

Proyecto de una instalación solar fotovoltaica autónoma

Introducción

El presente documento es un anexo al proyecto de una pequeña instalación fotovoltaica aislada diseñada para alimentar una cabaña rural de difícil acceso y alejada de los núcleos urbanos.

Se trata de un ejemplo de cálculo que se ofrece como una posible solución a técnicos cualificados para realizar pequeñas instalaciones eléctricas en lugares donde no suministran energía las compañías eléctricas por inaccesibilidad y/o criterios económicos.

1. Descripción de la instalación

Se desea abastecer de energía eléctrica una pequeña cabaña rural durante todo el año mediante una instalación solar fotovoltaica aislada.

Para poder dimensionar la instalación debemos ubicarla geográficamente.

Se pretende que estos cálculos se puedan utilizar como modelo independientemente de las normativas propias de cada Comunidad Autónoma, por ello ofrecemos a continuación el dato de irradiación media solar diaria del mes más desfavorable para nuestra instalación:

Mes	Irradiación (Wh/m ² /día) en función a la inclinación de los paneles
Diciembre	2500

Tabla 1. Datos de irradiación

A. Descripción de la cabaña rural

La cabaña se distribuye en las estancias que indica la Tabla siguiente:

Distribución	Superficie (m ²)	Receptores solicitados
Salón/comedor/habitación	10	Lámparas Ordenador Televisor
Baño	4	Lámparas
Cocina	6	Lámparas Frigorífico/Congelador

		Lavadora
--	--	----------

Tabla 2. Distribución de las estancias de la cabaña

B. Datos adicionales

La instalación se diseñará acorde a las siguientes condiciones:

- Dos días de autonomía de la instalación, pactado con el cliente, y por tratarse de una instalación de uso constante durante todo el año.
- Toda la instalación utilizará cables de cobre y se realizará por conductores aislados en el interior de tubos empotrados en obra. Aislante termoplástico.
- Distancias de las instalaciones en c.c.:

Tramo	Longitud (m)
Generador Fotovoltaico-Regulador	6
Regulador-Batería	8
Regulador- Cuadro c.c.	4
Cuadro c.c.- Receptores c.c.	18
Regulador-Convertidor	1

Tabla 3. Distancia de las instalaciones en continua

- Distancia de las instalaciones en c.a.:

Tramo	Longitud (m)
Convertidor- Cuadro c.a.	4
Cuadro c.a. – lavadora	6
Cuadro c.a. – Resto receptores	12

Tabla 4. Distancia de las instalaciones en alterna

2. Solución

Para dimensionar la instalación podemos seguir los pasos siguientes:

A. Obtención de la irradiación.

Con el fin de que la solución pueda servir como modelo independientemente de la ubicación geográfica, elegimos la irradiación más desfavorable, con el dato del mes peor, como aparece en la Tabla 1.

- Para averiguar las coordenadas de un lugar concreto podríamos utilizar las siguientes direcciones web:

www.sitiosespana.com/paginas/coordenadas.htm

<http://sigpac.mapa.es/fega/visor/>

- Para calcular la irradiación de dicha ubicación podríamos utilizar:
<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps/radmonth.php?en=&>
(También se puede obtener en la página de la Nasa. Requiere registrarse, pero es gratuito).

B. Elección de la orientación (acimut e inclinación).

La Inclinación (β) de los paneles solares es el ángulo entre la superficie de los paneles y la horizontal, y depende directamente de la latitud del lugar de la instalación. Para instalaciones fijas como la nuestra con consumo constante todo el año se incrementa el valor absoluto de la latitud en 10° .

El Acimut (α) permite orientar los paneles solares hacia el Ecuador Terrestre, en el caso de la Península ibérica interesa que el acimut sea $\alpha=0$ ó lo más próximo posible.

En nuestro caso ya damos el valor de irradiación recibida por los paneles colocados de la mejor forma posible. Para averiguar esos datos es suficiente con utilizar cualquier base de datos de irradiación solar, como, por ejemplo, la facilitada por PVGIS, e indicar las coordenadas del lugar, teniendo en cuenta (β y α) finales de los paneles.

C. Cálculo de la carga (energía consumida).

En este tipo de instalaciones tenemos que asignar de manera estricta la carga que queremos conectar y su consumo. Debemos evitar receptores de grandes consumos y, si son necesarios, combinar distintas fuentes de energía, como, por ejemplo, una caldera o cocina de gas.

El usuario nos solicita una instalación eléctrica que suministre a una serie de receptores corriente eléctrica en baja tensión. Se deben consultar las especificaciones del REBT.

La dimensión de la cabaña es muy reducida, 20m^2 . El recinto más amplio hace de salón-comedor y habitación (10m^2) disponiendo de un baño (4m^2) y una cocina (6m^2).

Debemos ser muy cuidadosos en la selección de los receptores, ya que la cantidad de paneles solares fotovoltaicos aumentará con la energía que demandemos.

Previsión de la iluminación

Lo primero que tenemos que hacer es ver la cantidad de luxes necesarios por cada estancia para que estén correctamente iluminadas, y seleccionar las lámparas que mejor se adapten a nuestra situación de ahorro energético.

Según la Norma **UNE-EN-12464-1:2003** respecto a la iluminación de los lugares de trabajo en recintos cerrados:

Lugar	E_m (lux)	UGR _L	R _a
-------	-------------	------------------	----------------

Proyecto de instalación fotovoltaica-REBT

Salón/comedor/habitación	500 Lectura/ordenador	19	80
	100 descanso	22	80
Cocina	500	22	80
Baño	100	25	80

Tabla 5. Previsión de iluminación. Parámetros característicos

donde:

- E_m es la iluminancia mantenida (en lux) por debajo de la cual no debe caer.
- UGR_L es el nivel de deslumbramiento. Evita el deslumbramiento molesto debido al tipo de lámpara y su ubicación.
- R_a es el Índice de reproducción cromática. Se trata de la capacidad para reproducir los colores de los objetos iluminados. En lugares donde permanezcan personas debe ser 80 o superior.

Con estos datos y con las características de cada tipo de lámpara determinamos los puntos de luz necesarios en la cabaña.

Para cocinas, baños y comedor/salón se recomienda $2W/m^2$, en cambio para dormitorios y zonas de paso con $1W/m^2$ sería suficiente.

Siempre que sea posible, la iluminación debe realizarse en corriente continua, siendo la mejor lámpara en eficiencia los fluorescentes compactos, así, utilizaremos:

Estancia	m ²	Lámparas necesarias	Ejemplo modelo lámpara
Salón/comedor/dormitorio	20	20 x 2=40W/m ² Cuatro lámparas de 11W	CL1211C/W-2.1 600 lux
Baño	4	4 x 2=8W/m ² Una lámpara de 7W	CL1207C/W-2.1 350lux
Cocina	6	6 x 2=12W/m ² Una lámpara de 15W	CL1215C/W-2 >900lux

Tabla 6. Previsión de iluminación con lámparas

Previsión de receptores de corriente alterna

Siempre que sea posible se deben seleccionar receptores de bajo consumo.

- Televisor LED de 42 pulgadas. En la Tabla 7 vemos un ejemplo real de un modelo de Panasonic

Consumo de uso general	104W
Consumo en espera	0,2W
Alimentación	c.a.

Tabla 7. Consumo de un modelo de televisor Panasonic

- Ordenador portátil: Un ordenador portátil consume entre 60 y 100W, mientras que uno de sobremesa puede llegar a 250W. Se recomienda el uso de ordenadores portátiles para ahorrar en consumo.

Consumo de uso general	100W
Consumo en espera (Memoria Ram)	<5 W
Consumo off	<2W
Fuente de alimentación sin conectar al ordenador	1W
alimentación	c.a.

Tabla 8. Estimación del consumo de un ordenador portátil

- Refrigerífico/congelador: los refrigeríficos de menor consumo del mercado se identifican con A+++.
- A continuación, a modo de ejemplo, se presentan unos gráficos suministrados en el catalogo de productos SIEMENS, con la comparativa de consumos de estos componentes en función del grado de ahorro energético.

Energía Refrigeríficos combinados y dos puertas A+++.

A+++ La nueva gama de refrigeríficos con tecnología de frío activo, combinados y dos puertas, adquieren el mejor etiquetado energético: A+++.

El nuevo etiquetado A+++ supone un 60% menos de consumo energético que la clase A.

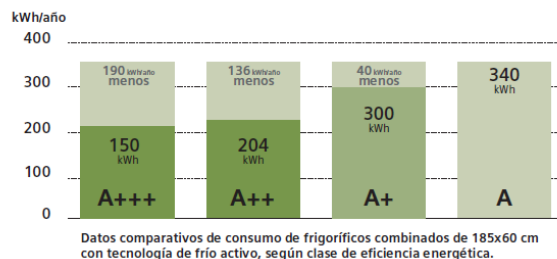


Fig. 1. Representación gráfica de consumos anuales de refrigeríficos combinados facilitada por SIEMENS en sus catálogos comerciales.

Ejemplo para el modelo KG39EAI40 de SIEMENS:

Consumo medio/año	157KWh/año
Potencia nominal	160W
Alimentación	c.a.

Tabla 9. Consumo del modelo KG39EAI40 de SIEMENS

- Lavadora: se debe seleccionar un modelo de alta eficiencia energética, es decir A+++ . En este caso, más que en el consumo anual del electrodoméstico, debemos fijarnos en el consumo medio por hora. Al contrario que el frigorífico, solo se enciende en el momento de uso y no de manera permanente en el tiempo.

Por ejemplo, el modelo WM12Q470EE de SIEMENS presenta estas características:

Consumo	1,05kWh
Potencia nominal	2 300W
Alimentación	c.a.

Tabla 10. Consumo del modelo WM12Q470EE de Siemens

Nota: A la hora de realizar la selección de electrodomésticos según sus consumos, es muy interesante descargarse los catálogos de los fabricantes. Para este ejemplo hemos utilizado el catalogo de SIEMENS del año 2011, que se puede obtener en la dirección web siguiente: http://www.siemens-home.es/Files/SiemensNew/Es/es/Document/2011_info_tecnica.pdf

Previsión de carga total.

A continuación, se muestran los valores de consumos generales:

Descripción receptor	Potencia (W)	Número de receptores	Funcionamiento (horas/día)	Energía consumida (W h/día)
Lámpara fluorescente salón (c.c)	11	4	5	220 x 0,75=165*
Lámpara fluorescente baño (c.c)	7	1	3	21 x 0,75=15,75*
Lámpara fluorescente cocina (c.c)	15	1	3	45 x 0,75=33,75*
Televisor (c.a)	104	1	3	312
	0,2 (espera)		19	3,8
Ordenador (c.a)	100	1	5	500
	5		3	15

Proyecto de instalación fotovoltaica-REBT

Frigorífico/congelador (c.a)	160	1	-	436,11
Lavadora (c.a)	2300	1	1	$1050 \times 0,66=693^*$
TOTAL				2174,41

Tabla 11. Carga total

***Nota:** A las potencias destinadas a iluminación y lavadora le aplicamos el factor de simultaneidad de la tabla 1 de la **ITC-BT-25** del REBT para evitar un sobredimensionamiento de la instalación para un recinto de dimensiones reducidas. Tenemos que tener en cuenta que la dimensión del tejado es limitada y debemos ajustar el número de paneles en él. Para el resto de receptores no aplicamos coeficiente, ya que son receptores de uso habitual, por lo que deben ser considerados en su totalidad para el correcto funcionamiento de la instalación.

D. Determinación de la tensión de funcionamiento.

Para pequeñas instalaciones existen unas recomendaciones en función a la potencia demandada por la instalación:

- $U = 12V$ para potencias inferiores a 1500W.
- $U = 24V$ para potencias comprendidas entre 1500 y 5000W (como el caso que nos ocupa).

E. Cálculo de la dimensión del generador fotovoltaico.

Para calcular la dimensión del generador fotovoltaico y el número de paneles necesarios, debemos tener en cuenta el consumo de energía diaria de la instalación y las pérdidas de energía de los componentes que constituyen la instalación solar fotovoltaica aislada.

Para el cálculo de la energía consumida total, teniendo en cuenta las pérdidas, existen unos coeficientes que se aplican al consumo real de la instalación:

- K_B : Pérdidas relacionadas al rendimiento de la batería para acumuladores: nuevos, 0,5%, hasta 1% para acumuladores viejos o fuertes descargas/bajas temperaturas. En nuestro caso tomaremos 0,5%.
- K_C : Pérdidas debidas al convertidor en instalaciones a 220V. Pueden llegar al 20% las pérdidas. Consideraremos un 10%.
- K_R : Pérdidas debidas al regulador. Dependen de la tecnología de fabricación, pero aplicaremos por defecto un 10%.
- K_X : Pérdidas por caída de tensión o por efecto Joule de la instalación eléctrica, 10%.
- K_A : Pérdidas debido a la auto-descarga diaria de la batería, por defecto tomaremos el 0,5%.
- D_{aut} : Días de autonomía con nula irradiación sobre los paneles. En este caso, como la cabaña se pretende utilizar todo el año y el frigorífico combinado conserva los alimentos hasta 17 horas sin suministro

Proyecto de instalación fotovoltaica-REBT

eléctrico, según sus características, se pactan dos días de autonomía con el cliente.

- P_{Dmax} : Profundidad máxima de descarga de la batería, por defecto tomamos el 65%.

Una vez seleccionemos los componentes podemos revisar los coeficientes tomados. En el caso de salir un número de paneles demasiado grande, revisaremos dichos coeficientes con el fin de conseguir que los costes del proyecto sean más competitivos en el presupuesto y que la superficie que abarcan los componentes sea menor. Así se calcula el coeficiente total de pérdidas:

$$K_T = [1 - (K_B + K_C + K_R + K_x)] \cdot \left[1 - \frac{K_A D_{AUT}}{P_{Dmax}} \right] \quad (1.1)$$

$$K_T = [1 - (0,05 + 0,1 + 0,1 + 0,1)] \cdot \left[1 - \frac{0,05 \cdot 2}{0,65} \right] = 0,65 \cdot 0,984 = 0,64 \quad (1.2)$$

Una vez que tenemos el coeficiente de pérdidas total podemos calcular la energía total diaria necesaria para el correcto funcionamiento de la instalación:

$$E_T = \frac{E_{receptores}}{K_T} = \frac{2174,41}{0,64} = 3397,51 \text{Wh/día} \quad (1.3)$$

Para seleccionar los paneles es muy importante calcular también el consumo total en amperios de la instalación. Es tan sencillo como aplicar la Ley de Ohm:

$$C_T = \frac{E_T}{U_N} = \frac{3397,51}{24} = 141,56 \frac{\text{Ah}}{\text{día}} \quad (1.4)$$

Por último, falta calcular los Ah/día que nos debe suministrar un panel como mínimo para que la instalación sea correcta. Para ello aplicamos:

$$E_{panel} (\text{Ah/día}) = \mu_{panel} I_{max,panel} HSP \quad (1.5)$$

donde:

- E_{panel} es la energía que debe suministrar el panel en Ah/día
- μ_{panel} es el rendimiento del panel entre 0,85 y 0,95.
- $I_{max,panel}$ es la intensidad máxima de corriente proporcionada por el panel en Amperios.
- HSP es la radiación en horas solar pico correspondiente a la ubicación de la instalación y correcta orientación de los paneles e igual a 2,5kWh/m²/día.

Buscamos hojas de características de paneles de 24V de tensión nominal (se pueden poner en serie paneles de 12V pero debido al tamaño reducido del panel descartamos esta opción)

A mejor rendimiento y mayor intensidad máxima necesitaremos menos paneles, así que priorizaremos dichas condiciones al importe del mismo ya que

el espacio es muy reducido.

Paneles YUR POWER	A-M182	A-M204	A-M227	A-M230	A-M272	A-M288
Potencia máx (W)	182	204	227	230	272	288
Tamaño del módulo (mm)	1316x995x50	1474x995x50	1632x995x50	1632x995x50	1947x995x50	1948x995x50
Peso (Kg)	16,8	18,6	20,4	20,2	24	22,95
Voltaje @ Pmax (Vpm) V	23,95	26,94	29,93	29,95	35,9	36,5
Corriente @ Pmax (Ipm) A	7,6	7,58	7,59	7,68	7,57	7,89
Circuito abierto (VOC) V	29,32	32,98	36,6	36,84	43,97	45
Cortocircuito (ISC) A	8,15	8,15	8,15	8,35	8,15	8,57
Tolerancia potencia	±3%	±3%	±3%	±3%	±3%	±3%
Eficiencia del módulo	13,9	13,9%	14%	14,16%	14%	14,86%
Número de celdas en serie	6x8 series	6x9 series	6x10 series	6x10 series	6x12 series	6x12 series
Máx. voltaje del sistema	1000 V					
Coef. temperatura ISC (%)	+0,09/°C	+0,09/°C	+0,09/°C	+0,035/°C	+0,09/°C	+0,035/°C
Coef. temperatura VOC (%)	-0,34/°C	-0,34/°C	-0,34/°C	-0,33/°C	-0,34/°C	-0,33/°C
Coef. temperatura Pmax (%)	-0,37/°C	-0,37/°C	-0,37/°C	-0,50/°C	-0,37/°C	-0,5/°C
Material frontal	Cristal templado de alta transmisión de 3,2mm					
Encapsulado	EVA					
Rango de temperatura	-40°C a +85°C					
Marco	Aluminio anodizado					
Garantía del producto	5 años en materiales					
Garantía rendimiento eléctrico	10 años al 90% + 25 años al 80% en salida de potencia					

Fig. 2. Modelos de panel solar y sus características.

El panel seleccionado entre distintos modelos aparece en la Figura 2 señalado con un círculo rojo. Utilizando la ecuación (1.5) obtenemos la energía que suministrará dicho panel:

$$E_{\text{panel}} (\text{Ah/día}) = \mu_{\text{panel}} I_{\text{max,panel}} HSP = 0,9 \cdot 7,89 \cdot 2,5 = 17,75 \text{ Ah/día} \quad (1.6)$$

Una vez calculada la energía diaria que suministrará el panel, solo falta seleccionar el número de paneles en paralelo necesarios para el funcionamiento de la instalación:

$$\text{Número de paneles} = \frac{C_T}{E_{\text{panel}}} = \frac{141,56}{17,75} = 7,97 \approx 8 \text{ paneles} \quad (1.7)$$

F. Determinación de la capacidad del banco de baterías.

Basta con aplicar la siguiente expresión:

$$C_{\text{nominal batería}} = \frac{C_T D_{\text{AUT}}}{P_{\text{Dmax}}} = \frac{141,56 \cdot 2}{0,65} = 435,57 \text{ Ah} \quad (1.8)$$

Seleccionamos el modelo Batería Solar Hawker Enersys 24V 660AH EcoSafe C120.

G. Dimensionado del regulador y los convertidores.

El regulador recibe la electricidad procedente de los paneles fotovoltaicos, por lo que su intensidad debe estar sobredimensionada con respecto a la que recibe de los paneles:

$$I_{\text{regulador}} = 1,2 \cdot \text{número de paneles en paralelo} \cdot I_{\text{max-panel}} = (1.9)$$

$$= 1,2 \cdot 8 \cdot 7,89 = 75,74 \text{ A}$$

El regulador o conjunto de reguladores que seleccionemos debe soportar dicha intensidad de corriente a una tensión nominal de 24V.

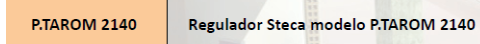
Selección del regulador: Existen distintos modelos y precios, pero en este caso, a modo de ejemplo, hemos seleccionado un modelo de la marca Steca:



Fig. 3. Ejemplo de aplicación sacado del catalogo de componentes de la empresa Energía y Futuro, fabricante Steca. Este ejemplo sería válido si únicamente alimentáramos receptores en c.c., en nuestro caso necesitaremos también un convertidor.

	2070	2140	4055	4110	4140
Funcionamiento					
Tensión del sistema	12 V (24 V)		48 V		
Consumo propio	14 mA				
Datos de entrada CC					
Tensión de circuito abierto del módulo solar	< 50 V		< 100 V		
Corriente del módulo	70 A	140 A	55 A	110 A	140 A
Datos de salida CC					
Corriente de consumo	70 A	70 A	55 A	55 A	70 A
Tensión final de carga	13,7 V (27,4 V)		54,8 V		
Tensión de carga reforzada	14,4 V (28,8 V)		57,6 V		
Carga de compensación	14,7 V (29,4 V)		58,8 V		
Tensión de reconexión (SOC / LVR)	> 50 % / 12,6 V (25,2 V)		> 50 % / 50,4 V		
Protección contra descarga profunda (SOC / LVD)	< 30 % / 11,1 V (22,2 V)		< 30 % / 44,4 V		
Condiciones de uso					
Temperatura ambiente	-10 °C ... +60 °C				

Fig 4. El modelo de regulador seleccionado será el 2140, ya que cumple con todos nuestros requisitos.



El convertidor es el encargado de alimentar a los aparatos de corriente alterna a 220V. Debemos considerar para su cálculo únicamente la potencia que requieren alimentación en corriente alterna y el rendimiento del mismo.

$$P_{\text{convertidor}} = \frac{P_{\text{c.a.}}}{\mu_{\text{convertidor}}} \quad (1.10)$$

La potencia máxima teniendo en cuenta únicamente los receptores de c.a. es de 2664W.

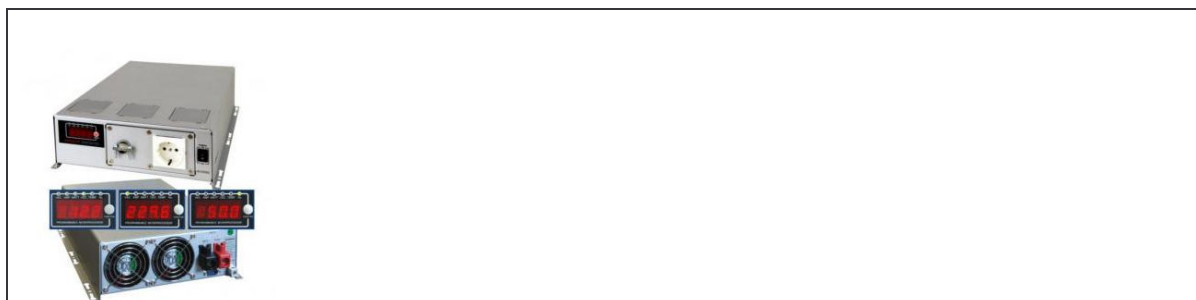


Fig. 5. Características del convertidor. (<http://www.tienda-solar.es/es/product/inversor-onda-senoidal-3000w-24v-230v>)

Salida

Tensión nominal 230 - 240 VAC +/- 3%
Frecuencia 50 Hz +/- 0.05%

Potencia continua 3000 W
 Potencia máx. 3 min 3200 W
 Potencia máx. 30 ms 6000 W

Entrada

Margen de tensión 20 – 32 VDC
 Seguridad: alta y baja tensión, alta temperatura, cortocircuito, etc.
 Eficiencia máx.: 90 %
 Corriente en vacío: 0,90A

Para verificar la correcta elección aplicamos la expresión 1.10, así:

$$P_{\text{convertidor}} = \frac{P_{\text{c.a.}}}{\mu_{\text{convertidor}}} = \frac{2664}{0,9} = 2960 \text{ W} > 3000 \text{ W} \quad (1.11)$$

Como la potencia que precisamos es menor que la que puede suministrar el convertidor elegido, la selección es adecuada.

H. Cálculo de la sección del conductor (S).

Para el cálculo de la sección del conductor **en corriente continua**, aplicamos esta expresión:

$$S = \frac{2\rho IL}{\delta} \quad (1.12)$$

donde:

S es la sección mínima del circuito (mm²)

L es la longitud de la línea (m)

δ es la máxima caída de tensión permitida (V)

ρ es la resistividad en $\Omega \frac{\text{mm}^2}{\text{m}}$

I es la intensidad que pasa por el conductor (A)

Toda la instalación utilizará cables de cobre y se realizará por conductores aislados en el interior de tubos empotrados en obra.

Calculamos la resistividad del cobre a 70°C por la utilización de aislante termoplástico tipo PVC.

$$\rho_{70} = \rho_{20} (1 + \alpha \Delta T) = 0,018 \cdot [1 + 0,00392 \cdot (70 - 20)] = 0,021 \Omega \frac{\text{mm}^2}{\text{m}} \quad (1.13)$$

Las intensidades máximas admisibles serán las indicadas en la tabla de la Norma **UNE 20460-5-523** para una instalación B1 (cables de cobre aislados en el interior de tubos empotrados) para PVC2.

La máxima caída de tensión permitida en toda la instalación es del 10% según la previsión tenida para el cálculo y selección de componentes (U=24V).

Tramo	Longitud L(m)	Caída de tensión
-------	---------------	------------------

1- Generador fotovoltaico-regulador	6	3%
2- Regulador-batería	8	3%
3- Regulador- cuadro c.c.	4	1,5%
4- Cuadro c.c.- receptores c.c.	18	2,5%
5- Regulador-convertidor	1	1%

Tabla 12. Caídas de tensión máximas en c.c.

Se utilizarán cables no propagadores del fuego y con emisiones de humos y opacidad reducida. En nuestro caso seleccionamos cables del tipo **ES07Z1-K(AS)**: Unipolar aislado de tensión asignada 450/750V, conductor de cobre clase 5 (K-flexible), aislamiento termoplástico a base de poliolefina (Z1)*.

***Nota:** A efectos prácticos se calcula igual que si fuera aislamiento de PVC, tanto para la temperatura máxima de trabajo como para la utilización de tablas del REBT.

Tramo generador fotovoltaico-regulador

Calculamos la sección del conductor en el tramo generador-regulador:

$$I_{inst} = \text{número de paneles en paralelo} \cdot I_{\text{max-panel}} = 8 \cdot 7,89 = 63,12 \text{ A} \quad (1.14)$$

$$S = \frac{2\rho L}{\delta} = \frac{2 \cdot 0,021 \cdot 63,13 \cdot 6}{0,72} = 22,09 \text{ mm}^2 \rightarrow 25 \text{ mm}^2 \quad (1.15)$$

* Según la tabla de la norma **UNE 20460-5-523** de intensidades admisibles para una instalación B1 (cables de cobre aislados en el interior de tubos empotrados) para PVC2, una intensidad de 63,12A <77A es admisible con una sección de 25mm².

Tramo regulador-batería

Calculamos la sección del conductor en el tramo regulador-batería:

$$I_{inst} = \text{número de paneles en paralelo} \cdot I_{\text{max-panel}} = 8 \cdot 7,89 = 63,12 \text{ A} \quad (1.15)$$

$$S = \frac{2\rho L}{\delta} = \frac{2 \cdot 0,021 \cdot 63,13 \cdot 8}{0,72} = 29,46 \text{ mm}^2 \rightarrow 35 \text{ mm}^2 \quad (1.16)$$

* Según la tabla de la norma **UNE 20460-5-523** de intensidades admisibles para una instalación B1 (cables de cobre aislados en el interior de tubos empotrados) para PVC2, una intensidad de 63,12A <96A es admisible con una sección de 35mm².

Tramo regulador- cuadro c.c.

Calculamos la sección del conductor en el tramo regulador-cuadro c.c.:

$$I_{\text{ins.c.c.}} = \frac{P_{\text{c.c.}}}{U_{\text{c.c.}}} = \frac{66}{24} = 2,75 \text{ A} \quad (1.17)$$

$$S = \frac{2\rho lL}{\delta} = \frac{2 \cdot 0,021 \cdot 2,75 \cdot 4}{0,36} = 1,28 \text{ mm}^2 \rightarrow 1,5 \text{ mm}^2$$

$$S = \frac{2\rho lL}{\delta} = \frac{2 \cdot 0,021 \cdot 2,75 \cdot 4}{0,36} = 1,28 \text{ mm}^2 \rightarrow 1,5 \text{ mm}^2 \quad (1.18)$$

* Según la tabla de la norma **UNE 20460-5-523** de intensidades admisibles para una instalación B1 (cables de cobre aislados en el interior de tubos empotrados) para PVC2, una intensidad de 2,75A <13,5A es admisible con una sección de 1,5mm².

Tramo cuadro c.c.- receptores c.c.

Calculamos la sección del conductor en el tramo cuadro c.c-receptores c.c.:

$$I_{\text{ins.c.c.}} = \frac{P_{\text{c.c.}}}{U_{\text{c.c.}}} = \frac{66}{24} = 2,75 \text{ A} \quad (1.20)$$

$$S = \frac{2\rho lL}{\delta} = \frac{2 \cdot 0,021 \cdot 2,75 \cdot 18}{0,6} = 3,46 \text{ mm}^2 \rightarrow 4 \text{ mm}^2 \quad (1.21)$$

* Según la tabla de la Norma **UNE 20460-5-523** de intensidades admisibles para una instalación B1 (cables de cobre aislados en el interior de tubos empotrados) para PVC2, una intensidad de 2,75A <24A es admisible con una sección de 4mm².

Tramo Regulador-Convertidor

La intensidad en corriente continua demandada por el convertidor será la solicitada por los receptores de corriente alterna considerando el rendimiento del convertidor, así:

$$I_{\text{ins.c.a.}} = \frac{P_{\text{c.a.}}}{U_{\text{c.a.}} \cos \varphi} = \frac{2664}{230 \cdot 1} = 11,58 \text{ A} \quad (1.22)$$

$$I_{\text{ins.c.c.}} = \frac{I_{\text{inst.c.a.}}}{\mu_{\text{conv}}} = \frac{11,58}{0,9} = 12,89 \text{ A}$$

$$S = \frac{2\rho lL}{\delta} = \frac{2 \cdot 0,021 \cdot 12,89 \cdot 1}{0,24} = 2,25 \text{ mm}^2 \rightarrow 2,5 \text{ mm}^2 \quad (1.23)$$

* Según la tabla de la norma **UNE 20460-5-523** de intensidades admisibles para una instalación B1 (cables de cobre aislados en el interior de tubos empotrados) para PVC2, una intensidad de 12,89A <18,5A es admisible con una sección de 2,5mm²

Proyecto de instalación fotovoltaica-REBT

Tubos: Cumplirán lo indicado en la **ITC-BT-21**. Los tubos empotrados serán flexibles o curables y sus características mínimas se establecen en la tabla 3 de la **ITC-BT-21**. Además cumplirán lo establecido en las normas **UNE-EN 50086-2-2** y **UNE-EN 50086-2-3** respectivamente.

Y sus diámetros se asignan según la tabla 5 de la **ITC-BT-21**

Tramo	S (mm ²)	Diámetro tubo (mm)
1	25	32
2	35	40
3	1,5	12
4	4	16
5	2,5	16

Tabla 13. Diámetro de los tubos.

Para el cálculo de la sección del conductor en **corriente alterna**, tendremos en cuenta que las líneas de derivaciones individuales son todas monofásicas, aplicándose las siguientes expresiones:

$$S = \frac{2\rho PL}{\delta U} \quad (1.24)$$
$$I = \frac{P}{U \cos \varphi}$$

Donde,

- I es la intensidad prevista en la instalación (A)
- U es la tensión de alimentación (V)
- L es la Longitud de la línea (m)
- $\cos \varphi$ es el factor de potencia del circuito.
- P es la potencia prevista en la instalación (W)
- S es la sección de la línea (mm²)
- ρ es la resistividad en $\Omega \frac{\text{mm}^2}{\text{m}}$
- δ es la máxima caída de tensión permitida (V)

Toda la instalación utilizará cables de cobre y se realizará por conductores aislados en el interior de tubos empotrados en obra.

Calculamos la resistividad del cobre a 70°C por la utilización de aislante termoplástico tipo PVC.

$$\rho_{70} = \rho_{20} (1 + \alpha \Delta T) = 0,018 \cdot [1 + 0,00392 \cdot (70 - 20)] = 0,021 \Omega \frac{\text{mm}^2}{\text{m}} \quad (1.25)$$

Las intensidades máximas admisibles serán las indicadas en la tabla de la norma **UNE 20460-5-523** para una instalación B1 (cables de cobre aislados en el interior de tubos empotrados) para PVC2.

La máxima caída de tensión permitida en toda la instalación es del 10% , según la previsión tenida para el cálculo y selección de componentes ($U=24V$).

Tramo	L (m)	Caída de tensión
1-Convertidor- cuadro c.a.	4	1,5%
2-Cuadro c.a. - lavadora	6	1,5%
3-Cuadro c.a. – resto de receptores	12	1,5%

Tabla 14. Caída de tensión máxima en c.a.

Se utilizarán cables no propagadores de incendio y con emisiones de humos y opacidad reducida. En nuestro caso seleccionamos cables del tipo ES07Z1-K(AS): Unipolar aislado de tensión asignada 450/750V, conductor de cobre clase 5 (K-flexible), aislamiento termoplástico a base de poliolefina (Z1)*.

***Nota:** A efectos prácticos se calcula igual que si fuera aislamiento de PVC tanto para la temperatura máxima de trabajo como para la utilización de tablas del REBT.

Tramo	ρ_{70}	P	L	V	δ	cos ϕ	I	S _{obtenida}	S _{asignada}
1	0,021	2664	4	230	3,45	1	11,58	0,56	1,5
2	0,021	2300	6	230	3,45	1	10	0,73	4*
3	0,021	364	12	230	3,45	1	1,58	0,23	2,5*

Tabla 15.

* Secciones mínimas según tabla 1 **ITC-BT-25**

No debemos exceder la longitud asignada, siendo las secciones y los diámetros de los tubos (según tabla 1 de la **ITC-BT-25**):

Tramo	S (mm ²)	Diámetro tubo (mm)
1	1,5	16
2	4	20
3	2,5	20

Tabla 16.

Los conductores de protección y neutro serán de la misma sección.

I. Cálculo de protecciones.

Como protecciones utilizaremos fusibles para la parte de corriente continua e interruptores magnetotérmicos y diferencial para la parte de corriente alterna.

Corriente continua

En la **ITC-BT-22** se detalla la protección contra sobrecargas en las instalaciones de baja tensión. Se elegirá como protección un fusible de tipo gG, es decir, un cartucho fusible de uso general limitador de corriente, que es capaz de interrumpir todas las corrientes desde su intensidad asignada I_n hasta su poder de corte asignado. Sirven para sobrecargas y cortocircuitos. En la norma **UNE-60269** se indica que un fusible con curva de fusión tipo gG:

$$I_b \leq I_n \leq I_z$$

$$I_2 \leq 1,45I_z \quad (1.26)$$

donde

- I_b es la intensidad del circuito según la previsión de cargas
- I_n es la intensidad nominal del circuito de protección (el calibre asignado)
- I_2 es la intensidad que asegura el funcionamiento efectivo del dispositivo de protección. En fusibles es la intensidad de fusión I_f en 5 sg
- I_z es la intensidad máxima admisible del conductor

En fusibles se cumple que $I_2 = I_f$ y en este caso $I_f = 1,60 I_n$
Por tanto,

$$I_b \leq I_n \leq 0,9I_z \quad (1.27)$$

Tramo	I_b	I_n (asignado)	$0,9I_z$
Paneles-regulador	63,12	No cumple	$0,9 \cdot 77 = 69,30$
Aumentamos sección a 35mm ²	63,12	80A	$0,9 \cdot 96 = 86,4$
Regulador-batería	63,12	80A	$0,9 \cdot 96 = 86,4$
Regulador-convertidor	12,89	16A	$0,9 \cdot 18,5 = 16,65$
Regulador-cuadro c.c.	2,75	20A	$0,9 \cdot 24 = 21,6$

Tabla 17. intensidades según tramo.

*En el caso que no cumple debemos aumentar la sección para dicha derivación individual.

Corriente Alterna. Protección contra sobrecargas.

La protección constará de estos elementos:

- Un interruptor general automático IGA, de corte omnipolar con accionamiento manual.
- Un Interruptor diferencial que garantice la protección contra contactos indirectos, con una intensidad diferencial-residual máxima de 30mA.
- Un interruptor automático de corte omnipolar con accionamiento manual

Para el cálculo del interruptor general automático(IGA) se deberá cumplir:

$$I_b \leq I_n \leq I_z \quad (1.28)$$



Proyecto de instalación fotovoltaica-REBT

donde

- I_b es la intensidad del circuito según la previsión de cargas
- I_n es la intensidad nominal del circuito de protección (el calibre asignado)
- I_z es la intensidad máxima admisible del conductor.

$11,58 \text{ A} \leq \text{no cumple} < 13,5 \text{ A} \rightarrow$ aumentamos la sección

$11,58 \text{ A} \leq 16 \text{ A} < 18,5 \text{ A}$

Nota: Como los circuitos de los interruptores por especificación del REBT tienen un calibre superior al IGA debemos volver a aumentar la sección del conductor y su calibre hasta ser superior de 20A (calibre del circuito para la lavadora).

$11,58 \text{ A} \leq 25 \text{ A} < 32 \text{ A}$

El IGA será de un calibre de 25A y la sección del tramo 1 en c.a. de 6 mm^2

Pondremos un interruptor diferencial de 25A para la protección de ambos circuitos.

Cada circuito estará protegido por un interruptor automático de corte omnipolar con accionamiento manual con una intensidad asignada según indica la siguiente tabla:

Circuito	I_b	I_n	I_z
T-2	10	20	24
T-3	1,58	16	16

Tabla 18. Intensidades del interruptor de corte

Pondremos PIA's de 20A y 16A respectivamente en cada circuito. Cumpliendo con las especificaciones de la tabla 1 **ITC-BT-25**.

Esquema de la instalación.

