

Escola Universitària Politécnica de Mataró

Centre adscrit a:



UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA

Enginyeria Tècnica Industrial: Especialitat Electrònica Industrial

INSTALCIÓ FOTVOLTAICA DE UNA CASA AISLADA

Memoria

NOM: Antonio Expósito López

PONENT: Joan Triadó Aymerich

PRIMAVERA 2011



**TecnoCampus
Mataró-Maresme**

Dedicatoria

Gracias a mi mujer, mis hijos y la insistencia de mis padres (aunque haya sido un poco tarde), sin la cooperación de ellos no hubiera sido posible realizar esta carrera

Agradecimientos

A los profesores Joan Triadó i Aymerich, Salvador Alepuz i Menéndez, a mis compañeros de trabajo Alfonso del Amor, Francisco Navarro, Jesús Toro, Joan Díaz, Francisco Javier Castro y Oscar González, a mi amiga Catalina Benítez, a mi tías Encarna Vergara García y María Dolores López Rodrigues, a mi primo-tío Manuel Palomino Expósito, a mis amigos Juan Antonio González Curado, Marta Cortadella Ciscart y Víctor Paz Paz.

Resumen

El proyecto trata sobre el abastecimiento eléctrico de una vivienda rural, por medio de una instalación solar fotovoltaica, esta situada en la aldea de Izbó, en las estribaciones de sierra nevada, cerca de Lanjarón (Granada). La casa se utiliza exclusivamente en fines de semana y en periodos vacacionales entre los meses de mayo y septiembre, dispone de dos plantas y una buhardilla, la superficie total es de 190 m². Se hacen los cálculos de la instalación que es la causa principal para calcular las dimensiones de la placa fotovoltaica y el dimensionado de la instalación eléctrica.

Resum

El projecte tracta sobre el proveïment elèctric d'un habitatge rural, per mitjà d'una instal·lació solar fotovoltaica, aquesta situada en el llogaret de Izbó, en les estribacionones de serra nevada, prop de Lanjarón (Granada). La casa s'utilitza exclusivament en caps de setmana i en períodes vocacionals entre els mesos de maig i setembre, disposa de dues plantes i una golfa, la superfície total és de 190 m². es fa els càlculs de la instal·lació que és la causa principal per calcular les dimensions de la placa fotovoltaica i el dimensionament de la instal·lació elèctrica.

Abstract

The project treats on the electrical supply of a rural housing, by means of a solar photovoltaic installation, this placed in Izbó's village, in the spurs of covered with snow saw, near Lanjarón (Granada). The house is in use exclusively in weekends and in vacation periods between May and September, has two plants and a garret, the total surface is of 190 m². There are done the calculations of the installation that is the mainspring to calculate the dimensions of the photovoltaic plate and the measured one of the electrical installation.

Índice

Índice de figuras.....	VII
Índice de tablas.....	IX
Glosario de términos.....	XI
1. Objetivo.....	1
2. Justificación del proyecto.....	3
3. Especificaciones del proyecto.....	5
4. Localización de la vivienda.....	7
5. Alternativas y elección.....	9
5.1 Ventajas de las energías renovables.....	9
6. Introducción al efecto fotovoltaico.....	11
6.1 La célula solar fotovoltaica.....	12
6.1.1 El silicio.....	12
6.1.2 La unión p-n.....	12
6.2 El módulo solar fotovoltaico.....	14
6.2.1 Composición típica del módulo solar fotovoltaico.....	16
6.3 Introducción los componentes del módulo solar fotovoltaico.....	16
6.3.1 Encapsulante.....	16
6.3.2 Protección posterior.....	17
6.3.3 Bastidor o marco soporte.....	17

6.3.4 Contactos eléctricos de salida.....	17
6.3.5 Diodos.....	18
6.3.6 Características eléctricas.....	18
6.3.7 Intensidad de cortocircuito (ISC) y tensión de circuito abierto (VOC).....	20
6.3.8 Potencia pico o potencia máxima (P _{MAX}).....	20
6.3.9 Intensidad y voltaje en el punto de máxima potencia.....	21
6.3.10 Factor de forma (FF).....	21
6.3.11 Influencia de la temperatura.....	22
6.3.12 El punto caliente.....	22
7. Elementos de la instalación fotovoltaica.....	23
7.1 El generador solar fotovoltaico.....	24
7.1.1 Inclinación y orientación.....	25
7.2 El acumulador.....	25
7.2.1 Características eléctricas.....	27
7.3 El regulador.....	28
7.4 Inversor.....	30
8. Instalación fotovoltaica.....	33
8.1 Radiación diaria.....	33
9. Dimensionado de la instalación fotovoltaica aislada.....	35
9.1 Proceso general.....	35
9.2 Potencia máxima diaria.....	35

9.3 Cálculo del inversor.....	36
9.3.1 Cálculo de la energía máxima diaria.....	37
9.4 Descripción del cálculo del número de módulos fotovoltaicos.....	39
10. Aplicación de los cálculos.....	41
10.1 Radiación solar.....	41
10.2 Cálculo de la batería.....	47
10.3 Cálculo del regulador.....	49
10.4 Colocación de los módulos fotovoltaicos.....	49
11. Cálculos del cableado de la instalación.....	51
11.1 Cálculo de la sección.....	51
11.2 En corriente continua.....	51
11.3 Cálculo corriente continua.....	52
11.4 Cálculo de la sección de los cableados módulos fotovoltaicos hasta el regulador...53	
11.5 Cálculo de la sección del conductor del regulador a la batería.....	55
11.6 Cálculo de la sección del regulador al inversor y dispositivos.....	55
12. Mantenimiento de la instalación fotovoltaica.....	57
12.1. Mantenimiento de los módulos solares.....	58
12.2. Mantenimiento de Sistema de regulación y otros equipos.....	58
12.3. Acumuladores.....	58
13. Instalación eléctrica.....	61

13.1. Descripción de la casa aislada.....	61
13.2. Datos de partida (Relación de los consumos a instalar).....	62
13.3. Subdivisión de la instalación.....	62
13.3.1 Descripción de los circuitos de la figura.....	63
13.4 Previsión de la carga.....	63
14.Elección del cable.....	65
14.1. Código de colores.....	65
14.2. Tipo de manguera.....	65
15. Cálculo de las secciones de los conductores y protecciones.....	67
15.1 Cálculo circuito PA1.....	68
15.2. Cálculo circuito PF1.....	69
15.3. Cálculo circuito PF2.....	70
15.4. Cálculo circuito PF3.....	71
15.5. Cálculo circuito PF4.....	72
15.6. Conexiones de tomas de corriente.....	73
15.7. Tubos protectores.....	73
15.7.1. Tubos protectores para instalación fotovoltaica.....	74
15.7.2. Tubos protectores para instalación eléctrica.....	75
16. Protecciones.....	77
16.1 Protecciones y elementos de seguridad.....	77
16.2. Derivación individual: Protecciones.....	78

16.3. Cálculo de la corriente de cortocircuito.....	78
16.4. Instalación de toma de tierra.....	79
17. Estudio ambiental.....	81
17.1 Introducción.....	81
17.2. Ahorro de emisiones contaminantes y CO_2	81
17.3. Contaminación acústica.....	82
17.4. Impacto visual.....	82
18. Conclusiones.....	83
19. Referencias.....	85

Índice de figuras

Fig. 4.1. Vista Google Earth.....	6
Fig. 4.2. Casa aislada del barranco zarza.....	8
Fig. 6.1. Célula solar fotovoltaica.....	11
Fig.6.2. Generación eléctrica por efecto fotovoltaico en una unión p-n.....	12
Fig. 6.3. Proceso de soldadura de la rejilla metálica durante el ensamblaje del panel.....	13
Fig. 6.4. Panel fotovoltaico (A-150 24V 6x12 5”).....	14
Fig. 6.5. Curva característica I-V del panel fotovoltaico.....	19
Fig. 7.1. Esquema básico de una instalación fotovoltaica aislada.....	23
Fig. 7.2. Batería Fiamm 6OPzS-750.....	27
Fig. 7.3. Regulador solarix 2070.....	28
Fig. 7.4. Inversor – cargador batería 24V – 2600 VA senoidal.....	30
Fig. 8.1. Concepto de “Horas Sol Pico”.....	33
Fig.10.1. PVGIS.....	41
Fig. 10.2. Irradiación durante el periodo de un año.....	42
Fig. 10.3. Irradiación solar diaria (horas).....	43
Fig. 10.4. Cantidad estimada de electricidad de cada mes.....	43
Fig.11.1. Esquema de la instalación fotovoltaica.....	56
Fig. 13.1. Subdivisión de la instalación.....	63

Índice de tablas

Tabla 6.1. Especificaciones técnicas de la placa solar ATERSA A150.....	15
Tabla 6.2. Características físicas.....	15
Tabla 7.1. Características de la batería fiamm 6OPzS-750.....	27
Tabla 7.2. Características del regulador SOLARIX 2070.....	29
Tabla 7.3. Características físicas del regulador SOLARIX 2070.....	29
Tabla 7.4. Características del inversor STECA C2600.....	30
Tabla 7.5. Características físicas del inversor STECA C2600.....	30
Tabla. 9.1. Cargas de consumo típicas en electrificación aislada.....	35
Tabla.9.2. Distintos tipos de inversores.....	36
Tabla.10.1. Resultados de PVGIS.....	44
Tabla.10.2. Especificaciones técnicas de la placa solar ATERSA A150.....	45
Tabla.10.3. Baterías estacionarias monobloc disponibles.....	47
Tabla.10.4. Reguladores disponibles.....	49
Tabla.11.1. Intensidades admisibles (A) al aire 40° C. de conductores con carga y naturaleza del aislamiento (Fuente: RBT año 2002).....	54
Tabla.13.1. Equipos de consumo.....	62
Tabla. 13.2. Previsión de las cargas.....	64
Tabla.15.1. Normas de las tomas de corriente.....	73
Tabla. 15.2. Diámetro exterior de los tubos protectores (ITC-BT-2).....	74
Tabla.16.3. Intensidades según secciones.....	78

Glosario de términos.

Ah	Amperios hora
Ahd	Amperios hora diarios
CA	Corriente Alterna
CC	Corriente Continua
CO ₂	Emisiones contaminantes a la atmosfera
Daut	Días de autonomía
e	Caída de tensión
EUPMT	Escuela Universitaria Politécnica de Mataró
FF	Factor de forma
HSP	Número de horas diarias de radiación solar
I	Intensidad
Im	Intensidad máxima
ISC	Intensidad de cortocircuito
L	Longitud
S	Sección del conductor del cable
P4x	Grado de protección para las personas
PFC	Proyecto final de carrera
PUGIS	Programa de cálculo de la irradiación solar
REBT	Reglamento electrotécnico de baja tensión

Rt	Resistencia de tierra
U	Tensión
Rt	Resistencia de tierra
VOC	Tensión de circuito abierto

1. Objetivo

El objetivo del proyecto consiste en abastecer de energía eléctrica fotovoltaica que permita el aprovechamiento de la energía del sol para producir electricidad que se pueda emplear para el consumo directo en la vivienda que se encuentra fuera de la población de Izbor (Granada).

2. Justificación del proyecto

De todas las energías renovables, una de las de menor implantación en la comunidad autónoma de Andalucía ha sido la energía solar fotovoltaica, principalmente porque comparativamente con las demás la tecnología fotovoltaica es muy reciente. Su implantación en Andalucía ha sido poco menos que testimonial hasta fechas recientes.

En la última década comienza un desarrollo creciente, más patente en la segunda mitad de la década, y tiene visos de convertirse en un sector de actividad industrial asentado y generador de riqueza y empleo.

Para impulsar dicho desarrollo, se iniciaron una serie de actividades de apoyo a la energía fotovoltaica que comienzan con la elaboración de un Atlas de Radiación Solar en la comunidad autónoma de Andalucía, con los consiguientes periodos de adquisición de datos, y tienen su continuidad con los sucesivos programas de ayudas para la promoción de instalaciones fotovoltaicas y estudios de viabilidad de instalaciones que incorporaran esta tecnología.

3. Especificaciones del proyecto

El objetivo del proyecto consiste en abastecer de energía eléctrica fotovoltaica a la vivienda que se encuentra a las afueras de la población de Izbor, con el fin:

- Diseño del sistema de generación fotovoltaica y dispositivos asociados
- Diseño del sistema de dispositivos que consumen energía eléctrica de la casa

4. Localización de la vivienda

Comarca: el Valle de Lecrín

Altitud: 338 m

Las coordenadas de la casa:

Latitud: 36°53'39.29"N

Longitud: 3°31'32.90"O

Situación: a la derecha con la presa de Beznar.

Accesos: desde la carretera de Izbor 15 minutos

Mapas: .Izbor



Fig. 4.1. Vista Google Earth



Fig. 4.2. Casa aislada del barranco zarza.

5. Alternativas y elección

Las opciones que se plantean son diversas, como por ejemplo, las energías Convencionales. Este tipo de energías se generan en centrales eléctricas y suponen un gran gasto económico, ya que requieren la instalación de tendido eléctrico hasta la casa, no respeta el medio ambiente, por lo que se desecha esta opción.

Ante esta situación, se ha decidido hacer uso de las energías renovables ya que son Respetuosas con el medio ambiente:

5.1 Ventajas de las energías renovables

-No producen emisiones de CO₂ ni otros gases contaminantes a la atmósfera.

-No generan residuos de difícil tratamiento.

Además, son autóctonas (no dependen de ningún suministro externo). Dentro de las energías renovables nos encontramos con un gran grupo de posibilidades (energía solar fotovoltaica, hidráulica, eólica, geotérmica, biomasa, etc.) de las cuales por sus características y forma de generar energía sólo se podría dar uso a un número determinado de ellas que es la energía solar fotovoltaica.

Se observa la característica de nuestra instalación y las necesidades, se decide realizar un estudio en base a la energía solar fotovoltaica por ser un sistema que no tiene partes móviles, no genera ruidos ni emite gases y todos los componentes se encuentran dentro de la vivienda, excepto las placas solares que se Podrán integrar en el tejado, reduciendo el impacto visual que ocasionara.

6. Introducción al efecto fotovoltaico

El efecto fotoeléctrico es el desprendimiento de electrones de ciertos materiales por la acción de luz u otra radiación electromagnética. Los diferentes efectos fotoeléctricos son tres:

- Fotoemisivo o foto externo: provoca en el material un arranque de electrones con liberación de los mismos. En una célula fotoeléctrica operada por este principio, los electrones emitidos se recolectan por un electrodo positivo. Bajo la influencia de un voltaje aplicado se crea una corriente eléctrica linealmente proporcional a la intensidad de luz incidida.
- Fotoconductor o fotointerno: modifica la conductividad eléctrica del material. El incremento en la conductividad eléctrica es proporcional a la intensidad de luz recibida y causa un incremento en la corriente de un circuito externo. El efecto fotoconductor no genera energía pero se puede emplear en elementos sensores de luz (alumbrado público, automóvil...).
- Fotovoltaico: crea una fuerza electromotriz en el material (la presencia de luz hace que se genere una fuerza electromotriz a través del límite de dos sustancias). En las células solares fotovoltaicas, esa fuerza electromotriz que aparece genera un paso de corriente proporcional al flujo luminoso que reciben. Tiene la ventaja sobre los demás procesos de no requerir tensión auxiliar, por eso es utilizado para la conversión directa de energía solar en energía eléctrica.



Fig. 6.1. Célula solar fotovoltaica.

6.1 La célula solar fotovoltaica

La fabricación de las células fotovoltaicas son los semiconductores. La principal propiedad de este tipo de materiales es que la energía necesaria para separar a ciertos electrones de su núcleo es similar a la energía de los fotones que constituyen la luz solar. Se les llama semiconductores debido a su comportamiento eléctrico.

6.1.1 El silicio

El semiconductor más utilizado para la construcción de células solares fotovoltaicas es el silicio, y en función de la ordenación de los átomos en la célula puede presentarse como silicio amorfo, policristalino o monocristalino.

Se utiliza mucho en la industria electrónica de componentes como base de todos los transistores, circuitos integrados, diodos, y otros componentes electrónicos. Por ello, la tecnología del silicio está bien asentada.

6.1.2 La unión p-n

El sol, al incidir sobre la célula fotovoltaica transfiere a los electrones de la zona “n” la suficiente energía como para saltar ese campo eléctrico y llegar a la zona “p”. Ese electrón sólo podrá volver a su zona por el circuito exterior al que se conecta la célula generando una corriente eléctrica.

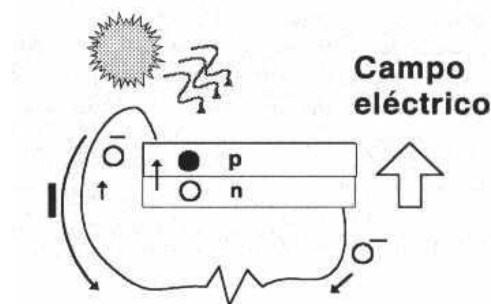


Fig.6.2. Generación eléctrica por efecto fotovoltaico en una unión p-n

Los contactos eléctricos que se hacen en ambas caras de la célula solar cumplen la función de recoger esa corriente eléctrica. La cara que no recibe luz solar se recubre totalmente, mientras que la cara expuesta al sol sólo se cubre parcialmente mediante una rejilla metálica. Esto permite recoger de forma eficiente los electrones generados en el interior de la célula, además de permitir que los rayos solares alcancen un porcentaje alto del área del material semiconductor.

Se obtiene así una especie de pila que sólo funciona cuando recibe luz solar. Esa “pila”, cuando incide sobre la luz solar, ofrece una diferencia de tensión de 0,5 V.



Fig. 6.3. Proceso de soldadura de la rejilla metálica durante el ensamblaje del panel.

6.2 El módulo solar fotovoltaico

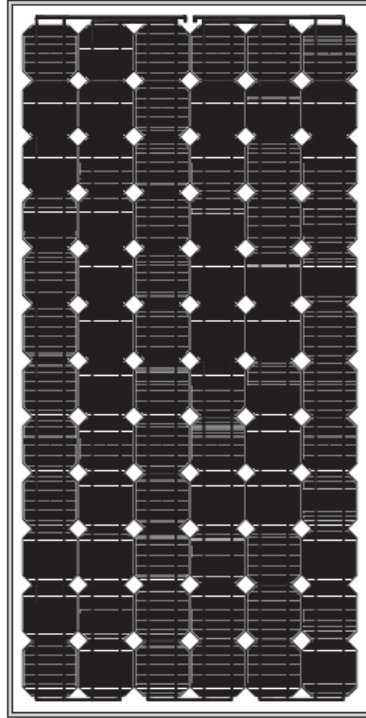


Figura. 6.4. Panel fotovoltaico (A-150 24V 6x12 5”).

Está constituido por células cuadradas fotovoltaicas de silicio monocristalino de alta eficiencia, de un tamaño de 5”, capaces de producir energía con tan sólo un 4-5% de radiación solar. Este hecho asegura una producción que se extiende desde el amanecer hasta el atardecer, aprovechando toda la potencia útil posible que nos es suministrada por el Sol.

Las conexiones redundantes múltiples en la parte delantera y trasera de cada célula, ayudan a asegurar la fiabilidad del circuito del módulo. Gracias a su construcción con marcos laterales de aluminio anodizado y el frente de vidrio, de conformidad con estrictas normas de calidad, estos módulos soportan las inclemencias climáticas más duras, funcionando eficazmente sin interrupción durante su larga vida útil.

La serie de 72 células de alta eficiencia, está totalmente embutida en EVA y protegida contra la suciedad, humedad y golpes por un frente especial de vidrio templado

antirreflectante de bajo contenido en hierro y una lámina de back-sheet en su parte posterior, asegurando de esta forma su total estanqueidad.

La caja de conexiones interperie con el terminal positivo y el negativo, lleva incorporados tres diodos de derivación, que evitan la posibilidad de avería de las células y su circuito, por sombreados parciales de uno o varios módulos dentro de un conjunto, elevando así la eficacia del módulo en cualquier circunstancia.

Potencia	150W
Número de células en serie	72 de 5"
Corriente máxima	4,75 A
Tensión máxima	34,5 V
Corriente en cortocircuito	5,20 A
Tensión en circuito abierto	43,2 V

Tabla 6.1. Especificaciones técnicas de la placa solar ATERSA A150

En la siguiente tabla se pueden ver el resto de especificaciones de la placa fotovoltaica, pero, para más información se puede observar en el [anexo I](#). Las dimensiones son las de la placa sin estructura de sujeción.

- P_{máx}: Se llama potencia pico (unidades Wp) a la máxima potencia que puede generar la placa con una radiación incidente de 1000 W/m² y A.M. 1.5 (condiciones de día claro)

Altura	1618 mm
Ancho	814 mm
Profundidad	35 mm
Peso	14,8 Kgr
Células fotovoltaica placa	72

Tabla 6.2. Características físicas

6.2.1 Composición típica del módulo solar fotovoltaico

El módulo fotovoltaico normalmente consta de:

- Células solares fotovoltaicas y sus conexiones eléctricas.
- El encapsulante que cubre las células por arriba y por abajo.
- Una cubierta exterior transparente (cara activa del panel).
- Un protector posterior especialmente diseñado contra la humedad.
- El bastidor o marco que permite una estructura manejable.
- Los contactos de salida (el positivo y el negativo) en su caja de conexiones.
- Unos diodos para protección que van en la caja de conexiones.

6.3 Introducción los componentes del modulo solar fotovoltaico

Cara activa o cubierta exterior

Al estar expuestas a la acción de agentes climatológicos adversos, las células se protegen con una cubierta delantera transparente. Para este inconveniente se utiliza es el vidrio templado con bajo contenido en hierro, que tiene ventajas respecto a otros materiales, ya que ofrece una buena protección contra impactos y a la vez tiene excelente transmisión a la radiación solar.

Por el exterior, el vidrio, tiene una superficie lisa, para no retener nada que dificulte el paso de la radiación solar. Por el interior es rugosa para aumentar la superficie de contacto y mejorar la adherencia con el encapsulante.

6.3.1 Encapsulante

El encapsulante suele ser el que menos vida útil tiene, y en muchas ocasiones determina el tiempo que el módulo puede funcionar.

El encapsulante da cohesión al conjunto al rellenar el volumen existente entre las cubiertas delantera y trasera y amortigua las vibraciones e impactos que se pueden producir. Pero su

misión principal es la de proteger las células solares y los contactos eléctricos de la humedad. Los materiales que se emplean tienen una alta transmisión de la radiación solar y baja degradabilidad frente a las radiaciones ultravioletas y al paso del tiempo.

Se utiliza el acetato de etilen-vinilo, que es un polímero transparente que además de tener igual índice de refracción que el vidrio, tiene también ventajas en el proceso de laminación del módulo.

6.3.2 Protección posterior

Se encarga de proteger contra los agentes atmosféricos. La protección posterior será acrílica. La protección posterior tiene tres capas, tedlar-poliéster-tedlar.

La protección posterior en su cara interna es de color blanco para favorecer el rendimiento del módulo, ya que refleja la radiación que incide entre los huecos que dejan las células, radiación que posteriormente se refracta en las rugosidades del vidrio para incidir finalmente sobre las células.

6.3.3 Bastidor o marco soporte

Protege de golpes laterales, proporciona rigidez mecánica al conjunto y lo hace manejable. El marco soporte facilita la instalación del módulo y favorece el montaje en estructuras que agrupan a varios módulos. Son piezas ensambladas entre sí y con un cordón de silicona para un perfecto sellado.

Se emplea el aluminio anodizado. A veces el marco puede llevar un tratamiento especial, como algunos casos en ambiente marino.

6.3.4 Contactos eléctricos de salida

Permiten la evacuación de energía eléctrica producida por el conjunto de células.

Lo adecuado es que incorporen una caja de conexiones estanca y sujeta al marco por la parte en la que salen los terminales de interconexión. Que el módulo incorpore una caja de

Conexiones de calidad es muy importante, ya que debe garantizar que no penetre la humedad en esa zona y, a la vez, facilitar el cableado para que la conexión de una gran cantidad de módulos no sea complicada.

6.3.5 Diodos

Se instalan para proteger al panel solar fotovoltaico de efectos negativos producidos por sombras parciales sobre su superficie. Este efecto, denominado efecto sombra.

6.3.6 Características eléctricas

Las células fotovoltaicas del panel proporcionarán más o menos electricidad en función de la mayor o menor cantidad de energía solar que incida sobre su superficie. Pero además, la respuesta del panel o módulo solar frente a la radiación solar queda determinada por todos los materiales empleados.

Además de información general del producto, el tipo de célula, las características físicas del panel (ancho, largo, espesor y el peso), el tipo de caja de conexión, esquema o descripción con las distancias de los agujeros de fijación del marco, aparece lo que se denomina la curva I-V (curva intensidad-voltaje) del módulo solar.

La curva característica I-V de un módulo fotovoltaico informa sobre los distintos valores de tensión e intensidad que puede proporcionar ese módulo. Se obtiene en condiciones de medida de uso universal, conectando el panel a una resistencia cuyo valor va variando de cero a infinito mientras se miden los distintos valores que resultan de intensidad y tensión. Las condiciones estándar para medir las respuestas de los paneles fotovoltaicos son:

- Condiciones CEM (condiciones estándar de medición). Se corresponden a una intensidad de luz radiante de 1000 W/m^2 , una distribución espectral (Masa de Aire) AM 1,5 y una temperatura de célula de $25 \text{ }^\circ\text{C}$. Aquí se miden la potencia máxima (P_{MAX}) que puede suministrar el panel, la intensidad de cortocircuito (ISC) y la tensión de circuito abierto (VOC).

• Condiciones TONC (temperatura de operación nominal de la célula). Se corresponden a una intensidad de luz radiante de 800 W/m^2 , una velocidad de 1 m/s del viento sobre el módulo, una distribución espectral AM 1,5 y una temperatura ambiente de $20 \text{ }^\circ\text{C}$. El valor TONC de muchos módulos del mercado actual se encuentra entre $40 \text{ }^\circ\text{C}$ y $46 \text{ }^\circ\text{C}$.

Los parámetros que se reflejan en una curva I-V son:

- Intensidad de cortocircuito (ISC)
- Intensidad en el momento de máxima potencia (IMAX)
- Tensión de circuito abierto (VOC)
- Tensión en el momento de máxima potencia (VMAX)
- Potencia pico o potencia máxima (PMAX)
- Las condiciones de operación.

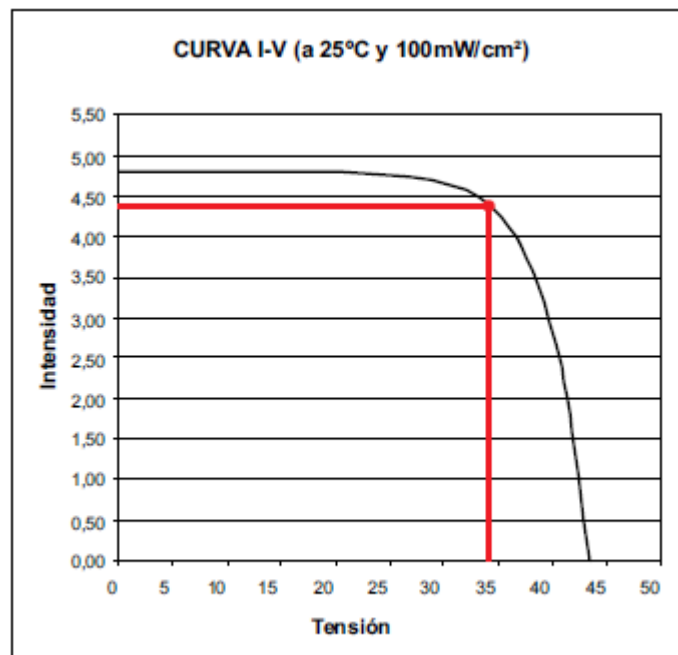


Fig. 6.5. Curva característica I-V del panel fotovoltaico.

6.3.7 Intensidad de cortocircuito (ISC) y tensión de circuito abierto (VOC)

Es la intensidad máxima que se puede obtener del panel solar, en las condiciones CEM, provocando un cortocircuito. Al no haber resistencia al paso de la corriente el voltaje es cero.

Es el voltaje máximo que se puede obtener del panel solar, en las condiciones CEM, en circuito abierto. Al no haber conexión entre los bornes del panel, la intensidad es nula.

6.3.8 Potencia pico o potencia máxima (P_{MAX})

La potencia que es capaz de suministrar un panel se da en vatios pico (W_p). El panel fotovoltaico funciona a potencia máxima cuando proporciona una corriente y una tensión tal que su producto es máximo ($I_{MAX} \times V_{MAX} = P_{MAX}$). A ese punto de coordenadas (I_{MAX} , V_{MAX}) se le denomina punto de máxima potencia.

Normalmente un panel no trabaja a potencia máxima debido a varios condicionantes, entre otros a que la resistencia exterior está dada por las condiciones particulares del circuito al que esté conectada (la instalación).

Si se colocase un panel orientado al sol en el exterior de la atmósfera terrestre, recibiría aproximadamente una intensidad de radiación de 1354 W/m^2 , es la llamada constante solar. A medida que la radiación solar penetra en la atmósfera, va perdiendo intensidad al atravesar aire, vapor de agua, polvo, contaminación. Depende de algún otro factor, pero la energía solar que llega a la superficie terrestre, a nivel del mar, y en las horas centrales de un día soleado, tiene una intensidad de 1000 W/m^2 . Los otros 354 W/m^2 se pierden.

Si durante una hora, un módulo solar fotovoltaico de 75 Wp de P_{MAX} recibe una radiación de 1000 W/m^2 , producirá 75 Wh (vatios hora). Si recibe menor radiación, el módulo generará proporcionalmente menor energía.

6.3.9 Intensidad y voltaje en el punto de máxima potencia

Las mediciones ISC y VOC son casos extremos que se realizan sin conectar ninguna carga al panel solar. En la vida real del módulo, lo normal es que esté conectado a una carga (un consumo, una batería,...) y que fluya una corriente eléctrica al circuito exterior del módulo, circuito que es real y tiene una determinada resistencia al paso de la corriente.

Entonces, el trabajo del panel viene dado por la intensidad (I) y la tensión (V) que determine la resistencia del circuito y siempre serán valores más pequeños que ISC y VOC. A la intensidad y al voltaje que correspondan a la potencia máxima que es capaz de generar el panel se les denomina (aunque no sea correcto) intensidad máxima (IMAX) y voltaje máximo (VMAX).

En la curva I-V de la página anterior, se observa que VOC es mayor que VMAX, y que ISC es mayor que IMAX. El nombre de intensidad máxima y de voltaje máximo se les da por corresponder al punto de máxima potencia.

Sobre el hecho de que el panel solar tiene que cargar un sistema de acumulación de 12 V (caso típico), y para hacerlo el panel siempre tendrá que tener una tensión superior a 12 V, aún en condiciones de baja pero aprovechable radiación solar.

6.3.10 Factor de forma (FF)

Es un concepto técnico, poco conocido y muy válido. FF siempre será un valor más pequeño que 1 y el módulo fotovoltaico será tanto mejor cuanto más se aproxime a 1 su factor de forma. Entre 0,65 y 0,84 se encuentran muchos modelos de paneles. Las células de silicio monocristalino suelen tener mejor valor.

$$FF = \frac{P_{MAX}}{I_{SC} \cdot V_{OC}} \quad (6.1)$$

6.3.11 Influencia de la temperatura

Al colocar el panel al sol se produce electricidad, pero también se provoca el calentamiento de las células. La temperatura de trabajo de las células puede ser de 20° a 25 °C superior a la temperatura ambiente. Y, al igual que ocurre en muchos dispositivos eléctricos y/o electrónicos, el exceso de temperatura resta eficacia. Esa pérdida de eficacia se puede cifrar en un 0,5% menos de potencia por cada grado de temperatura por encima de 25 °C.

6.3.12 El punto caliente

En lo que se refiere al problema del punto caliente, lo mejor será poner un ejemplo. Sea un módulo de 36 células asociadas en serie, de las cuales 35 producen igual y la restante produce muy por debajo de las demás.

Si dentro del módulo una célula se encuentra sombreada y las otras no, se ve obligada a comportarse como una carga. En vez de producir energía, la consume, y comienza a disipar la energía generada por las demás. La célula sombreada eleva su temperatura. Y este problema puede llegar a dañar de forma irreversible el encapsulante.

Para resolver este inconveniente, se colocan diodos de protección dentro de la caja de conexiones del módulo. Estos diodos van conectados en paralelo con grupos de células asociadas en serie. Si el módulo trabaja correctamente no influyen en el funcionamiento, pero cuando algunas células se polarizan inversamente, el diodo proporciona un camino de paso a la corriente y limita la potencia a disipar por célula.

El problema de punto caliente puede deberse a que el montaje de módulos solares se haya realizado en los meses del verano, sin tener en cuenta las posibles sombras arrojadas sobre las células por cualquier obstáculo en otras épocas del año, o también que el módulo tenga una zona mucho más sucia que otra y que por ello algunas células reciban mucho menos radiación que otras

7. Elementos de la instalación fotovoltaica

Una instalación fotovoltaica se puede describir como una instalación eléctrica que incluye todos o algunos de los siguientes elementos:

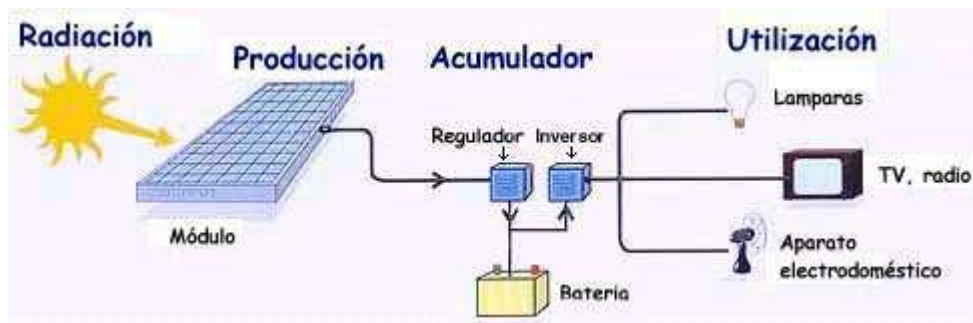


Fig. 7.1. Esquema básico de una instalación fotovoltaica aislada

- El generador solar fotovoltaico. Compuesto de un número determinado de módulos fotovoltaicos convenientemente conectados, situados de tal forma que reciban sobre su superficie la energía solar necesaria para la generación fotovoltaica calculada en cada aplicación.
- El sistema de acumulación. Tiene la función principal de acumular la energía generada en exceso en momentos de bajo consumo o alta insolación, para entregarla cuando se produzcan consumos altos o haya baja o nula insolación.
- El acondicionamiento de la potencia. Son un conjunto de equipos eléctricos y electrónicos que trabajan entre la generación, acumulación y consumo de electricidad. Además aportan el control y la protección necesaria para la instalación. Los más conocidos son el regulador y el convertidor.
- Los consumos. Pueden ser de origen y características diversas pero básicamente se pueden hacer dos grandes grupos, los consumos en corriente continua (CC) y los consumos en corriente alterna (CA).

Se procede a comentar con más detalle los siguientes cuatro elementos:

- El campo solar fotovoltaico o generador solar fotovoltaico.
- El regulador.
- El acumulador.
- El convertidor.

7.1 El generador solar fotovoltaico

Uno o varios paneles constituyen un generador solar fotovoltaico. Como norma general de aplicación en las instalaciones de energía solar fotovoltaica, todas las células que forman un módulo responden a la misma descripción y a la misma curva de I-V. Y todos los módulos que forman un generador responden a la misma descripción y a la misma curva de I-V. Es decir, no se deben montar módulos de distintas características y potencias. Todos los módulos que forman un generador solar fotovoltaico han de tener las mismas características eléctricas.

Las instalaciones fotovoltaicas deben atenerse a lo dispuesto en el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión (REBT). La conexión eléctrica entre paneles o módulos solares puede ser de tres clases:

- Conexión en serie. Aumenta la tensión.
- Conexión en paralelo. Aumenta la intensidad.
- Combinando las dos primeras hasta lograr la intensidad y tensión necesaria.

Al conectar dos paneles iguales en paralelo, la tensión que se obtiene es igual que la de un solo módulo, sin embargo, la intensidad es el doble. Si por el contrario la conexión es en serie, la intensidad que se obtiene es la misma que la un solo módulo, pero la tensión es el doble.

Un generador fotovoltaico está calculado para que genere una tensión de salida algo superior a la tensión que necesita un acumulador para completar su carga; de esta forma, el

generador fotovoltaico siempre estará en condiciones de cargar el acumulador, incluso en condiciones adversas (temperatura de las células alta, o baja insolación...). Cuando se habla de tensión teórica de trabajo, en un sistema, de 12 voltios, el panel tiene que suministrar una tensión superior a ésta para poder así cargar las baterías; es decir, la tensión real es mayor.

Con bastante frecuencia se realizan conexiones tanto en serie como en paralelo hasta conseguir los valores idóneos para cada aplicación.

7.1.1 Inclinación y orientación

Para obtener el mayor rendimiento del generador fotovoltaico se ha de procurar que reciba la mayor cantidad posible de luz solar sobre su superficie activa. Y como el sol varía su posición en el cielo cambiando su altura y la inclinación de sus rayos, se debe determinar cuál será la colocación ideal.

Lo más avanzado en esta materia consiste en no realizar cálculos de ningún tipo y dotar al generador de un dispositivo que haga que el conjunto de paneles siga continuamente la trayectoria del sol en el cielo. De esta manera se puede obtener el máximo de energía solar. Pero sin embargo, hoy por hoy, un seguidor solar también tiene sus limitaciones ya que requiere una inversión económica, un mantenimiento y, además, consume energía eléctrica.

7.2 El acumulador

En las instalaciones fotovoltaicas autónomas, los módulos solares fotovoltaicos, una vez instalados, siempre se encuentran disponibles para generar electricidad. Sin embargo, la cantidad de radiación solar que reciben se presenta variable, sometida al ciclo diario de los días y las noches, al ciclo anual de las estaciones y a la variación aleatoria del estado de la atmósfera con sus días claros, nubosos, tormentas, etc.

Por ello, puede ocurrir muchas veces que la energía que una instalación fotovoltaica entrega difiere, por exceso o por defecto, de la que demandan los consumos conectados a

ella. Y en la mayoría de los casos, el correcto abastecimiento exige almacenar energía cuando la producción es superior a la demanda, para utilizarla en situación contraria.

El acumulador almacena energía siendo capaz de transformar la energía potencial química en energía eléctrica, y cumple las siguientes funciones:

- Es capaz de suministrar energía en cada momento independientemente de la producción eléctrica de los módulos fotovoltaicos en ese momento, pudiendo alimentar los consumos durante varios días.
- Es capaz de mantener un nivel de tensión estable, proporcionando un voltaje constante dentro de un cierto rango independientemente de que el generador funcione en ese momento o no.
- Es capaz de suministrar una potencia superior a la que el generador solar podría dar en un momento propicio.

Pero la utilización de acumuladores tiene también sus inconvenientes:

- Almacenar energía en baterías siempre conlleva una pérdida energética, y no toda la energía que entra en un acumulador puede ser retirada después en el proceso de descarga.
- Cuanto mayor uso se le dé al acumulador, antes llegará a su fin. Y la vida útil de un acumulador no se mide en años, se mide en ciclos. Un ciclo es el proceso completo de carga y de descarga. Si el acumulador tiene una vida útil de 3.000 ciclos puede darse el caso de completarlos en 8 ó 9 años, dependiendo de la aplicación y de la utilización, además de otros factores.

Se elige el acumulador acorde a la demanda admitida, en este caso **BATERÍA FIAMM 6OPzS-750**, para más información de esta lo podemos encontrar en el [anexo II](#), que más abajo se describe.



Figura. 7.2. Batería Fiamm 6OPzS-750

Tipo	Capacidad Ah en C100	Dimensiones (mm)			Precio (€)
		Ancho	Largo	Alto	
6OPzS-750	680	882	208	710	1210,15

Tabla 7.1. Características de la batería fiamm 6OPzS-750

7.2.1 Características eléctricas

- Tensión de Flotación: 2,23 V/elemento a 20°C
- Tensión de carga rápida: 2,4 V/el
- Auto descarga: inferior a 2% mensual a 20°C
- Corriente de cortocircuito: 4,3 x C10 (A)
- Resistencia interna: 0,48/C10 (Mohn)

La elección del sistema de acumulación de una instalación solar siempre es un compromiso entre la economía y la idoneidad, respetando por supuesto, el principio de procurar la calidad mínima necesaria que asegure la fiabilidad y la larga vida de la instalación.

En las instalaciones autónomas, se demandan bastantes consumos en horas en las que no luce el Sol, por eso se necesita un acumulador adecuado. Un acumulador que, además,

debe ser garantía de abastecimiento en periodos con condiciones desfavorables de generación fotovoltaica, como en invierno, cuyas noches son más largas que en verano y hay menor disponibilidad del recurso solar. En estos casos el sistema de acumulación adquiere una relevancia extraordinaria en el conjunto de la instalación.

Por otro lado, existen instalaciones fotovoltaicas en las que los consumos también se conectan en las horas de Sol. Entonces el acumulador trabaja menos ya que existe una potencia que se aprovecha directamente del generador fotovoltaico a través del regulador. Es decir, el consumo también recibe energía de los paneles solares, y no sólo del acumulador. En estos casos puede ser de menor tamaño, y no tener tanta importancia en la instalación.

De ciclo o descarga superficial. Batería compuesta de placas pequeñas que no puede soportar mucha descarga antes de llegar a un bajo nivel de carga. Estas baterías tienen una descarga rutinaria entre el 10 y el 15% y alguna vez alcanzan el 45% en un ciclo más profundo.

7.3 El regulador

Se utilizara el regulador del tipo SOLARIX 2070, para más información ver [anexo III](#).



Fig. 7.3. Regulador solarix 2070

Tipo	Tensión máxima	Corriente máxima	Precio (€)
SOLARIX 2070	12/24	70 A	1563,60

Tabla 7.2. Características del regulador SOLARIX 2070

Altura	330 mm
Ancho	330 mm
Profundidad	190 mm
Peso	10 Kgr.

Tabla 7.3. Características físicas del regulador SOLARIX 2070

La principal misión del regulador es la de gestionar la corriente eléctrica que absorbe o cede (en corriente continua) el acumulador o batería de acumuladores. Vigilando el ciclo de carga y descarga, desarrolla un papel fundamental en la gestión de una instalación fotovoltaica autónoma: Proporciona el control que día a día se necesita. El regulador siempre es recomendable para la seguridad y protección del sistema de acumulación, y en la casi totalidad de las ocasiones es de utilización obligatoria.

Su labor consiste en evitar sobrecargas y sobre descargas en las baterías. Si el acumulador está lleno y el panel recibe radiación, éste intentará inyectar energía en la batería sobrecargándola. Para evitarlo el regulador corta esta inyección de energía. Y en el caso contrario, si el acumulador está bajo de carga y se intenta seguir extrayendo energía, el regulador corta el suministro de energía protegiendo así la batería.

7.4 Inversor

Se utilizara el inversor STECA C2600, para mas información ver [anexo IV](#).



Fig. 7.4. Inversor – cargador batería 24V – 2600 VA senoidal

Tipo	Tensión máxima	Tensión de salida	Precio (€)
STECA C2600	24	230 V alterna	2628,00

Tabla 7.4. Características del inversor STECA C2600

Altura	480 mm
Ancho	124 mm
Profundidad	215 mm
Peso	171 gr.

Tabla 7.5. Características físicas del inversor STECA C2600

Se trata de un dispositivo, cuya finalidad es la de adaptar las propiedades de la corriente eléctrica generada o acumulada a las de la corriente eléctrica requerida total o parcialmente por los consumos.

Este convertidor debe incorporar un circuito de arranque automático que detecte cuándo se conecta un consumo. Mientras se encuentre en estado de espera y no esté alimentando ninguna carga, el convertidor consume muy poca energía. Se activa cuando detecta algún consumo por encima de un valor prefijado y una vez finalizada la demanda de energía el convertidor se detiene quedando de nuevo en espera.

Incorpora protecciones como la toma de tierra, la protección contra sobrecarga, contra cortocircuito, contra el aumento de temperatura del convertidor, y contra el bajo voltaje en el acumulador (así, al igual que el regulador, evita la descarga excesiva de las baterías).

8. Instalación fotovoltaica

8.1 Radiación diaria

Se denomina HSP al número de horas diarias que, con una irradiancia solar ideal de 1000 W/m^2 proporciona la misma irradiancia solar total que la real de ese día. Este concepto se explica gráficamente en la Figura. 8.1.

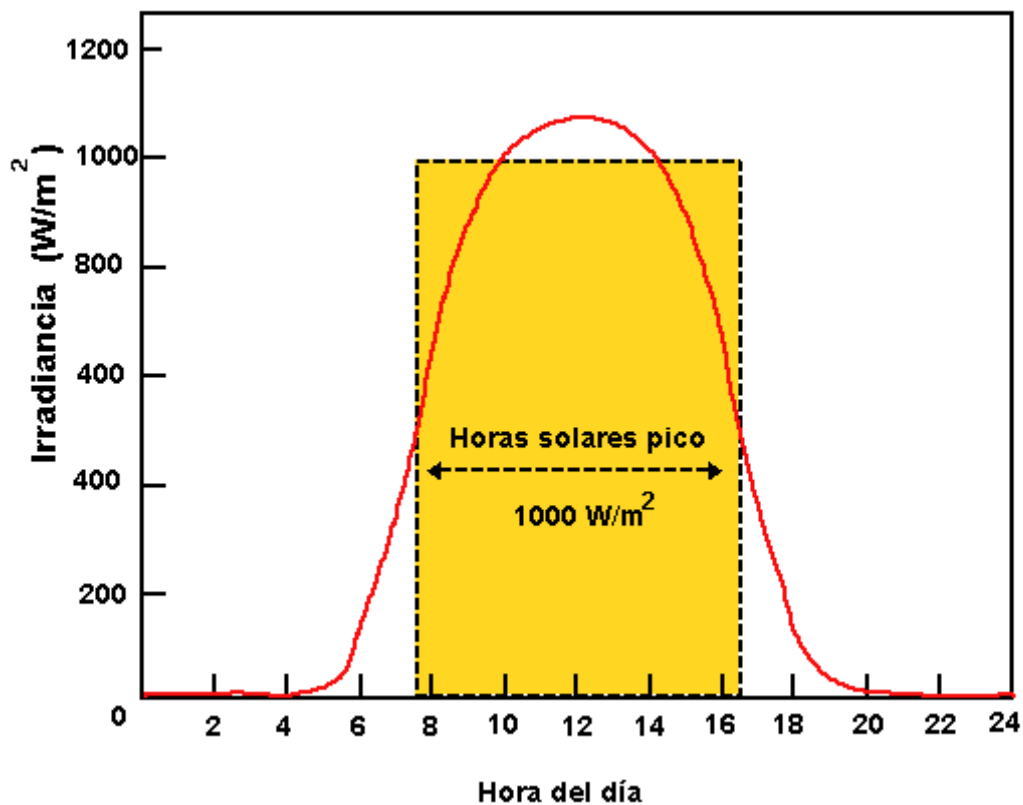


Fig. 8.1. Concepto de “Horas Sol Pico”

Es decir, si se dispone de los datos de irradiancia solar de un determinado día y se divide entre 1000 , se obtienen las HSP. Se puede deducir fácilmente que si los valores de radiación solar disponibles están expresados en Kwh. /m^2 , coinciden numéricamente con los que resultan al expresarlos en HSP.

9. Dimensionado de la instalación fotovoltaica aislada

9.1 Proceso general

El proceso de cálculo se puede simplificar en 4 pasos:

- . Cálculo de la potencia máxima diaria.
- . Cálculo del consumo máximo diario.
- . Cálculo del número de módulos fotovoltaicos.
- . Cálculo de la capacidad de la batería.

9.2 potencia máxima diaria

Para dimensionar una instalación fotovoltaica aislada, es necesario que se conozca la demanda de energía por parte del usuario, la energía solar real disponible, y a partir de estos datos se dimensionara el tamaño de los distintos componentes de la instalación. Los pasos a seguir son:

1. Se Realizara una estimación detallada del consumo de energía eléctrica diaria media, a lo largo del año, los aparatos que se utiliza en la vivienda son los siguientes.

Equipo de consumo	Nº Unidades	Pot unit (w)	Pot inst.	h/día	Wh/día
Lámparas	10	25	250	6	1500
TV color	1	75	75	4	300
Nevera	1	100	100	7	700
Equipo música	1	15	15	1	15
Lavadora (sin centrif.)	1	400	400	1	400
Ordenador	1	200	200	1	200
Congelador	1	120	120	7	840
Total			1160 W		3955 Wh/día

Tabla. 9.1. Cargas de consumo típicas en electrificación aislada

De una tabla tipo como la de la Figura. 9.1. Se obtiene la demanda diaria media de energía para cada mes del año.

$$E_{maxdiaria} = \sum cantidad \cdot horas \cdot P_{nombre_equipo} = (10 \cdot 25 \cdot 6) + (1 \cdot 4 \cdot 75) + (1 \cdot 7 \cdot 100) + (1 \cdot 1 \cdot 15) + (1 \cdot 1 \cdot 400) + (1 \cdot 1 \cdot 200) + (1 \cdot 7 \cdot 120) = 3955 \text{ Wh/día} \quad (9.1)$$

La potencia instalada en la vivienda son 1160 W, se considera que los equipos de consumo son de corriente alterna a 220 V, el resultado es un consumo anual constante de 3955 Wh/día.

9.3 Calculo del inversor

Para la elección del inversor hay que optar por uno en el que la potencia de salida sea inmediatamente superior a la potencia de todos los equipos conectados, para más información [anexo IV](#).

$$P_{inversor} \geq 10 \cdot 25 + 1 \cdot 75 + 1 \cdot 100 + 1 \cdot 15 + 1 \cdot 400 + 1 \cdot 200 + 1 \cdot 120 = 50 + 75 + 100 + 15 + 400 + 200 = 1160 \text{ W} \quad (9.2)$$

Tipo	Tensión máxima	Potencia de salida	Precio (€)
STECA C1600	12 V _{cc} /230 V _{ac}	1300 W	2315,16
STECA C2600	24 V _{cc} /230 V _{ac}	2300 W	2628,00
STECA C4000	24 V _{cc} /230 V _{ac}	3500 W	3595,20

Tabla.9.2. Distintos tipos de inversores

Al consultar la tabla.7.4 se elige el STECA C2600, puesto que con el STECA C1600 no será suficiente (por ser la tensión de entrada de 12 voltios) y el STECA C4000 es excesivo para la instalación.

9.3.1 Cálculo de la energía máxima diaria

Se calcula el consumo de energía de la instalación, puesto que el consumo variará en función de la tensión a utilizar, cuanto mayor sea la tensión menor será la corriente. Pero por el contrario, se necesitarán más baterías.

Con valores típicos de 12, 24 o 48V, se coge la batería de 24V

$$E_{inst_max} = \frac{E_{maxdiaria}}{V_{bateria}} = \frac{3955}{24} = 164,79Ahd \quad (9.3)$$

El valor que se ha calculado se tiene que aumentar para mantener un consumo aceptable de la instalación generadora (módulos fotovoltaicos).

A dicho aumento se le denomina margen de seguridad o factor de seguridad, dicho margen oscila entre los valores de 10%, 15% o 25%.

A continuación se calcula la energía máxima diaria ($E_{maxdiaria}$), en función del valor del consumo máximo de la instalación (E_{inst_max}) aplicándole un aumento de un 20%.

$$\begin{aligned} E_{maxdiaria} &= E_{inst_max} + E_{inst_max} \cdot 20\% = 1,2 \cdot E_{inst_max} = 1,2 \cdot 164,79 \\ &= 197,75 Ahd \end{aligned} \quad (9.4)$$

Para obtener el consumo máximo, hay que tener en cuenta las pérdidas, para ello, hay que calcular las pérdidas totales (K_T).

$$K_T = [1 - (K_B + K_C + K_R + K_X)] \cdot \left[1 - \frac{(K_A \cdot D_{aut})}{P_a} \right] \quad (9.5)$$

Las diferentes incógnitas de la ecuación de pérdidas totales son:

. **KA**: Pérdidas debido al auto descarga diaria de la batería, dada a los 20° C. Esta pérdida suele venir en las hojas de características dadas por el fabricante de la batería, su valor por defecto es del 0,5%.

. **K_B**: Pérdidas debido al rendimiento de la batería que, por lo general, tiene un valor del 5%, pero puede escogerse un valor del 10% para viejos acumuladores o fuertes descargas o bajas temperaturas.

. **K_C**: Pérdidas debido al rendimiento del convertidor utilizado (si lo hay), es decir, principalmente en instalaciones de 230 voltios. Los valores por defecto suelen oscilar entre el 8% y el 95%, por lo que las pérdidas oscilarán entre el 20% y el 5%.

. **K_R**: Pérdidas debido al rendimiento del regulador empleo. Suele depender de la tecnología utilizada, pero si no se conoce se acoge el valor por defecto del rendimiento de 90%, por lo que las pérdidas serán de un 10%.

. **K_X**: Otras pérdidas no contempladas (por el efecto Joule, caídas de tensión, etc.); se escoge un valor por defecto del 10%.

. **D_{aut}**: Días de autonomía con baja o nula insolación

. **P_a**: Profundidad de descarga de la batería, que vendrá dada por el fabricante de las baterías; por defecto se escoge un valor del 60% o 70%.

Por lo tanto según los datos anteriormente se acogerán las pérdidas correspondientes a 5 días de autonomía por estar en Andalucía:

$$K_T = [1 - (K_B + K_C + K_R + K_X)] \cdot \left[1 - \frac{(K_a \cdot D_{aut})}{P_a} \right] =$$

$$K_T = [1 - (0,05 + 0,1 + 0,1 + 0,1)] \cdot \left[1 - \frac{(0,005 \cdot 5)}{0,6} \right] = 0,95 \quad (9.6)$$

Una vez, se calculan las perdidas, se calcula el consumo de energía (E_{max}).

$$E_{max} = \frac{E_{maxdiaria}}{K_T} = \frac{197,75}{0,95} = 208,16 \text{ Ahd} \quad (9.7)$$

9.4 Descripción del cálculo del número de módulos fotovoltaicos

Sabiendo la energía que se va a consumir la instalación (E_{max}), y las características del módulo, se calcula cuál será el número de módulos fotovoltaicos necesarios.

Es decir, se van a calcular la cantidad de amperios que puede suministrar a la instalación y que ese valor se ajuste a los amperios necesarios para que funcione la instalación de forma totalmente autónoma, para el cálculo se debe tener en cuenta la energía que genera un panel (E_{panel}) durante un día para ello se utiliza la siguiente ecuación.

$$E_{panel} = I_{panel} \cdot HPS \cdot \eta_{panel} [Ahd] \quad (9.8)$$

En donde la $I_{módulo}$ se corresponde con la corriente de pico o corriente máxima, HPS se corresponde con las horas de pico solar (horas de suficiente irradiación solar) y η_{panel} se corresponde con el rendimiento del panel.

En el rendimiento del panel se puede escoger valores típicos entre el 85% al 95%. Como norma general se escoge un rendimiento general del 90%, por lo que se multiplicara por 0,9, quedando la ecuación como:

$$E_{panel} = 0,9 \cdot I_{módulo} \cdot HPS [Ahd] = 0,9 \cdot I_m \cdot HPS [Ahd] \quad (9.9)$$

Para el cálculo de la energía generada por un campo fotovoltaico ($E_{campo\ fotovoltaico}$) se tendrá en cuenta la corriente generada por todo el campo fotovoltaico ($I_{campo_fotovoltaico}$), quedando la ecuación como:

$$E_{campo_fotovoltaico} = 0,9 \cdot I_{campo_fotovoltaico} \cdot HPS [Ahd] \quad (9.10)$$

10. Aplicación de los cálculos

10.1 Radiación solar

Se utiliza la herramienta de estimación PVGIS, con las siguientes consideraciones se puede establecer la estimación de radiación solar para la ubicación del proyecto:

Fig.10.1. PVGIS

En la pantalla de PVGIS y a la derecha, están los menús de consulta de la base de datos, mediante 3 pestañas u opciones se puede realizar la consulta:

Estimación producción (PV Estimación), consulta irradiación mensual (Monthly radiation) o irradiación diaria (Daily radiation).

Se utilizara un ángulo de inclinación de los paneles de 31° (Irradiación at cosen angle: 35 deg). El resto de opciones de la irradiación mensual no se van a utilizar.

El valor de HPS que se utilizara para los cálculos de dimensionado es de 5,00 Kwh. /m², que se corresponde con la columna de pico solar y fila year. Como valor mensual.

Al ser Izbor (Granada) una zona donde no suelen aparecer largos periodos nublados y es una zona de buena irradiación solar y su uso es para vivienda rural para los meses de mayo, junio, julio, agosto y septiembre, se puede escoger 5 días de autonomía.

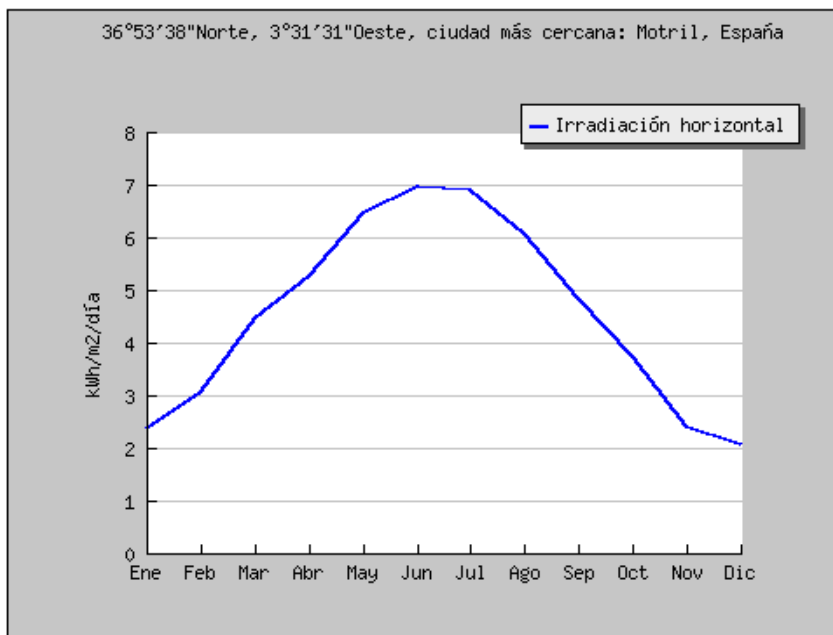


Fig. 10.2. Irradiación durante el periodo de un año

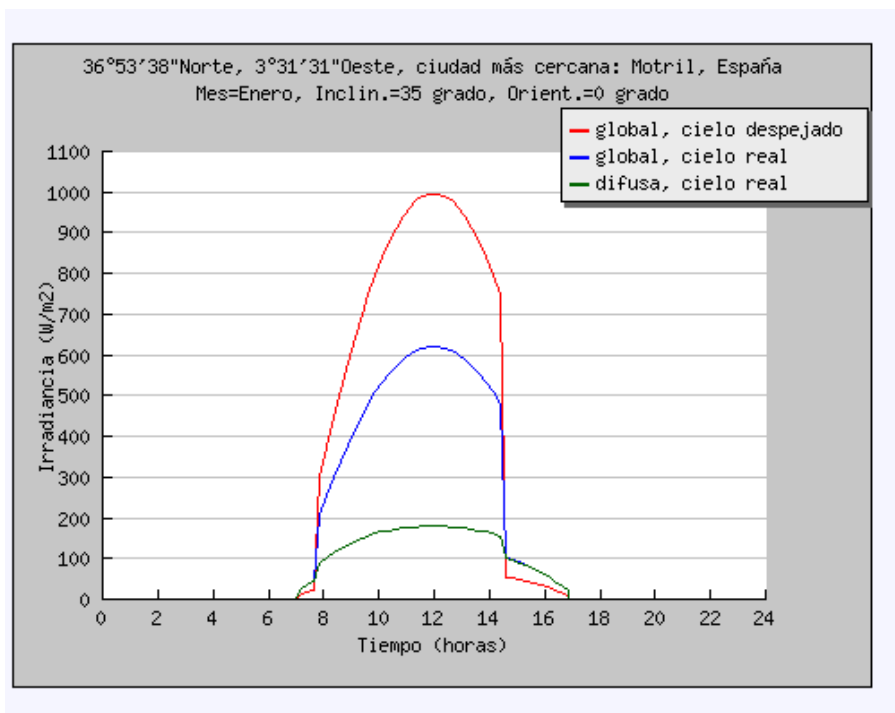


Fig. 10.3. Irradiación solar diaria (horas)

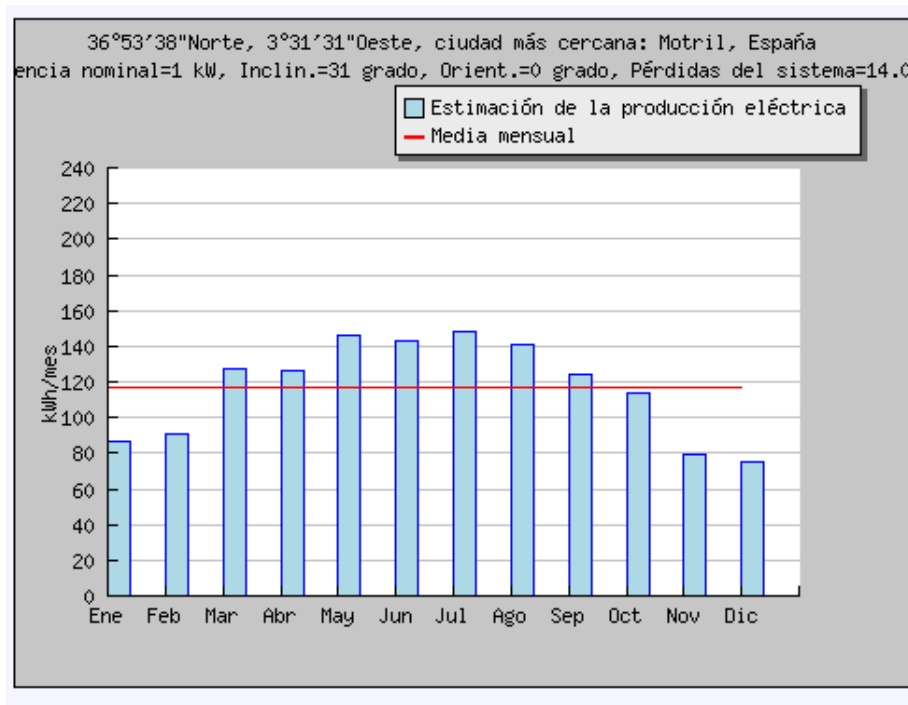


Fig. 10.4. Cantidad estimada de electricidad de cada mes

Month	$H(31)$	I_{opr}	T_{24h}	N_{DD}
Jan	3560	58	10.0	237
Feb	4090	50	11.1	180
Mar	5330	39	13.6	106
Apr	5450	23	15.3	60
May	6200	11	18.7	5
Jun	6440	5	23.5	0
Jul	6500	8	25.8	0
Aug	6130	19	25.8	0
Sep	5470	33	22.1	8
Oct	4870	47	18.4	53
Nov	3430	55	13.3	206
Dec	3050	59	10.6	226
Year	5050	31	17.4	1081

Tabla.10.1. Resultados de PVGIS

Así pues, para obtener el valor de HPS, se debe dividir el valor de irradiación de 1 Kilovatio por metro cuadrado, por lo que se deduce que el valor de HPS se obtiene dividiendo entre 1000. Por ejemplo para el mes de enero según la tabla sería 3,5 para HPS.

Para el cálculo se cogerá los meses correspondientes al uso que se va aplicar y se dividirán por los días de autonomía que en este caso son 5 días

$$HPS = \frac{Mayo + Junio + Julio + Agosto + Septiembre}{5 \text{ días}} = \frac{6,2 + 6,4 + 6,5 + 6,1 + 5,4}{5} = 6,12 \quad (10.1)$$

Se va a calcular el número de módulos fotovoltaicos del tipo A150, cuyas características se indican en la Tabla 1, que es la de la placa que anteriormente se ha explicado.

Potencia	150W
Número de células en serie	72 de 5"
Corriente máxima	4,75 A
Tensión máxima	34,5 V
Corriente en cortocircuito	5,20 A
Tensión en circuito abierto	43,2 V

Tabla.10.2. Especificaciones técnicas de la placa solar ATERSA A150

:

Cálculo de la energía que proporciona cada módulo fotovoltaico

$$E_{panel} = 0,9 \cdot I_{panel} \cdot HPS = 0,9 \cdot 4,75 \cdot 6,12 = 26,16 \text{ Ahd} \quad (10.2)$$

Se calcula el número de ramas en paralelo

$$\frac{E_{max}}{E_{panel}} = \frac{208,16}{26,16} = 7,95 \quad (10.3)$$

Numero paralelo _ panel = 8

Se calcula el número de módulos en serie de cada rama, teniendo en cuenta que la instalación de corriente continua funciona a 24 voltios.

$$\frac{V_{bateria}}{V_{panel}} = \frac{24}{24} = 1 \quad (10.4)$$

Numero serie _ panel = 1

10.2 Calculo de la batería

A continuación hay que calcular el número de baterías necesarias. Para ello, hay que conocer la capacidad del banco de baterías de la instalación, hay que utilizar el mismo valor de profundidad de descarga de la batería utilizada para el cálculo de las pérdidas.

La capacidad del campo de baterías es:

$$\frac{E_{max} \cdot D_{aut}}{P_d} = \frac{208,16 \cdot 5}{0,95} = 1095,57 \text{ Ah} \quad (10.5)$$

Capacidad batería = 1096 Ah.

Se ha elegido la batería de la figura.7.2, según anteriormente se ha descrito, pero esta batería se ha escogido según los cálculos que a continuación se especifican, se ha tenido en cuenta el número de baterías a utilizar y el precio.

Se disponen de tres tipos de baterías (tabla.10.3). Hay que calcular el número de baterías para cada tipo y en función del resultado se escogerá una u otra. Se calcula el número de baterías en paralelo.

Tipo	Capacidad Ah en C100	Dimensiones (mm)			Precio (€)
		Ancho	Largo	Alto	
6OPzS-750	680	882	208	535	1210,15
7OPzS-850	790	1008	208	535	1375,20
6OPzS-1000	930	882	208	710	1576,80

Tabla.10.3. Baterías estacionarias monobloc disponibles

$$\frac{C_{bateria}}{C_{nominal6OPzS-750}} = \frac{1096}{680} = 1,61 \quad (10.6)$$

Numero paralelo batería 6OPzS-750 = 2

$$\frac{C_{bateria}}{C_{nominal7OPzS-850}} = \frac{1096}{790} = 1,38 \quad (10.7)$$

Numero paralelo batería 7OPzS-850 = 2

$$\frac{C_{bateria}}{C_{nominal6OPzS-1000}} = \frac{1096}{930} = 1,18 \quad (10.8)$$

Numero paralelo batería 6OPzS-1000 = 2

Se escoge la batería 6OPzS-750 por ser la que se corresponde con la solución mas económica.

Para saber el número de baterías a conectar en serie para obtener el valor de tensión:

$$\frac{V_{bateria}}{V_{no\ min\ al\ _{bateria}}} = \frac{24}{12} = 2 \quad (10.9)$$

Numero serie _ batería = 2

Con lo cual solo serán necesarias 2 baterías del tipo 6OPzS-750, conectadas en dos grupos de dos baterías en serie.

10.3 Calculo del regulador

El último elemento que se va escoger es el regulador (figura.7.3), se tiene que calcular la corriente del regulador, para ello, se tiene que consultar la corriente en cortocircuito del modulo fotovoltaico A150 (figura. 6.4.).

A continuación se disponen de los siguientes reguladores, se cogerá el más adecuado para la instalación según sus necesidades.

Tipo	Tensión máxima	Corriente máxima	Precio (€)
SOLARIX OMEGA	12/24	30 A	108,79
SOLARIX 2401	12/24	40 A	132,89
SOLARIX 2070	12/24	70 A	1563,60
SOLARIX 2140	12/24	140 A	2024,50

Tabla.10.4. reguladores disponibles

$$I_{\text{campo_fotovoltaico}} = I_{sc} \cdot \text{numero de ramas} = 5,2 \cdot 8 = 41,6 \text{ A} \quad (10.10)$$

$$I_{\text{regulador}} = 1,1 \cdot 41,6 = 45,76 \text{ A} \quad (10.11)$$

Se dispone de cuatro tipos de reguladores (Tabla. 10.4), con el regulador SOLARIX 2070 se necesitará 1 solo regulador.

10.4 Colocación de los módulos fotovoltaicos

Los paneles se situaran en el tejado de la vivienda, la superficie ocupada será.

- Modulo A150 = 1,618 m (alto) · 0,814 m (ancho) = 1,317 m²

- Total superficie ocupada = 1,317 m² · 8 (paneles) = 10,53 m²

Se orientaran al sur , (a lo sumo se permitirán tolerancias de 20° hacia el oeste ó el este) y con una inclinación lo mas cercana a posible a 31° (el optimo para latitud estudiada). La vertiente del tejado que vierte a la fachada principal (orientación sur y de 40° de inclinación) cumple con los anteriores requisitos, por lo que se situaran sobre este. Se utilizara un bastidor de acero galvanizado para fijar los paneles al tejado.

11. Cálculos del cableado de la instalación

11.1 Cálculo de la sección

Se tiene que diferenciar entre la tensión que alimenta al circuito de corriente continua (modulo, regulador y batería) y el de corriente alterna (vivienda o consumo).

11.2 En corriente continúa

Para el cálculo de la sección de un cable se debe conocer: el material que lo compone (cobre o aluminio y su conductividad $-k-$), la longitud del cable (l) en metros, la corriente que atravesará el conductor (I) en amperios y la caída de tensión entre sus extremos (U) en voltios. La sección del cable se calcula utilizando la siguiente ecuación:

$$S = 2 \cdot \frac{l \cdot I}{K \cdot U} \text{ (mm}^2\text{)} \quad (11.1)$$

El valor de la conductividad (K) dependerá del material utilizado:

- Cobre: $56 \text{ m}/\Omega \text{ mm}^2$
- Aluminio: $35 \text{ m}/\Omega \text{ mm}^2$

Para la corriente que va del campo generador (conjunto de módulos fotovoltaicos) al local en donde se encuentra el regulador, las baterías e inversor, hay que tener en cuenta la corriente máxima que puede generar el campo fotovoltaico ($I_{\text{campo_fotovoltaico}}$).

La sección del cable para la instalación en corriente continua, se debe calcular para los distintos equipos o elementos de la instalación.

$$I_{\text{equipo}} = \frac{P_{\text{equipo}}}{V_{\text{equipo}}} = \frac{1160}{24} = 48,33 \text{ A} \quad (11.2)$$

La caída de tensión (U) se calcula para un porcentaje de la tensión nominal, que variara en función de los equipos que interconecta:

- Caídas de tensión entre generador (modulo o campo generador) y regulador/inversor: 3%.
- Caídas de tensión entre regulador y batería: 1%.
- Caídas de tensión entre inversor y batería: 1%.
- Caídas de tensión entre regulador e inversor: 1%.
- Caídas de tensión entre inversor/regulador y equipos: 3%.

Los cables del exterior (los que van del módulo fotovoltaico al local con los elementos de control) deben estar protegidos contra la intemperie.

En las instalaciones de corriente continua, los positivos y negativos se conducirán por separados y protegidos y señalizados (código de colores, etiquetas, etc.).

11.3 Cálculo corriente continúa

Los módulos fotovoltaicos se instalan en la parte superior de la casa (como se había descrito anteriormente), colocados de forma paralela, puesto que hay suficiente espacio sobre el tejado; el ancho total al conectar los 8 módulos es:

$$814 \cdot 8 = 6512 \text{ mm} = 6,51 \text{ m}$$

Sobra espacio en el tejado, 6,51 respecto a los 10 metros de ancho que tiene el tejado. Con lo cual no será necesario realizar cálculos respecto a los efectos de sombras entre módulos fotovoltaicos. Además como se sitúan sobre la casa no se tendrán en cuenta los efectos de la sombra de la casa.

11.4 Cálculo de la sección de los cableados módulos fotovoltaicos hasta el regulador

Se calcula la sección del cableado que va desde los módulos fotovoltaicos hasta el regulador, la longitud es el recorrido del modulo más lejano y la bajada hasta el regulador que se encuentra a 5 metros del suelo:

$$l = 6,51 + 5 = 11,51 \text{ m}$$

Para la sección del modulo hasta el regulador se aplica una caída de tensión de 1%

$$U = 24 \cdot 0,03 = 0,72 \text{ V}$$

La corriente máxima que podrá circular por dicho conductor:

$$I_{\text{campo_fotovoltaico}} = 5,20 \cdot 8 = 41,6 \text{ A}$$

Se calcula el valor de la sección del conductor:

$$S = 2 \cdot \frac{l \cdot I}{K \cdot U} = 2 \cdot \frac{11,51 \cdot 41,6}{56 \cdot 0,72} = 23,75 \text{ mm}^2 \quad (11.3)$$

El siguiente paso es elegir una sección normalizada. Para ello se consultan la tabla siguiente:

			3x PVC	2x PVC		3x XLPE o EPR	2x XLPE o EPR						
A		Conductores aislados en tubos empotrados en paredes aislantes											
A2		Cables multiconductores en tubos empotrados en paredes aislantes	1x PVC	2x PVC		3x XLPE o EPR	2x XLPE o EPR						
B		Conductores aislados en tubos en montaje superficial o empotrados en obra				3x PVC	2x PVC		3x XLPE o EPR	2x XLPE o EPR			
B2		Cables multiconductores en tubos 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				3x PVC	2x PVC		3x XLPE o EPR	2x XLPE o EPR			
E		Cables multiconductores al aire libre. Distancia a la pared no inferior a 0,3 D					3x PVC		2x PVC	3x XLPE o EPR	2x XLPE o EPR		
F		Cables unipolares en contacto con la pared. Distancia a la pared no inferior a D						3x PVC			3x XLPE o EPR		
G		Cables unipolares separados, distancia D								3x PVC		3x XLPE o EPR	
		mm ²	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Cobre		1,5	11	11,5	12	12,5	13	14	-	16	21	24	-
		2,5	13	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	143	154	206
		50		94	103	117	125	133	143	156	175	188	250
		70				149	160	171	188	202	214	244	321
		95				180	194	207	220	245	271	296	391
		120				208	225	240	267	284	314	348	453
		150				234	260	278	310	334	363	404	525
	185				268	297	317	354	386	415	464	601	
	240				315	350	374	419	455	490	552	711	
	300				380	424	453	511	554	585	646	821	

Tabla.11.1. Intensidades admisibles (A) al aire 40° C. N° de conductores con carga y naturaleza del aislamiento (Fuente: RBT año 2002)

Según los datos que se han calculado el siguiente paso es elegir una sección normalizada.

Para ello se consulta la tabla:

- Cables multiconductores al aire libre (E). Distancia a la pared no inferior a 0,3 D4
- Conductores “2x” y con aislamiento “PVC”. Se obtiene el valor “8”.
- Siguiendo la columna “8” obtenida en el párrafo anterior, se elige una sección de 35 mm²

Se comprueba que la intensidad máxima que soporta supera con creces los requisitos de la instalación, puesto que la corriente máxima para 35 mm² es de 131 A, un valor muy superior al de la instalación, de 41,6 A.

11.5 Cálculo de la sección del conductor del regulador a la batería

Se hace el cálculo de la sección del conductor que va desde el regulador a la batería: con una caída de tensión del 1%, la longitud será de 2 metros (distancia entre el regulador al suelo) y la intensidad será la máxima que circulará entre regulador y batería:

$$S = 2 \cdot \frac{l \cdot I}{K \cdot U} = 2 \cdot \frac{2 \cdot 48,33}{56 \cdot 0,24} = 14,38 \text{ mm}^2 \quad (11.4)$$

Se elige una sección normalizada. Para ello se consulta la tabla:

- Cables multiconductores al aire libre (E). Distancia a la pared no inferior a 0,3 D4
- Conductores “2x” y con aislamiento “PVC”. Se obtiene el valor “8”.
- Siguiendo la columna “8” obtenida en el párrafo anterior, se elige una sección de 16 mm²

Se comprueba que la intensidad máxima que soporta supera con creces los requisitos de la instalación, puesto que la corriente máxima para 16 mm² es de 80 A, un valor muy superior al de la instalación, de 41,6 A.

11.6 Cálculo de la sección del regulador al inversor y dispositivos

El proceso para el cálculo de la sección del conductor que va desde el regulador al inversor con una caída de tensión del 3%, la longitud será de 4 metros (2 metros desde el regulador hasta la batería y 2 metros desde la batería hasta el inversor) y la intensidad será la que consume el equipo (48,33 A).

$$S = 2 \cdot \frac{l \cdot I}{K \cdot U} = 2 \cdot \frac{4 \cdot 48,33}{56 \cdot 0,72} = 9,59 \text{ mm}^2 \quad (11.5)$$

Se elige una sección normalizada. Para ello se consulta la tabla:

- Cables multiconductores al aire libre (E). Distancia a la pared no inferior a 0,3 D4
- Conductores “2x” y con aislamiento “PVC”. Se obtiene el valor “8”.
- Siguiendo la columna “8” obtenida en el párrafo anterior, se elige una sección de 10 mm^2

Se comprueba que la intensidad máxima que soporta supera con creces los requisitos de la instalación, puesto que la corriente máxima para 10 mm^2 es de 60 A, un valor muy superior al de la instalación, de 41,6 A.

Se puede ver, a los efectos del cálculo realizado, en relación con la distancia a recorrer, que a más distancia mayor resistencia, entonces se crea mayor caída de tensión. En consecuencia, se necesitara mayor sección, se adjunta esquema de instalación.

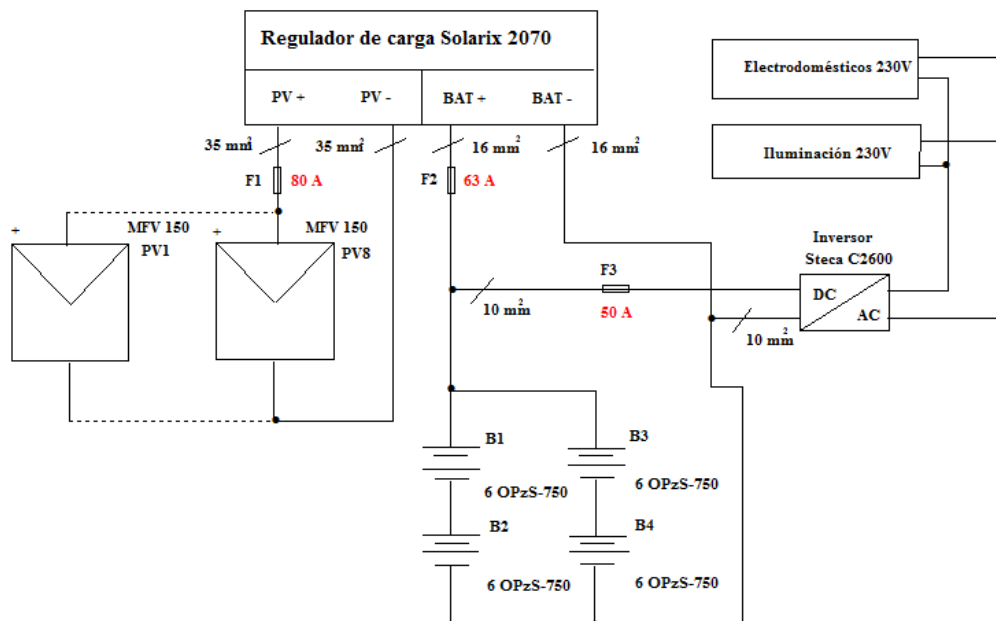


Fig.11.1. esquema de la instalación fotovoltaica

12. Mantenimiento de la instalación fotovoltaica

Siempre es recomendable la utilización de productos cuyo proceso de fabricación posea certificado de calidad, las instalaciones fotovoltaicas necesitan un mantenimiento muy pequeño pero totalmente necesario.

Con relación al mantenimiento, y dependiendo de cada caso, en las instalaciones fotovoltaicas se deben considerar dos puntos:

- Las actuaciones necesarias a realizar por el usuario.
- Las operaciones de mantenimiento que sólo el instalador debe realizar.

Será Conviene apuntar todas las operaciones y las fechas en las que se realicen en un Libro de Mantenimiento, y también resultara de gran ayuda disponer de un contrato de mantenimiento pactado desde el principio con el instalador, contrato en el que se determinen todos los trabajos de mantenimiento que es preciso realizar.

El mantenimiento preventivo se basa en los siguientes puntos:

- Realizar siempre un uso racional de la energía eléctrica.
- Procurar aprovechar al máximo la luz natural.
- Pintar las paredes y techos de color claro. Con ello, será necesaria menor potencia Para la misma sensación de luminosidad.
- Dimensionar la potencia de consumo en relación con las necesidades.
- Seleccionar los aparatos de consumo en función de su eficiencia energética.
- Limpiar y cuidar los equipos eléctricos.
- Evitar la conexión simultánea de todos los aparatos eléctricos.
- será recomendable realizar la primera inspección a una instalación fotovoltaica a los 45 días de su puesta en marcha aunque se estime que esté funcionando Correctamente.
- Dependiendo del tamaño, composición, y aplicación, será recomendable realizar una inspección de mantenimiento al menos dos veces al año.

12.1 Mantenimiento de los módulos solares

Debido a varios agentes de diferente origen, la suciedad se irá acumulándose sobre el generador solar haciendo que llegue menos luz a las células fotovoltaicas y con ello se disminuya su potencia. Será conveniente limpiar los paneles al menos dos veces al año y muy especialmente al comenzar el invierno.

12.2 Mantenimiento de Sistema de regulación y otros equipos

El regulador, el convertidor y otros equipos electrónicos. El mantenimiento se reduce a revisiones periódicas que verifiquen las condiciones de trabajo de los equipos.

- Se debe Comprobar el estado de las conexiones y el apriete de los bornes. Todo ello para que se garantice un buen contacto eléctrico.
- Se debe Impedir la acumulación de polvo y suciedad que se pueda quedar en los dispositivos de ventilación de los equipos.
- Se Realizara una observación general del estado y funcionamiento. Esta se debe realizarse a partir de la documentación entregada.

12.3 Acumuladores

Los acumuladores son los elementos que requieren una mayor atención en la instalación fotovoltaica.

Por lo general, el acumulador es el elemento más frágil y menos duradero de un sistema solar fotovoltaico, y la correcta comprensión de su funcionamiento y características alarga su vida útil.

Las tareas más importantes del mantenimiento del acumulador se pueden resumir en:

- Comprobación y limpieza de los terminales.
- Verificación del nivel de electrolito.

- Medida de la densidad del electrolito.
- Comprobación de la utilización del acumulador.

En la inspección del estado de los bornes de las baterías habrá que asegurarse de que son firmes, se limpiarán los posibles depósitos de sulfato y se tratarán con un inhibidor de corrosión todas las conexiones.

13. Instalación eléctrica

En la instalación eléctrica se contemplarán todos los puntos necesarios para poder suministrar la energía eléctrica producida por la central fotovoltaica, a todos los puntos de la casa que sea necesario.

Para ello se dimensionara los conductores según las características de cada uno y los conductos por los cuales circularán, y se protegerá la instalación, colocando dispositivos de protección debidamente calculados para proteger a las personas, seres vivos y los bienes frente a riesgos eléctricos.

La instalación cumplirá todo lo establecido en el, Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión, REBT (RD 842/2002, de 2 de agosto, publicado en el <<BOE>> de 18 de septiembre de 2002, suplemento del núm., 224).

13.1 Descripción de la casa aislada

Se trata de una casa en dos plantas y una buhardilla, Sus medidas son.

$10\text{m} \cdot 7,5\text{m} = 75 \text{ m}^2 \cdot 2 \text{ plantas} + 40 \text{ m}^2 \text{ de buhardilla} = 190 \text{ m}^2$ habitables, repartidos de la siguiente manera:

1ª planta: 75 m^2 (comedor y cocina)

2ª planta: 75 m^2 (tres habitaciones y un lavabo)

3ª planta: 40 m^2 buhardilla

13.2 Datos de partida (Relación de los consumos a instalar)

En la tabla siguiente especificamos los dispositivos a instalar de la casa, con los indicadores que les corresponden en cuanto a tensión, potencia y factor de potencia.

Equipo de consumo	Nº Unidades	Pot unit (w)	Pot.Total (w)	U(V)	Cos ϕ
Lámparas	10	25	250	230	0,9
TV color	1	75	75	230	0,9
Nevera	1	100	100	230	0,9
Equipo música	1	15	15	230	0,85
Lavadora (sin centrif.)	1	400	400	230	0,95
Ordenador	1	200	200	230	0,85
Congelador	1	120	120	230	0,87
Total			1160 W		

Tabla.13.1. Equipos de consumo

13.3 Subdivisión de la instalación

Las diferentes líneas de distribución, partirán de una única línea (línea de salida de salida del convertidor a 230 VAC), que se encontrara situado en la pared colindante que hay junto al local de las baterías.

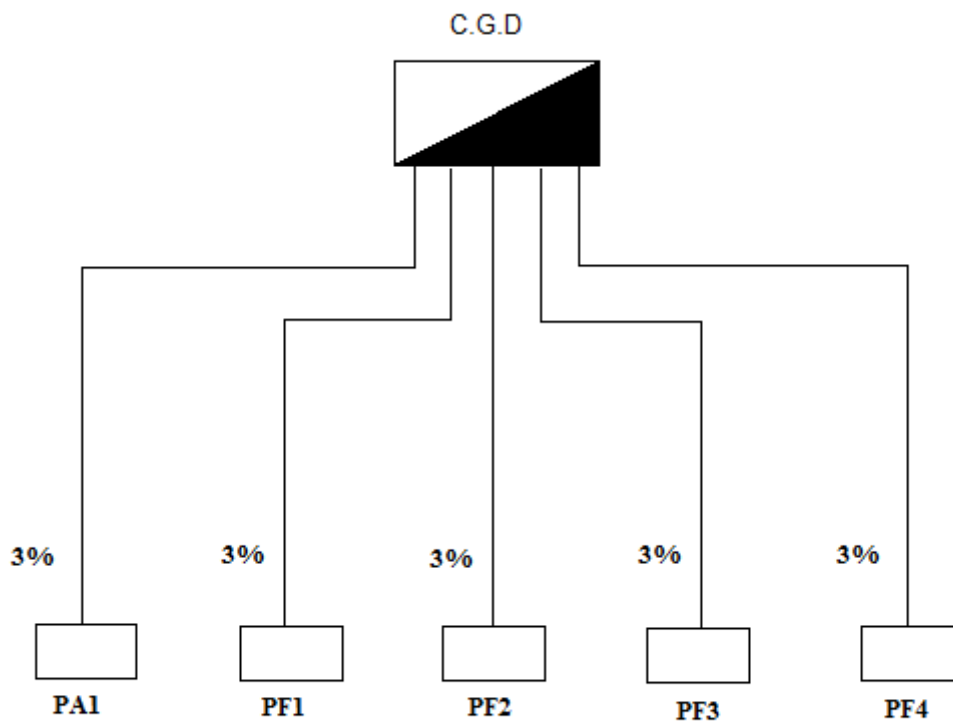


Fig. 13.1. Subdivisión de la instalación

13.3.1 Descripción de los circuitos de la figura

PA1: circuito de iluminación

PF1: circuito (televisor-ordenador-equipo de música)

PF2: circuito nevera

PF3: circuito congelador

PF4: circuito lavadora

13.4 Previsión de la carga

Se Hace la previsión de carga pertinente que permita calcular las secciones de los conductores. Justificar adecuadamente los factores de simultaneidad

Receptor	Ud.	Pud (W)	Cos φ	Activa	Preactiva
Lámparas	10	25	0,9	250	225
TV color	1	75	0,9	75	67,5
Nevera	1	100	0,9	100	90
Equipo música	1	15	0,85	15	12,75
Lavadora (sin centrifugado)	1	400	0,95	400	380
Ordenador	1	200	0,85	200	174
Congelador	1	120	0,87	120	104,4
Total				1160	1053,65

Tabla. 13.2. Previsión de las cargas

Factor de simultaneidad: Se escoge 2/3 puesto que no siempre estará todo ha pleno rendimiento

$$Potencia\ activa = 1160 \cdot \frac{2}{3} = 773,33\ W$$

$$Potencia\ reactiva = 1053,65 \cdot \frac{2}{3} = 702,43\ W$$

$$\cos \varphi = \frac{Q_t}{P_t} = \frac{702,43}{773,33} = 0,90 \quad (13.1)$$

14. Elección del cable

14.1 Código de colores

Para el circuito de corriente continua se utiliza el siguiente código de colores:

- **Rojo:** para el polo positivo o conductor activo. Se indica como + en la representación del esquema.
- **Negro:** para el polo negativo. Se indica como - en la representación del esquema. También se puede utilizar otro color, colocando una cinta del color que corresponda en sus extremos.

Para el circuito de corriente alterna (230 V) se utiliza el siguiente código de colores:

- **Negro, marrón o gris:** para la fase. Se indica como L en la representación del esquema.
- **Azul:** para el neutró. Se indica como N en la representación del esquema.
- **Bicolor (amarillo y verde):** para la toma de tierra. Se indica como T en la representación del esquema.

14.2 Tipo de manguera

Para la instalación del cableado que va desde los módulos fotovoltaicos se utiliza manguera de instalación al aire, con un grado de protección de 0,6/1000 V para el uso a la intemperie. Para el cable que va desde los módulos fotovoltaicos hasta el regulador y la batería.

Con manguera unipolar o bipolar, como máximo dos conductores: uno para el polo positivo y otro para el polo negativo.

También se suele utilizar que sea de cable flexible, para facilitar así su manipulación.

Este tipo de cable (hasta 1000 V), se rigen por la norma UNE 21123.

15. Cálculo de las secciones de los conductores y protecciones

Para el cálculo de la sección de los conductores se tiene en cuenta los siguientes parámetros de cada línea: potencia, factor de potencia, tensión, caída de tensión, longitud y conductividad.

Los datos de potencia, factor de potencia y tensión vienen determinados por la agrupación de receptores y la previsión de las cargas.

La longitud está calculada mediante el plano de la casa, la conductividad viene determinada por el tipo de cable utilizado.

Para los conductores de tensión 230 V se aplicarán las siguientes fórmulas:

- Sección por caída de tensión:

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos\theta} \quad (15.1)$$

- Sección por intensidad máxima admisible (intensidad de cálculo):

$$S = \frac{L \cdot P}{\sigma \cdot e \cdot U} \quad (15.2)$$

Se escoge el valor normalizado según la tabla

15.1 Cálculo circuito PA1

Simultinuanidad: $\frac{2}{3}$

Potencia $P = 250 \text{ W} \cdot \frac{2}{3} = 166,66 \text{ W}$

Factor de potencia $\text{Cos } \varphi = 0,9$

Tensión 230 v monofásica

Longitud $L = 20 \text{ m}$

Caída de tensión: $e = 6,9 \text{ v}$ (3% de 230 v)

Sistema de instalación Cables unipolares con aislamiento de PVC, tensión asignada 450/750 V instalaciones bajo tubo en montaje superficial.

Conductividad: $\sigma = 48 \text{ m} / \Omega \cdot \text{mm}^2$ [conductor de cobre y aislamiento Termoplástico (70 grados C)].

Sección por cdt.

$$S = \frac{2 \cdot L \cdot P}{\sigma \cdot e \cdot U} = \frac{2 \cdot 20 \cdot 166,66}{48 \cdot 6,9 \cdot 230} = 0,0875 \text{ mm}^2 \quad (15.3)$$

Intensidad de cálculo

$$I = \frac{P}{U \cdot \cos \theta} = \frac{13470}{230 \cdot \cos 0,9} = 0,72 \text{ A} \quad (15.4)$$

ITC-BT-19 Método de instalación B, columna 5 (PVC, monofásico).

Sección = $1,5 \text{ mm}^2$ Imáxima = 15 A

15.2 Cálculo circuito PF1

Simultinuanidad: $\frac{2}{3}$

Potencia $P = 290 \text{ W} \cdot \frac{2}{3} = 193,33$

Factor de potencia $\text{Cos } \varphi = 0,9$

Tensión 230 v monofásica

Longitud $L = 10 \text{ m}$

Caída de tensión: $e = 6,9 \text{ v}$ (3% de 230 v)

Sistema de instalación Cables unipolares con aislamiento de PVC, tensión asignada 450/750 V instalaciones bajo tubo en montaje superficial.

Conductividad: $\sigma = 48 \text{ m} / \Omega \cdot \text{mm}^2$ [conductor de cobre y aislamiento Termoplástico (70 grados C)].

Sección por cdt.

$$S = \frac{2 \cdot L \cdot P}{\sigma \cdot e \cdot U} = \frac{2 \cdot 10 \cdot 193,33}{48 \cdot 6,9 \cdot 230} = 0,050 \text{ mm}^2 \quad (15.5)$$

Intensidad de cálculo

$$I = \frac{P}{U \cdot \cos \theta} = \frac{193,33}{230 \cdot \cos 0,9} = 0,84 \text{ A} \quad (15.6)$$

ITC-BT-19 Método de instalación B, columna 5 (PVC, monofásico).

Sección = $1,5 \text{ mm}^2$ Imáxima = 15 A

15.3 Cálculo circuito PF2

Simultinuidad: 1

Potencia $P = 100 \text{ W} \cdot 1 = 100 \text{ W}$

Factor de potencia $\cos \varphi = 0,9$

Tensión 230 v monofásica

Longitud $L = 5 \text{ m}$

Caída de tensión: $e = 6,9 \text{ v}$ (3% de 230 v)

Sistema de instalación Cables unipolares con aislamiento de PVC, tensión asignada 450/750 V instalaciones bajo tubo en montaje superficial.

Conductividad: $\sigma = 48 \text{ m} / \Omega \cdot \text{mm}^2$ [conductor de cobre y aislamiento Termoplástico (70 grados C)].

Sección por cdt.

$$S = \frac{2 \cdot L \cdot P}{\sigma \cdot e \cdot U} = \frac{2 \cdot 5 \cdot 100}{48 \cdot 6,9 \cdot 230} = 0,013 \text{ mm}^2 \quad (15.7)$$

Intensidad de cálculo

$$I = \frac{P}{U \cdot \cos \theta} = \frac{100}{230 \cdot \cos 0,9} = 0,43 \text{ A} \quad (15.8)$$

ITC-BT-19 Método de instalación B, columna 5 (PVC, monofásico).

Sección = $1,5 \text{ mm}^2$ Imáxima = 15 A

15.4 Cálculo circuito PF3

Simultinuidad: 1

Potencia	$P = 120 \text{ W} \cdot 1 = 120 \text{ W}$
Factor de potencia	$\text{Cos } \varphi = 0,9$
Tensión	230 v monofásica
Longitud	$L = 5 \text{ m}$
Caída de tensión:	$e = 6,9 \text{ v}$ (3% de 230 v)
Sistema de instalación	Cables unipolares con aislamiento de PVC, tensión asignada 450/750 V instalaciones bajo tubo en montaje superficial.
Conductividad:	$\sigma = 48 \text{ m}/\Omega \cdot \text{mm}^2$ [conductor de cobre y aislamiento Termoplástico (70 grados C)].

Sección por cdt.

$$S = \frac{2 \cdot L \cdot P}{\sigma \cdot e \cdot U} = \frac{2 \cdot 5 \cdot 120}{48 \cdot 6,9 \cdot 230} = 0,015 \text{ mm}^2 \quad (15.9)$$

Intensidad de cálculo

$$I = \frac{P}{U \cdot \cos \theta} = \frac{120}{230 \cdot \cos 0,9} = 0,52 \text{ A} \quad (15.10)$$

ITC-BT-19 Método de instalación B, columna 5 (PVC, monofásico).

Sección = $1,5 \text{ mm}^2$ Imáxima = 15 A

15.5 Cálculo circuito PF4

Simultinuidad: 1

Potencia	$P = 400 \text{ W} \cdot 1 = 400 \text{ W}$
Factor de potencia	$\text{Cos } \varphi = 0,9$
Tensión	230 v monofásica
Longitud	$L = 6 \text{ m}$
Caída de tensión:	$e = 6,9 \text{ v (3\% de 230 v)}$
Sistema de instalación	Cables unipolares con aislamiento de PVC, tensión asignada 450/750 V instalaciones bajo tubo en montaje superficial.

Conductividad: $\sigma = 48 \text{ m} / \Omega \cdot \text{mm}^2$ [conductor de cobre y aislamiento Termoplástico (70 grados C)].

Sección por cdt.

$$S = \frac{2 \cdot L \cdot P}{\sigma \cdot e \cdot U} = \frac{2 \cdot 6 \cdot 400}{48 \cdot 6,9 \cdot 230} = 0,063 \text{ mm}^2 \quad (15.11)$$

Intensidad de cálculo

$$I = \frac{P}{U \cdot \cos \theta} = \frac{400}{230 \cdot \cos 0,9} = 1,74 \text{ A} \quad (15.12)$$

ITC-BT-19 Método de instalación B, columna 5 (PVC, monofásico).

Sección = $1,5 \text{ mm}^2$ Imáxima = 15 A

15.6 Conexiones de tomas de corriente

Estas conexiones se realizarán conforme con el apartado 2.11 de la ITC-BT-19.

Se admitirán no obstante, conexiones en paralelo entre bases de tomas de corriente cuando estas estén juntas y dispongan de bornes de conexión previstos para la conexión de varios conductores.

La toma de corriente ha de cumplir las siguientes normas:

Producto	Norma de aplicación
Bornes de conexión	UNE-EN 60998
Bases de tomas de corriente para uso doméstico o análogo	UNE 20315
Cajas de empalme y/o derivación	UNE 20415

Tabla.15.1. Normas de las tomas de corriente

Las bases de tomas de corriente que se instalarán serán de 16 A, y según lo indicado en la norma UNE 20315 estarán previstas para la conexión de dos conductores por terminal.

15.7 Tubos protectores

Las canalizaciones de los tubos protectores serán empotradas de grado IP4X y tal como indica en la ITC-BT-21 los tubos serán flexibles y transcurrirán por las paredes, techos y falsos techos.

Las conexiones de empalme de los cables para las distintas lámparas se realizarán en el interior de los tubos protectores.

- Diámetro exterior mínimo de los tubos:

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	16
2,5	12	12	16	16	20
4	12	16	20	20	20
6	12	16	20	20	25
10	16	20	25	32	32
16	16	25	32	32	32
25	20	32	32	40	40
35	25	32	40	40	50
50	25	40	50	50	50
70	32	40	50	63	63
95	32	50	63	63	75
120	40	50	63	75	75
150	40	63	75	75	--
185	50	63	75	--	--
240	50	75	--	--	--

Tabla. 15.2. Diámetro exterior de los tubos protectores (ITC-BT-2)

15.7.1 Tubos protectores para instalación fotovoltaica

Placa fotovoltaica – regulador:

Por los tubos protectores trascorrirán 3 conductores (fase, neutro y protección), cada uno de ellos con una sección de 35 mm².

Por tanto, tal como se dice en la tabla 17.1 de la ITC-BT-21 el diámetro del los tubos exteriores será de 40 mm.

Regulador – batería:

Por los tubos protectores trascorrirán 3 conductores (fase, neutro y protección), cada uno de ellos con una sección de 16 mm².

Por tanto, tal como se dice en la tabla 17.1 de la ITC-BT-21 el diámetro del los tubos exteriores será de 32 mm.

Batería – inversor:

Por los tubos protectores trascurrirán 3 conductores (fase, neutro y protección), cada uno de ellos con una sección de 10 mm².

Por tanto, tal como se dice en la tabla 17.1 de la ITC-BT-21 el diámetro del los tubos exteriores será de 25 mm.

15.7.2 Tubos protectores para instalación eléctrica

Por los tubos protectores trascurrirán 3 conductores (fase, neutro y protección), cada uno de ellos con una sección de 1.5 mm².

Por tanto, tal como se dice en la tabla 17.1 de la ITC-BT-21 el diámetro del los tubos exteriores será de 16 mm.

- Preinscripciones generales para la instalación de los tubos:

El trazado de las canalizaciones se hará siguiendo líneas verticales y horizontales o paralelas a las aristas de las paredes que limitan las diferentes habitaciones donde se efectuara la instalación.

Las curvas practicadas en los tubos serán continuas y no se originarán reducciones de sección inadmisibles.

Las conexiones entre conductores se realizarán en el interior e cajas apropiadas de material aislante y no propagador de llama.

Los tubos se unirán entre si mediante accesorios adecuados a la clase IP4X para asegurar la continuidad de la protección que proporcionan a los conductores.

16. Protecciones

16.1 Protecciones y elementos de seguridad

La instalación incorporará todos elementos de seguridad y características necesarias para garantizar en todo momento la calidad de suministro eléctrico, de modo que cumpla las directivas comunitarias de seguridad eléctrica en baja tensión y compatibilidad electromagnética.

Se incluirán todos los elementos necesarios de seguridad y protecciones propias de las personas y de la instalación fotovoltaica, asegurando la protección frente a contactos directos e indirectos, cortocircuitos, sobrecargas, así como otros elementos y protecciones que resulten de la aplicación de la legislación vigente. En particular, se usará en la parte de la corriente continua de la instalación protección clase II o aislamiento equivalente cuando se trate de un emplazamiento accesible. Los materiales situados a la intemperie tendrán al menos un grado de protección IP 65.

Los fusibles utilizados en la parte de corriente continua son los denominados fusibles de fusión lenta, tipo gL – gG. Su función será la de proteger el cableado, el regulador, el inversor, etcétera .

La instalación debe permitir la desconexión y seccionamiento del inversor, tanto en la parte de corriente continua como en la de corriente alterna, para facilitar las tareas de mantenimiento.

La instalación se protegerá colocando un interruptor diferencial en la línea general que va del inversor a el cuadro de las derivaciones y un interruptor automático en cada una de las derivaciones.

16.2 Derivación individual: Protecciones

Tipo	Sección	Ic	In	Imáxi.	Protecci.	I.sección	S.neutro	Vol.	S.tierra
PA1	1,5	0,72	10	15	2x10A	1,5	1,5	230	1,5
PF1	1,5	0,84	10	15	2X10A	1,5	1,5	230	1,5
PF2	1,5	0,43	10	15	2X10A	1,5	1,5	230	1,5
PF3	1,5	0,52	10	15	2X10A	1,5	1,5	230	1,5
PF4	1,5	1,74	10	15	2X10A	1,5	1,5	230	1,5

Tabla.16.3. Intensidades según secciones

Nota: el cable neutro y el de protección (tierra), tendrán la misma sección que el de fase cuando sean $\leq 16 \text{ mm}^2$, neutro y tierra serán de 16 mm^2 cuando la fase sea $16 < S$ fase $\leq 35 \text{ mm}^2$.

16.3 Cálculo de la corriente de cortocircuito

Normativa de referencia GUIA BT-22 Protección contra sobre intensidades.

GUIA BT ANEXO 3 Corrientes de cortocircuito.

Considerando la derivación individual cortocircuitada en su extremo.

$$R = \frac{L}{\sigma \cdot S} = \frac{3}{48 \cdot 1,5} = 0,04166 \text{ W} \quad (16.1)$$

$$I_{cc} = \frac{0,8 \cdot U}{R} = \frac{0,8 \cdot 230}{0,04166} = 4416,70 \text{ A} \quad (16.2)$$

Los dispositivos de protección deberán tener una capacidad de corte superior a 4416,70 A para garantizar la interrupción de cortocircuitos.

16.4 Instalación de toma de tierra

En las instalaciones con tensiones nominales superiores a 48 voltios, se deberá disponer de una toma de tierra, que estará conectada (como mínimo) a la estructura del campo generador y a los marcos metálicos de los módulos fotovoltaicos.

En la instalación de la vivienda será obligatorio el uso de toma de tierra, mediante el uso de un electrodo o grupo de electrodos enterrados en el suelo. El valor de la resistencia de puesta a tierra se recomienda para un valor inferior a 37Ω .

Para el elemento de protección se utilizara un interruptor diferencial, y su función es la de proteger a las personas ante posibles derivaciones en las partes metálicas de todos los dispositivos propios de la instalación solar o de cualquier electrodoméstico.

Se instalara piquetas que se conectara sin fusibles ni protección alguna, de una parte del circuito o de una parte conductora no perteneciente al mismo mediante una toma de tierra con un electrodo o grupos de electrodos en el suelo.

Para la toma de tierra se pueden utilizar electrodos, formados por:

- Placas enterradas.
- Pilas verticales.
- Conductores enterrados horizontalmente.

El tipo y la profundidad de enterramiento de las tomas de tierra deben ser tales que la posible pérdida de humedad del suelo, la presencia del hielo u otros efectos climáticos no aumenten la resistencia de la toma de tierra por encima del valor previsto. La profundidad nunca será inferior a 0,5 metros.

Normativa de referencia GUIA BT-18: Instalaciones de puesta a tierra.

Criterios de cálculo:

- En las masas no se admiten tensiones superiores a 50V.

- La resistividad del terreno es de 50 Ω .m
- Las características de los interruptores diferenciales son: sensibilidad 30 mA, intensidad nominal 25 A ,40 A y 63 A.

Resistencia máxima de puesta a tierra:

$$R_t = \frac{U_d}{I_{\Delta n}} = \frac{50}{0,03} = 1666W \quad (16.3)$$

Instalación de puesta a tierra con una sola pica vertical de longitud 2 metros.

$$R_{T1} = \frac{\rho}{L} = \frac{50}{3} = 16,6W \quad (16.4)$$

17. Estudio ambiental

17.1 Introducción

Consiste en que se analicen los factores de contaminación que afectan a esta instalación teniendo en cuenta el lugar donde se encuentra y compararlo con los producidos por una instalación de un generador de gasóleo, para averiguar qué instalación tendrá menos agentes contaminantes en el entorno y por tanto cual será mejor en cuestiones ambientales.

Puntos a tratar:

- Ahorro de emisiones contaminantes y CO_2
- Contaminación acústica
- Impacto ambiental

17.2 Ahorro de emisiones contaminantes y CO_2

Según los datos del instituto para la diversificación y ahorro energético I.D.A.E, un motor de gasóleo produce una media de 2,3 kg de CO_2 , por cada litro de combustible que consume.

Teniendo en cuenta los datos de la casa aislada que requiere de un total de 593,250 Kwh. /año para su consumo y que el generador instalado de gasóleo tiene un rendimiento de 0.4 y consume 0.09524 litros de gasolina por Kwh, estamos contaminación un total de CO_2 del:

$$CO_2 \text{ (kgr)} = \left(\frac{0,09542lKwh}{0,4} \cdot 593,250Kwh \right) \cdot 2,3kg/l = 325,49 \text{ Kg de } CO_2 \text{ al año}$$

Una instalación fotovoltaica en cambio no producirá ninguna contaminación de emisiones de CO₂ , por lo que nos estaríamos ahorrando el 100% de contaminación por emisiones de CO₂ .

Por lo que se estará contribuyendo con la conservación del barranco zarza y su entorno.

17.3 Contaminación acústica

Este tipo de contaminación se quedara reducida prácticamente a 0, ya que la instalación fotovoltaica no contiene partes móviles y no genera ningún tipo ruido en su transformación a energía eléctrica.

Por lo que se estará produciendo menos contaminación acústica que un generador de gasóleo, el cual si que produce ruido en su conversión a energía eléctrica.

17.4 Impacto visual

En este caso la instalación fotovoltaica genera un mayor impacto visual, que el generador de gasóleo.

Para minimizar al máximo este impacto visual y así estar acorde con el paisaje en el cual se encuentra las placas fotovoltaicas han sido colocadas en el tejado de la casa.

Por lo que se puede decir que el impacto visual producido por el campo fotovoltaico es mínimo.

Se adjunta normativa ambiental [anexo V](#).

18. Conclusiones

En la presente memoria, cálculos, estudio económico, planos y anexos se ha descrito la instalación de Energía solar fotovoltaica de una casa aislada con fines de uso personal. Esta instalación cumplirá el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión, así como las Normas Ordenanzas y medidas de Seguridad que le sean de aplicación.

Existen, hoy en día, múltiples opciones arquitectónicas posibles de integración de este sistema de tecnología en la casa aislada, así como gran variedad de soluciones de instalación. En este proyecto se han analizado diferentes opciones y la mas viable que es la de integrar el sistema fotovoltaico en el tejado de la casa con la inclinación adecuada para el uso de los módulos fotovoltaicos.

En el propio desarrollo del proyecto no se ha buscado exclusivamente el suministro energético fotovoltaico, si no que también se ha hecho un estudio ambiental y económico con un generador de gasóleo, con lo que se da como mejor opción crear energía por mediación de placas fotovoltaicas.

Como conclusión final se ha de incidir que el camino de las energías renovables está en marcha dado que está aceptado por todo el mundo, que el cambio climático viene a consecuencia de la emisión de los gases combustibles, gran parte de ellos provenientes de la generación de energía.

Es lógico suponer que el sector fotovoltaico experimentará un gran impulso en los próximos años, con el consiguiente beneficio ecológico, y al mismo tiempo abrirá un gran abanico de posibilidades a la industria fotovoltaica y a los inversores públicos o privados que apuesten por esta tecnología.

19. Referencias

Libros:

- IBÁÑEZ, ROSELL Y OTROS, “Tecnología Solar” Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, 2005.
- CREUS SOLÉ. A, “Energías Renovables” Cano Pina S.L. Ceysa DL, Barcelona, 2004.
- GARCÍA TRASANCOS. J, “Instalaciones Eléctricas en Media y Baja Tensión” Ediciones Thomson – Paraninfo, Madrid.
- CENSOLAR “Energía Solar Fotovoltaica, NORMAS UNE” Ediciones AENOR, Madrid, 2004.

Doc. Legislativos:

- RD 436/2004 de 12 de Marzo que recoge las Instalaciones de producción de energía eléctrica que podrán acogerse al régimen especial.
- Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión.
- Guía Técnica de Aplicación: Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión.
- Instrucciones Técnicas complementarias del Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión.

Direcciones de Internet:

- www.ree.es Red Eléctrica de España.
- www.censolar.es Cursos de Estudios de la Energía Solar.
- www.atersa.com Empresa dedicada a la construcción de módulos fotovoltaicos.
- www.idae.es (Instituto para la Diversificación y Ahorro Energético)
- www.asif.org (Asociación de la Industria Fotovoltaica).
- www.appa.es (Asociación de Productores de Energías Renovables)
- www.cener.com (Centro Nacional de Energías Renovables)
- www.agenciaandaluzadelaenergia.es (Agencia andaluza de la energía)