) lo calculamos mediante la irradiación solar del mes de enero dividido entre 1 Kw/m²:

$$155,87 \frac{\text{Kwh}}{\text{m}^2 * \text{mes}} * \frac{1\text{mes}}{31\text{días}} * \frac{\text{m}^2}{\text{kW}} = 5,028\text{h/día}$$

El rendimiento suele estar entre 0.7 y 0.8, vamos a utilizar 0.7 para ponernos en el caso más adverso.

La potencia pico del panel solar que hemos elegido es 400 Wp ~ 0.4 KWp

$$N = \frac{90,29 \text{ Kwh/día}}{5,028 \text{ h/día} * 0.7 * 0.4 \text{ KWp}} = 64,13 \sim 65 \text{ paneles}$$

Por lo que, con todos los datos proporcionados, nos sale un total de 65 paneles a colocar en la cubierta de la empresa.

POTENCIA DEL INVERSOR

La potencia del inversor viene definida por la potencia pico de los paneles. En nuestro caso tenemos 65 paneles de 400 Wp cada uno, con lo cual la potencia del inversor debe ser:

$$65 * 400 = 26.000 \text{ Wp}$$

Se elegirá un inversor de 30kW para satisfacer las necesidades de la instalación.

CONEXIONADO DE LOS PANELES

Para realizar este cálculo, hemos de saber la tensión de entrada del inversor. En nuestro caso la tensión de entrada es de 620V. Y los módulos tienen una tensión de salida de 40V.

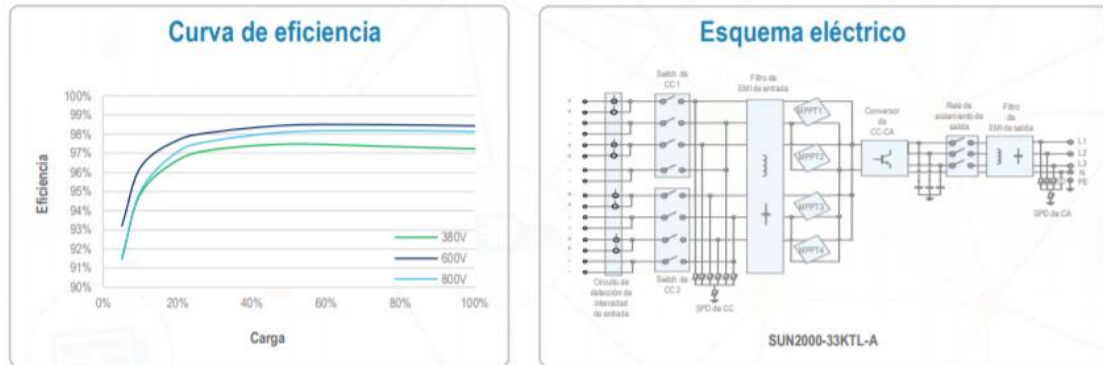


Ilustración 2 Curva de eficiencia y esquema eléctrico del inversor

Calculamos los módulos conectados en serie:

$$N_s (\text{módulos en serie}) = \frac{V \text{ inversores}}{V \text{ módulos}} = \frac{620V}{40V} = 15,5 \sim 16 \text{ módulos}$$

Calculamos los grupos de módulos a conectar en paralelo:

$$N_p (\text{módulos en paralelo}) = \frac{\text{Número de módulos}}{N_s} = \frac{65}{16} = 4,06 \sim 4 \text{ grupos de módulos}$$

Una vez realizados estos cálculos vemos que el número total de paneles a colocar sale al multiplicar los paneles en serie por los grupos de paneles en paralelo, 64 paneles solares. Se instalarán finalmente **64 paneles fotovoltaicos** en nuestra instalación.

CÁLCULO DEL CABLEADO

Como se calculó en el apartado anterior, el generador fotovoltaico estará formado por 4 grupos de 16 placas cada uno. Cada grupo estará conectado apropiadamente a una caja de protecciones y estas seguidamente a la caja de protecciones del inversor.

Para los tramos de corriente continua y alterna se utilizarán conductores de tipo 0.6/1kV de cobre con aislamiento en PVC. El tipo de instalación será de conductores aislados en tubos en montaje superficial o empotrados según la definición del REBT en la norma ITC-BT-19.

Tabla 1 Intensidades admisibles (A) al aire 40°C. Nº de conductores con carga y naturaleza del aislamiento.

A		Conductores aislados en tubos empotrados en paredes aislantes		3x PVC	2x PVC		3x XLPE o EPR	2x XLPE o EPR					
A2		Cables multiconductores en tubos empotrados en paredes aislantes	3x PVC	2x PVC		3x XLPE o EPR	2x XLPE o EPR						
B		Conductores aislados en tubos ¹⁾ en montaje superficial o empotrados en obra				3x PVC	2x PVC		3x XLPE o EPR	2x XLPE o EPR			
B2		Cables multiconductores en tubos ²⁾ en montaje superficial o empotrados en obra			3x PVC	2x PVC		3x XLPE o EPR	2x XLPE o EPR				
C		Cables multiconductores directamente sobre la pared ³⁾					3x PVC	2x PVC	3x XLPE o EPR	2x XLPE o EPR			
E		Cables multiconductores al aire libre ⁴⁾ . Distancia a la pared no inferior a 0.3D ⁵⁾					3x PVC		3x PVC	2x XLPE o EPR	2x XLPE o EPR		
F		Cables unipolares en contacto mutuo ⁴⁾ . Distancia a la pared no inferior a D ⁵⁾						3x PVC			3x XLPE o EPR ¹⁾		
G		Cables unipolares separados mínimo D ⁵⁾								3x PVC ¹⁾		3x XLPE o EPR	
Cobre		mm ²	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
		1,5	11	11,5	13	13,5	15	16	-	18	21	24	-
		2,5	15	16	17,5	18,5	21	22	-	25	29	33	-
		4	20	21	23	24	27	30	-	34	38	45	-
		6	25	27	30	32	36	37	-	44	49	57	-
		10	34	37	40	44	50	52	-	60	68	76	-
		16	45	49	54	59	66	70	-	80	91	105	-
		25	59	64	70	77	84	88	96	106	116	123	166
		35		77	86	96	104	110	119	131	144	154	206
		50		94	103	117	125	133	145	159	175	188	250
		70				149	160	171	188	202	224	244	321
		95				180	194	207	230	245	271	296	391
		120				208	225	240	267	284	314	348	455
		150				236	260	278	310	338	363	404	525
		185				268	297	317	354	386	415	464	601
		240				315	350	374	419	455	490	552	711
		300				360	404	423	484	524	565	640	821

1) A partir de 25 mm² de sección.

2) Incluyendo canales para instalaciones -canaletas- y conductos de sección no circular.

3) O en bandeja no perforada.

4) O en bandeja perforada.

5) D es el diámetro del cable.

La instalación de los tubos del circuito se llevará a cabo como indica la norma ITC-BT-21 para montaje fijo en superficie:

- Los tubos se fijarán a las paredes o techos por medio de bridas o abrazaderas protegidas contra la corrosión y sólidamente sujetas. La distancia entre éstas será, como máximo, de 0,50 metros. Se dispondrán fijaciones de una y otra parte en los cambios de dirección, en los empalmes y en la proximidad inmediata de las entradas en cajas o aparatos.
- Los tubos se colocarán adaptándose a la superficie sobre la que se instalan, curvándose o usando los accesorios necesarios.
- En alineaciones rectas, las desviaciones del eje del tubo respecto a la línea que une los puntos extremos no serán superiores al 2 por 100.
- Es conveniente disponer los tubos, siempre que sea posible, a una altura mínima de 2,50 metros sobre el suelo, con objeto de protegerlos de eventuales daños mecánicos.
- En los cruces de tubos rígidos con juntas de dilatación de un edificio, deberán interrumpirse los tubos, quedando los extremos del mismo separados entre sí 5 centímetros aproximadamente, y empalmándose posteriormente mediante manguitos deslizantes que tengan una longitud mínima de 20 centímetros.

Para elegir el diámetro de los tubos de PVC se tiene en cuenta la siguiente tabla:

Tabla 2 Diámetros exteriores mínimos de los tubos en función del número y la sección de los conductores o cables a conducir.

Sección nominal de los conductores unipolares (mm ²)	Diámetro exterior de los tubos (mm)				
	Número de conductores				
	1	2	3	4	5
1,5	12	12	16	16	20
2,5	12	16	20	20	20
4	12	16	20	20	25
6	12	16	25	25	25
10	16	25	25	32	32
16	20	25	32	32	40
25	25	32	40	40	50
35	25	40	40	50	50
50	32	40	50	50	63
70	32	50	63	63	63
95	40	50	63	75	75
120	40	63	75	75	--
150	50	63	75	--	--
185	50	75	--	--	--
240	63	75	--	--	--

Para más de 5 conductores por tubo o para conductores o cables de secciones diferentes a instalar en el mismo tubo, su sección interior será como mínimo, igual a 3 veces la sección ocupada por los conductores.

Se ha optado por tubos corrugados libre de halógenos de diámetro 25mm² para toda la instalación.



Ilustración 3 Tubo corrugado libre de halógenos

Para el cálculo de la sección en los tramos de corriente continua se utilizará la ecuación:

$$s = \frac{2 * L * I_{cc}}{u * C}$$

Donde:

- s es la sección teórica del conductor en [mm²].
- L es la longitud del conductor [m].
- I_{cc} es la corriente máxima que va a circular por los conductores y es la de cortocircuito de los paneles [A].
- U es la caída de tensión [V] que como máximo podrán tener los conductores. Según el Pliego de Condiciones Técnicas del IDEA, la máxima caída de tensión permitida en conductores de continua es del 1,5%.
- C es la conductividad del elemento que forma el conductor, en este caso cobre y su conductividad es 56m/ohm*mm².

En el tramo donde la potencia se convierte de continua a alterna, la instalación del cableado será distinto porque pasa a ser trifásico, con lo que la sección mínima que se utilizará en los conductores vendrá dada por la ecuación:

$$s = \frac{\sqrt{3} * L * I}{u * C}$$

Donde:

- s es la sección teórica del conductor en [mm²].
- L es la longitud del conductor [m].
- I es la corriente máxima que va a circular por los conductores [A].
- U es la caída de tensión [V] que como máximo podrán tener los conductores. Según el Pliego de Condiciones Técnicas del IDEA, la máxima caída de tensión permitida en conductores de continua es del 1,5%.
- C es la conductividad del elemento que forma el conductor, en este caso cobre y su conductividad es 56m/ohm*mm².

Y también podremos calcular el cable mediante la intensidad admisible del cable, a partir de la intensidad que tenemos:

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

Donde:

- I es la corriente que circula por los cables [A].
- P es la potencia del circuito [W].
- V es la tensión del circuito [V].

La instalación se puede diferenciar en:

❖ **Paneles solares -> Inversores.**

Estará comprendido entre las salidas de los 16 paneles en serie, de los 4 grupos de módulos, y una caja de protecciones del generador, que se situará según el plano 4.

Para realizar las conexiones entre paneles solares se utilizará cable solar de 4mm² unipolar, según indica la ficha técnica de los paneles elegidos.

Los datos para el cálculo de la sección de este tramo son:

- L es la longitud del conductor [m]. Se tomará como longitud del cable la distancia del módulo más alejado hasta la caja de protecciones, 35,29m.
- I_{cc} es la corriente máxima que va a circular por los conductores y es la de cortocircuito de los paneles [A]. Cada grupo suministrará una intensidad igual a la de los módulos que lo forman, 10,36 A.
- U es la caída de tensión [V] que como máximo podrán tener los conductores. Según el Pliego de Condiciones Técnicas del IDEA, la máxima caída de tensión permitida en conductores de continua es del 1,5%. En este tramo existirá una tensión igual a la tensión de punto de máxima potencia de cada panel $V_{mpp}=41,7V$, por el número de paneles en serie que forman cada grupo, 16 paneles, $41,7 \cdot 16 = 667,2V$.
- C es la conductividad del elemento que forma el conductor, en este caso cobre y su conductividad es 56m/ohm*mm².

Al ser un tramo de corriente continua la sección mínima que deben tener los conductores será de:

$$s = \frac{2 * 35,29 * 10,36}{0,015 * 667,2 * 56} = 1,305\text{mm}^2$$

La sección normalizada inmediatamente después de la calculada es de **1,5mm²** pero al ser el cable de conexión entre paneles de **4mm²** seguiremos con la misma sección. Con lo cual seguiremos utilizando el mismo cable que antes de unir los dos grupos.

Atendiendo a la anterior tabla 1 extraída de la norma ITC-BT-19, la corriente máxima admisible del conductor del tipo 0,6/1kV de 4mm², de aislamiento PVC e instalación de conductores aislados en tubos de montaje superficial es de 27 A.

❖ Inversores -> Contador.

Este tramo estará situado en un armario estanco donde se ubicará el inversor y sus protecciones. El inversor a la salida tendrá sus correspondientes protecciones.

Este tramo será trifásico con lo que el cálculo cambia con respecto al anterior. Los datos para el cálculo de la sección de cable a la salida de los inversores hasta las protecciones son:

- I es la corriente que circula por los cables [A].
- P es la potencia del circuito [W]. Tenemos un inversor de 30kW.
- V es la tensión del circuito. A la salida del inversor tenemos una tensión de 400V.

$$I = \frac{30000}{\sqrt{3} * 400} = 43,3\text{A}$$

La sección normalizada inmediatamente superior a la corriente calculada, en el inversor de 30kW, es de **10mm²**.

Atendiendo a la anterior tabla 1 extraída de la norma ITC-BT-19, la corriente máxima admisible del conductor del tipo 0,6/1kV de 6mm², de aislamiento PVC e instalación de conductores aislados en tubos de montaje superficial es de 44 A.

CABLEADO DE PROTECCIÓN

Para la protección de la propia instalación y los posibles operarios encargados del mantenimiento, el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión según la norma ITC-BT-18 establece que las puestas a tierra tienen el objeto de limitar la tensión que puedan presentar en un momento dado las masas metálicas, asegurar la actuación de las protecciones y eliminar o disminuir el riesgo que supone una avería en los materiales eléctricos utilizados.

Según dicha norma, los conductores de protección deberán ser del mismo material que los conductores activos utilizados en la instalación y su sección viene dada por la siguiente tabla:

Tabla 3 Sección mínima de los conductores de protección según la sección de los conductores de fase de la instalación.

Sección de los conductores de fase de la instalación S (mm²)	Sección mínima de los conductores de protección S_p (mm²)
$S \leq 16$	$S_p = S$
$16 < S \leq 35$	$S_p = 16$
$S > 35$	$S_p = S/2$

Por tanto, los conductores de protección tendrán diferente sección dependiendo del tramo de cableado donde se encuentren:

- Sección conductores de fase = 4mm² → Sección conductor de protección = **4mm²**

- Sección conductores de fase = 10mm^2 → Sección conductor de protección = 10mm^2

En el circuito de conexión a tierra, los conductores de protección unirán las masas al conductor de tierra.

Tabla 4 Sección conexión a tierra

Tipo	Protegido mecánicamente	No protegido mecánicamente
Protegido contra la corrosión*	Según apartado 3.4	16 mm^2 Cobre 16 mm^2 Acero Galvanizado
No protegido contra la corrosión		25 mm^2 Cobre 50 mm^2 Hierro
* La protección contra la corrosión puede obtenerse mediante una envolvente		

En este caso los conductores serán de cobre desnudo, por lo que no estará protegido contra la corrosión y su sección, según la tabla anterior perteneciente a la norma ITC-BT-18, será de 16mm^2 .

CÁLCULO DE PROTECCIONES

Para proporcionar total seguridad tanto a los equipos que forman la instalación solar como al personal que la manipule, es necesario proporcionar una serie de elementos de protección que aseguren una explotación correcta de esta.

Aunque los fusibles e interruptores para corriente continua son diferentes a los de corriente alterna, su cálculo es similar, según la norma ITC-BT-22 del REBT, un dispositivo protege contra sobrecargas a un conductor si se verifican las siguientes condiciones:

$$I_b < I_n < I_z$$

$$I_2 < 1.45 \cdot I_z$$

Donde:

- I_b es la corriente de empleo o de utilización.
- I_n es la corriente nominal del dispositivo de protección.
- I_z es la corriente máxima admisible por el elemento a proteger.
- I_2 es la corriente convencional de funcionamiento del dispositivo de protección. (Fusión de los fusibles y disparo de los interruptores automáticos).

En la protección por el magnetotérmico normalizado se cumple siempre la segunda condición porque $I_2 = 1,45 \cdot I_n$, por lo que solo se debe verificar la primera condición.

Las protecciones que vamos a utilizar en toda la instalación son las nombradas en la norma ITC-BT-17:

- Un interruptor general automático de corte omnipolar, que permita su accionamiento manual y que esté dotado de elementos de protección contra sobrecarga y cortocircuitos. Este interruptor será independiente del interruptor de control de potencia.
- Un interruptor diferencial general, destinado a la protección contra contactos indirectos de todos los circuitos; salvo que la protección contra contactos indirectos se efectúa mediante otros dispositivos de acuerdo con la ITC-BT-24.
- Dispositivos de corte omnipolar, destinados a la protección contra descargas y cortocircuitos de cada uno de los circuitos interiores de la vivienda o local.
- Dispositivos de protección contra sobretensiones, según ITC-BT-23, si fuese necesario.

❖ Paneles solares -> Inversores

Este tramo estará protegido por dos elementos:

- **Fusible:** Cada uno de los grupos de 16 módulos del generador solar estará protegido contra sobreintensidades mediante fusibles que provoquen la apertura del circuito en caso de producirse una corriente superior a la admisible por los equipos. Cada grupo tendrá dos fusibles iguales, uno para el conductor de polaridad positiva y otro para el negativo.

La sección del cable de este tramo es de 4mm^2 , por lo que los parámetros a utilizar para el dimensionamiento de los fusibles serán:

$$I_b = 9,60 \text{ A}$$

$$I_z = I_{\text{max admisible}} = 27 \text{ A}$$

Por tanto, para que se cumpla la condición, como mínimo la corriente nominal del fusible será:

$$I_b < I_n < I_z$$

$$9,60 \text{ A} < I_n < 27 \text{ A} \rightarrow I_n = 10 \text{ A}$$

Ahora comprobaremos si la dimensión de este fusible es válida o por lo contrario debemos buscar un valor mayor:

$$I_2 = 1,6 * I_n = 16 \text{ A}$$

$$I_2 < 1,45 * I_z \rightarrow 16 \text{ A} < 1,45 * 27 \text{ A} \rightarrow 16 \text{ A} < 39,15 \text{ A}$$

Por lo tanto, se utilizarán fusibles de **10 A** en cada grupo de paneles conectados en serie.



Ilustración 4 Fusible

- **Interruptor-Seccionador:** Los interruptores de continua que se instalarán en este tramo de la instalación, tendrán la función de aislar zonas del generador para labores de mantenimiento de los módulos solares como limpieza y reparación de incidencias.

Para la elección de los interruptores-seccionadores se tendrán en cuenta dos parámetros, la tensión de la línea y la corriente que deben ser capaces de interrumpir al abrirse. Para esta instalación dichos parámetros vendrán dados

por la corriente de cortocircuito que pueda producirse en cada panel y la tensión máxima que puede darse en la instalación, es decir, bajo condiciones de circuito abierto.

$$I_{sc} = 10,36A$$

$$V_{oc} = 16 \cdot 49,8 = 796,8 V$$

Para este circuito se ha escogido un seccionador de la marca LEGRAND con capacidad de corte de 25A y cuya máxima tensión de servicio es 800V.



Ilustración 5 Seccionador LEGRAND

A cada una de las cajas de protecciones llegan 2 conductores de 4mm², uno de polaridad positiva y otro de polaridad negativa, en cada conductor se encuentra conectado un fusible de 10 A para proteger de sobreintensidades y tras los fusibles se instalará el interruptor-seccionador.

❖ Inversor -> Contador.

Las protecciones de corriente alterna estarán ubicadas aguas abajo del inversor, para la protección de los circuitos y conexión a red de la instalación una vez sea

convertida la corriente continua proveniente de los módulos solares a corriente alterna para la inyección a la red.

El sistema de protecciones en este tramo deberá acogerse a la normativa vigente sobre la conexión de instalaciones fotovoltaicas a la red de baja tensión del artículo 11 del R.D.1663/2000 y además tener en cuenta los requisitos de conexión de la empresa propietaria de la distribución de energía eléctrica en el punto de conexión a red de la instalación fotovoltaica, en este caso UNIÓN FENOSA.

- Protección para la interconexión de máxima y mínima frecuencia (51Hz y 49Hz respectivamente) y de máxima y mínima tensión (1,1 y 0,85 Um, respectivamente).
- Interruptor general manual, que será un interruptor magnetotérmico con intensidad de cortocircuito superior a la indicada por la empresa distribuidora en el punto de conexión. Este interruptor será accesible a la empresa distribuidora en todo momento, con objeto de poder realizar la desconexión manual.
- Interruptor automático diferencial, con el fin de proteger a las personas en el caso de derivación de algún elemento de la parte continua de la instalación.
- Interruptor automático de la interconexión, para la desconexión-conexión automática de la instalación fotovoltaica en caso de pérdida de tensión o frecuencia d la red, junto a un relé de enclavamiento.
- La puesta a tierra de las instalaciones fotovoltaicas interconectadas se hará siempre de forma que no se alteren las condiciones de puesta a tierra de la red de la empresa distribuidora, asegurando que no se produzcan transferencias de defectos a la red de distribución. La instalación deberá disponer de una separación galvánica entre la red de distribución de baja tensión y las instalaciones fotovoltaicas, bien sea por medio de un transformador de aislamiento o cualquier otro medio que cumpla las mismas funciones.

Ahora bien, según la normativa, el equipo inversor utilizado en la instalación puede incorporar alguna de estas protecciones, si es así, según el R.D.1663/2000, solo se precisará disponer adicionalmente de las protecciones general manual e interruptor automático diferencial. El inversor Huawei seleccionado para esta instalación, incorpora las funciones de protección de máxima y mínima tensión y de máxima y mínima frecuencia.

Por consiguiente, las protecciones que se instalarán en este tramo son; un interruptor general manual (magnetotérmico) y un interruptor automático diferencial, además de la condición de UNIÓN FENOSA de incorporar un fusible en la interconexión ya que su actuación es más rápida que la de los magnetotérmicos.

- **Interruptor general manual:** Se trata de un interruptor magnetotérmico similar al utilizado en el tramo anterior del circuito con la diferencia que este magnetotérmico estará diseñado para funcionar con corriente alterna. Para la elección del interruptor magnetotérmico se utilizarán las ecuaciones mencionadas anteriormente:

$$I_b < I_n < I_z$$

$$I_z < 1.45 \cdot I_n$$

Como se ha indicado en el tramo anterior, los interruptores magnetotérmicos siempre cumplen la condición $I_z < 1.45 \cdot I_n$, ya que la intensidad convencional de disparo de los interruptores magnetotérmicos siempre es $I_z < 1.45 \cdot I_n$, por tanto, únicamente se utilizará la condición $I_b < I_n < I_z$ para dimensionar el magnetotérmico adecuado.

Para la salida del inversor de 30kW, la sección de los conductores es de 10mm², por tanto, la corriente máxima admisible por los conductores es

$I_z = I_{\text{max admisible}} = 44\text{A}$, y la corriente que circula por ese tramo es $I_b = 43,3 \text{ A}$.

El valor de la intensidad nominal del interruptor magnetotérmico a utilizar será:

$$I_b < I_n < I_z$$

$$43,3 \text{ A} < I_n < 44 \text{ A}$$

No hay ningún magnetotérmico normalizado que entre en ese intervalo con lo que pondremos un interruptor magnetotérmico tendrá una intensidad nominal de 50 A.



Ilustración 6 Magnetotérmico schneider

- **Interruptor diferencial:** Los interruptores diferenciales proporcionan protección a las personas contra descargas eléctricas, tanto en el caso de contactos directos como contactos indirectos y también protección a las instalaciones ya que detectan las fugas a tierra midiendo la corriente que circula por los conductores.

Según la norma ITC-BT-25 del Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión, los interruptores diferenciales deben poseer una intensidad diferencial-residual máxima de 30mA para aplicaciones domésticas y 300mA para otras aplicaciones e intensidad asignada que la del interruptor general.

Se escogerá un interruptor diferencial con corriente de corte de 63 A y con una intensidad diferencial-residual máxima de 300mA.



Ilustración 7 Interruptor diferencial schneider

- **Fusible:** Además de las protecciones obligatorias establecidas en el R.D.1663/200, UNIÓN FENOSA obliga a la instalación de un fusible en la conexión a la red.

Para la elección del fusible se utilizará la corriente nominal que corresponda con la corriente nominal del resto de elementos que la componen.

Las protecciones del tramo de corriente alterna se situarán en un armario dentro de la caseta del inversor.

SEGURIDAD FRENTE AL RIESGO CAUSADO POR LA ACCIÓN DEL RAYO

Las plantas fotovoltaicas están formadas por la unión de numerosos paneles, soportados sobre estructuras metálicas, ubicadas en zonas abiertas y normalmente muy expuestas a las perturbaciones electroestáticas producidas por los rayos. Son equipos que conllevan un alto coste de instalación, por lo que su vida útil debe

medirse a largo plazo. Esto hace que sea prioritario disponer de los medios de seguridad necesarios para prevenirlos.

Por tanto, invertir en protección contra rayos y sobretensiones es una decisión inteligente porque supone aportar protección para las personas y los equipos y contribuye a aumentar la rentabilidad de las instalaciones.

Para seleccionar e implementar las medidas de protección contra rayos y sobretensiones se debe tomar como referencia la UNE-EN 62305.

Un sistema de protección integral contra rayos proporciona una protección óptima debido a la interacción de:

- Sistema de protección externa contra rayos, que incluye el sistema de puntas captadoras, derivadores, sistema de puesta a tierra.
- Sistema de protección interna, que incluye el sistema equipotencial, la protección contra sobretensiones y distancias de separación.

En nuestra instalación vamos a contar, como sistema de protección externa, con un pararrayos tipo punta Franklin (punta captadora) con un nivel de protección 3.

En el sistema de protección interna hay que diferenciar entre descargadores de corriente de rayo y sobretensiones. Como hemos colocado un pararrayos, únicamente vamos a contar con descargadores de sobretensiones (tipo 2), de corriente continua y alterna dependiendo la zona del sistema donde estén situados. Colocaremos uno en cada caja de conexión, en nuestro caso tenemos 4 cajas de conexión en la parte de continua y otra en la parte de alterna, por lo que contaremos con 4 descargadores de sobretensiones de corriente continua y uno de corriente alterna.

Para la elección de la protección contra sobretensiones en la parte de continua, se tendrá en cuenta la tensión máxima de funcionamiento que puede producirse en las placas para escoger un descargador que soporte dicha tensión. La tensión máxima aparece cuando el módulo trabaja en condiciones de circuito abierto, esto produce una tensión de $49,8 \times 16 = 796,8V$. Por tanto, se elegirá un descargador con una tensión de régimen permanente superior o igual a este valor.

Para este circuito se ha escogido un descargador de la marca DENH modelo DG YPV SCI 1000.

Para elegir la protección contra sobretensiones en la parte de alterna se tiene en cuenta la tensión de salida del inversor 230V/400V.

Se ha escogido un descargador de la marca DENH modelo DG M TT 275.

CÁLCULO DE LA TOMA DE TIERRA

La instalación fotovoltaica debe ir protegida y por lo tanto conectada a tierra. Para esto vamos a incorporar unos electrodos, en nuestro caso picas verticales. En la ITC-BT-18 nos encontramos la siguiente tabla, indicando como se debe proceder al cálculo para estimar la resistencia a tierra en función de la resistividad del terreno y las características del electrodo que se elija.

Tabla 5 Fórmulas para estimar la resistencia de tierra en función de la resistividad del terreno y las características del electrodo

Electrodo	Resistencia de Tierra en Ohm
Placa enterrada	$R = 0,8 \rho/P$
Pica vertical	$R = \rho/L$
Conductor enterrado horizontalmente	$R = 2 \rho/L$
ρ , resistividad del terreno (Ohm.m) P , perímetro de la placa (m) L , longitud de la pica o del conductor (m)	

En la Guía-BT-26 nos indican que la resistencia a tierra debería ser menor de 37Ω .

El terreno donde se localiza la instalación es de naturaleza de caliza blanda, por lo que vamos a tomar el valor de $1000 \Omega \cdot m$.

Tabla 6 Valores orientativos de la resistividad en función del terreno

Naturaleza terreno	Resistividad en Ohm.m
Terrenos pantanosos	de algunas unidades a 30
Limo	20 a 100
Humus	10 a 150
Turba húmeda	5 a 100
Arcilla plástica	50
Margas y Arcillas compactas	100 a 200
Margas del Jurásico	30 a 40
Arena arcillosas	50 a 500
Arena silícea	200 a 3.000
Suelo pedregoso cubierto de césped	300 a 5.00
Suelo pedregoso desnudo	1500 a 3.000
Calizas blandas	100 a 300
Calizas compactas	1.000 a 5.000
Calizas agrietadas	500 a 1.000
Pizarras	50 a 300
Roca de mica y cuarzo	800
Granitos y gres procedente de alteración	1.500 a 10.000
Granito y gres muy alterado	100 a 600

Las picas que hemos elegido son de 2m de longitud. Procedemos al cálculo.

$$R = \frac{\rho}{n \cdot L} = \frac{300}{n \cdot 2} = 37\Omega$$

$$n = \frac{300}{37 \cdot 2} = 4,05 \sim \mathbf{4 \text{ picas}}$$

Por lo que deberemos instalar 4 picas para asegurar la protección de la instalación.