

UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR



TRABAJO FIN DE GRADO

GRADO EN INGENIERÍA ELÉCTRICA

**SISTEMA DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA
 AISLADO PARA VIVIENDA UNIFAMILIAR AISLADA**

AUTOR: David Sánchez Quiroga

DIRECTOR: Manuel Antolín Arias

Leganés, a 30 de Mayo de 2012



ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. LA ENERGÍA SOLAR.....	4
3. ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA.....	7
4. SISTEMAS AISLADOS DE LA RED ELÉCTRICA.....	8
4.1. Aplicaciones de los sistemas fotovoltaicos aislados.....	8
4.2. Componentes de un sistema fotovoltaico aislado.....	11
4.2.1. Generador fotovoltaico.....	12
4.2.2. Sistema de acumulación.....	24
4.2.3. Regulador de carga.....	27
4.2.4. Inversor.....	29
5. APARATOS DE CONSUMO.....	31
6. MEMORIA DESCRIPTIVA.....	32
6.1. Localización de la instalación.....	32
6.2. Datos generales de la instalación.....	33
6.3. Características de la instalación fotovoltaica.....	34
6.3.1. Paneles fotovoltaicos.....	34
6.3.2. Sistema de soporte para los módulos fotovoltaicos.....	36
6.3.3. Reguladores.....	38
6.3.4. Accesorio del regulador.....	40
6.3.5. Acumulador.....	42
6.3.6. Inversor.....	43
6.3.7. Grupo eléctrico.....	45
6.3.8. Cableado.....	46



6.3.8.1. Cableado en corriente continua.....	46
6.3.8.2. Cableado en corriente alterna.....	47
6.3.9. Tubos y canaletas protectoras.....	49
6.3.9.1. Casetas.....	49
6.3.9.2. Interior de vivienda.....	50
6.3.9.3. Intemperie.....	51
6.3.10. Dispositivos de protección.....	52
6.4.10.1. Protecciones en corriente continua.....	52
6.4.10.2. Protecciones en corriente alterna.....	53
6.3.11. Puesta a tierra	55
6.3.11.1. Toma de tierra.....	55
6.4.11.2. Conductores de tierra.....	56
6.4. Rentabilidad de la instalación.....	56
7. CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS.....	58
7.1. Cálculo de la demanda energética.....	59
7.2. Orientación e inclinación óptimas.....	61
7.3. Irradiación sobre el generador.....	61
7.4. Dimensionado del generador.....	62
7.5. Dimensionado del sistema de acumulación.....	63
7.6. Dimensionamiento del regulador.....	65
7.7. Dimensionado del inversor.....	65
7.8. Dimensionado del grupo electrógeno.....	66
7.9. Cableado.....	67
7.10. Tubos protectores.....	71



8. PLIEGO DE CONDICIONES.....	73
8.1. Montaje de las baterías.....	73
8.2. Montaje del inversor.....	74
8.3. Montaje de los módulos fotovoltaicos.....	75
8.4. Montaje de los conductores de corriente continua.....	76
8.5. Seguridad en el montaje.....	77
8.6. Seguridad pública.....	78
8.7. Primeros auxilios en caso de accidente eléctrico.....	78
8.8. Medidas en caso de accidente eléctrico.....	78
8.9. Recepción y pruebas.....	79
8.10. Contrato de mantenimiento.....	80
8.11. Garantía.....	81
9. PRESUPUESTO Y MEDICIONES.....	83
10. CONCLUSIONES.....	87
11. BIBLIOGRAFÍA.....	88
12. PLANOS.....	90



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 4.1. Rendimientos células solares.....	16
Tabla 6.1. Coordenadas del emplazamiento.....	32
Tabla 6.2. Datos generales de la instalación.....	34
Tabla 6.3. Características eléctricas del módulo fotovoltaico.....	34
Tabla 6.4. Características de operación del módulo fotovoltaico.....	35
Tabla 6.5. Características mecánicas del módulo fotovoltaico.....	35
Tabla 6.6. Características del generador fotovoltaico.....	36
Tabla 6.7. Datos técnicos del regulador.....	39
Tabla 6.8. Datos técnicos del accesorio.....	41
Tabla 6.9. Datos técnicos de la batería.....	42
Tabla 6.10. Datos técnicos del inversor.....	45
Tabla 6.11. Características técnicas del grupo diesel.....	46
Tabla 6.12. Cableado de los tramos de CC.....	47
Tabla 6.13. Sección mínima de los conductores de protección.....	48
Tabla 7.1. Demanda de energía diaria.....	58
Tabla 7.2. Periodos de diseño. Fuente: IDEA.....	60
Tabla 7.3. Valores obtenidos de la aplicación PVGIS para las coordenadas del emplazamiento.....	61
Tabla 7.4. Características eléctricas de los módulos fotovoltaicos.....	73
Tabla 7.5. Potencias nominales de los servicios eléctricos.....	66
Tabla 7.6. Intensidades admisibles (A) al aire 40º C. N° de conductores con carga y naturaleza del aislamiento (Fuente: ITC-BT 19).....	69
Tabla 7.7. Diámetros exteriores mínimos en función del número y la sección de los conductores o cables a conducir.(Fuente: ITC-BT-21).....	72



ÍNDICE DE FIGURAS

Fig.1.1. Potencia acumulada en el mundo. Fuente: EPIA.....	1
Fig.1.2. Potencia instalada y acumulada por año en España. Fuente: IDEA.....	2
Fig.1.3. Radiación global anual (kWh/m ² año).Fuente: CENER.....	3
Fig.2.1. Horas solares pico.....	6
Fig.2.2. Tipos de radiaciones.....	6
Fig.4.1. Satélite espacial con paneles fotovoltaicos.....	9
Fig.4.2. Antena de telefonía alimentada por paneles fotovoltaicos.....	9
Fig.4.3. Sistema de bombeo mediante paneles fotovoltaicos.....	10
Fig.4.4. Vivienda aislada alimentada mediante paneles fotovoltaicos.....	10
Fig.4.5. Farolas fotovoltaicas.....	11
Fig.4.6. Esquema general de una instalación fotovoltaica aislada.....	12
Fig.4.7. Esquema eléctrico interno de una célula fotovoltaica.....	13
Fig.4.8. Circuito equivalente de un dispositivo intrínseco.....	14
Fig.4.9. Tipos de células solares.....	15
Fig.4.10. Componentes de un panel fotovoltaico.....	16
Fig.4.11. Elementos de un panel fotovoltaico.....	17
Fig.4.12.Curvas características I-V	20
Fig.4.13.Gráficos de dependencia de la irradiancia.....	21
Fig.4.14.Dependencia de la temperatura.....	21
Fig.4.15. Batería.....	25
Fig.4.16. Conexionado regulador.....	28
Fig.4.17. Inversor.....	29
Fig.6.1. Localización geográfica de la instalación.....	32
Fig.6.2. Vista aérea del lugar.....	32
Fig 6.3. Dimensiones del módulo fotovoltaico.....	35
Fig. 6.4. Vista frontal del módulo fotovoltaico.....	36
Fig. 6.5.Vista del sistema soporte de los módulo fotovoltaicos.....	37
Fig.6.6. Vista frontal del regulador.....	40
Fig.6.7. Dimensiones del regulador.....	40
Fig.6.8. Vista frontal accesorio.....	42
Fig.6.9. Dimensiones accesorio.....	42
Fig. 6.10. Vista frontal de la batería.....	43



Fig.6.11. Vista frontal del inversor	43
Fig.6.12. Dimensiones del inversor.....	43
Fig. 6.13. Vista frontal grupo diesel.....	46
Fig.6.14. Vista de la canaleta con sus accesorios.....	49
Fig.6.15. Vista de la caja estanca.....	50
Fig.6.16 Tubo PVC elegido.....	51
Fig.6.17. Tubo PVC elegido.....	52
Fig.6.18.Vista de interruptor magnetotérmico.....	53
Fig.6.19. Interruptor diferencial.....	55
Fig.6.20. Picas elegidas.....	56
Fig.7.1. Diseño y dimensionamiento de una instalación fotovoltaica aislada.....	58
Fig.7.2. Ángulos de inclinación y de azimut.....	60
Fig. 9.1. Gráfica presupuestaria.....	86



1. INTRODUCCIÓN

La energía solar fotovoltaica ha experimentado un crecimiento exponencial en los últimos años, impulsada por la necesidad de asumir los retos que en materia de generación de energía se presentan.

Este crecimiento se ha producido gracias a los mecanismos de fomento de algunos países que, como España, han propiciado un gran incremento de la capacidad global de fabricación, distribución e instalación de esta tecnología.

A finales de 2010, la potencia acumulada en el mundo era de aproximadamente 40.000 MWp (MWp es la potencia eléctrica máxima que entrega los paneles fotovoltaicos bajo unas condiciones estándar) medida según datos de la European Photovoltaic Industry Association (EPIA), de los cuales cerca de 29.000 MWp, un 72%, se localiza en la Unión Europea. Para los próximos años se espera que el continuo crecimiento de la última década a nivel mundial se mantenga.

Las tres áreas de mayor interés en el mundo, según la potencia acumulada, son Europa (destacando Alemania y España, con más de un 52% del total mundial), Japón y EE.UU. Japón, con cerca de 3.622 MW acumulados y EE.UU., con aproximadamente 2.727 MW representan el 9 y el 6,80% respectivamente de la potencia total. En el gráfico siguiente se representa el histórico de la potencia acumulada a nivel mundial en los últimos años, apreciándose claramente el crecimiento exponencial, como podemos observar en la figura 1.1.

A corto plazo es previsible que esta distribución del mercado se mantenga, si bien hay países que empiezan a despuntar, lo cual hace suponer también que en el futuro el peso relativo de los países con más potencia no será tan preponderante como en la actualidad.

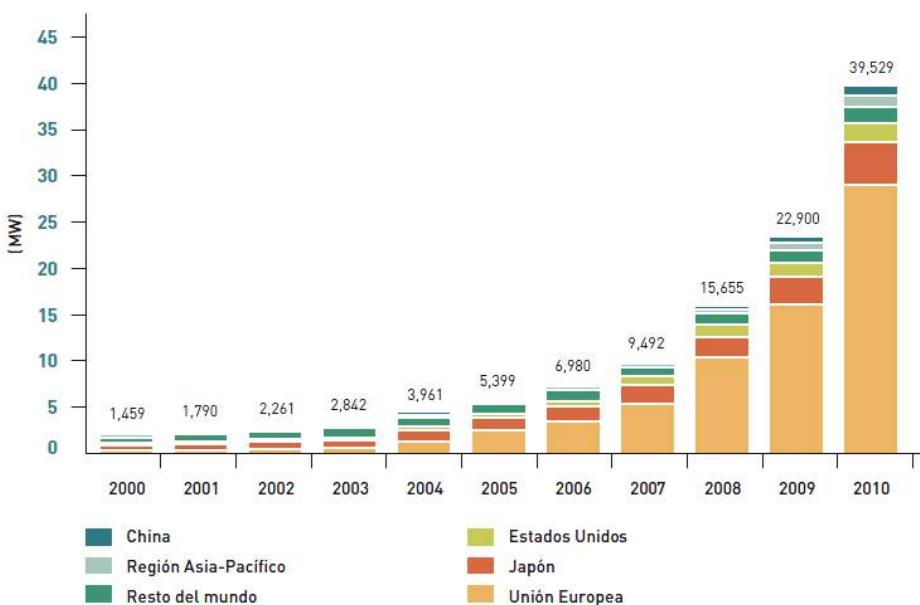




Fig.1.1. Potencia acumulada en el mundo. Fuente: EPIA

España se sitúa como el segundo país a nivel mundial, tras Alemania, en potencia instalada. La potencia total acumulada en el año 2010 alcanzo los 3.787 MW.

En la figura 1.2. se muestra la evolución de potencia instalada anualmente y la total acumulada en España conectada a red hasta 2010.

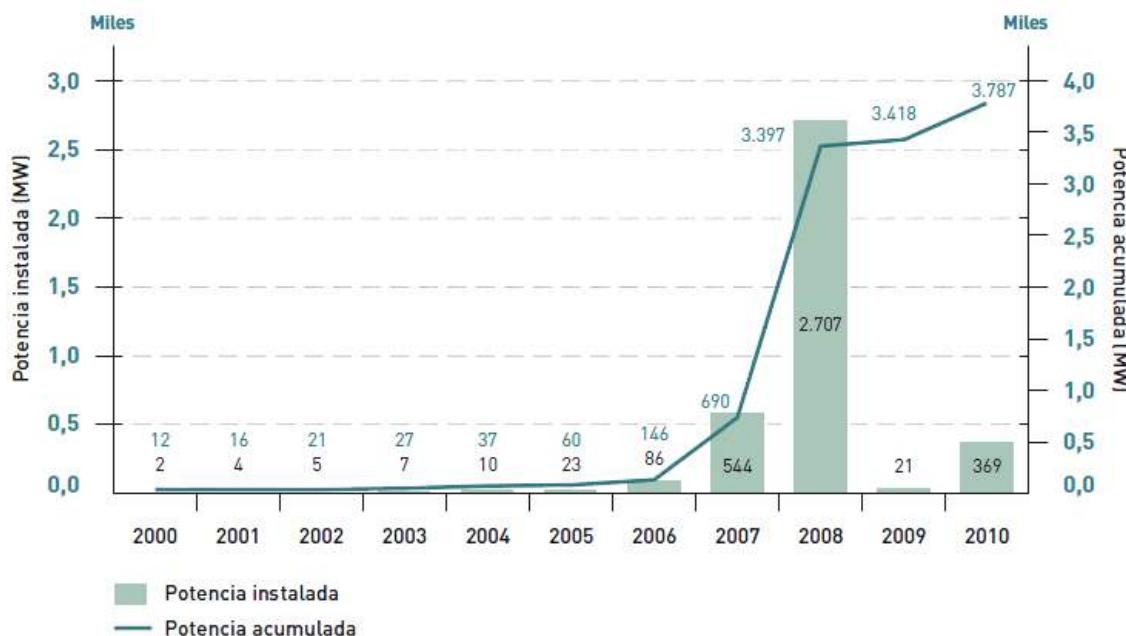


Fig.1.2. Potencia instalada y acumulada por año en España. Fuente: IDAE

La situación geográfica de España hace que el crecimiento en el uso de energía solar sea una opción interesante. La irradiación media diaria que recibe hace que puedan obtenerse grandes cantidades de energía.

La siguiente figura muestra la estimación de la cantidad de radiación global anual en España:

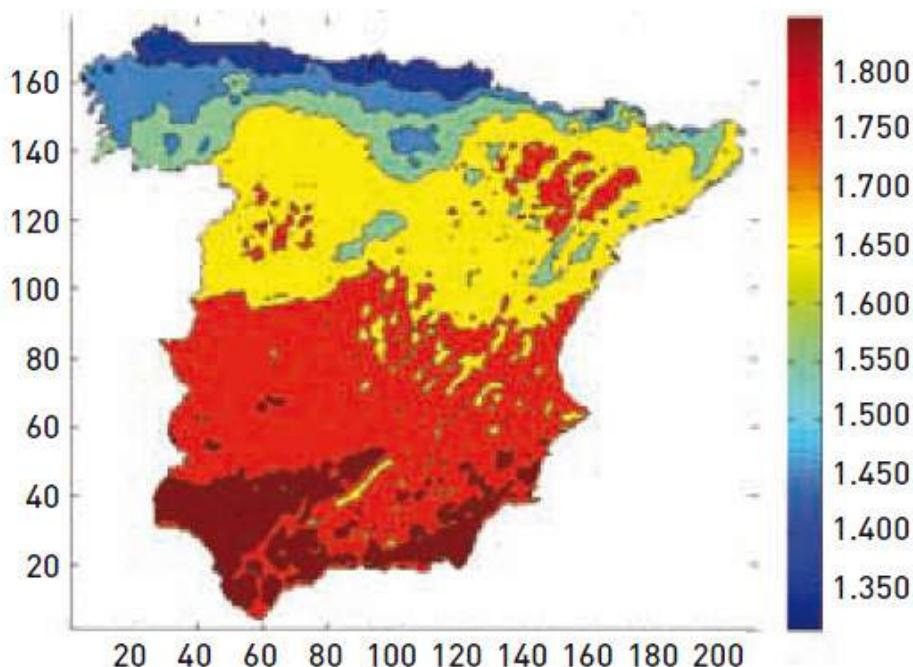


Fig.1.3. Radiación global anual ($kWh/m^2/año$).Fuente: CENER

El objetivo del presente trabajo fin de grado es diseñar un sistema de energía solar fotovoltaica para una vivienda unifamiliar aislada de modo que sea autosuficiente energéticamente mediante un sistema fotovoltaico.

Un sistema fotovoltaico completo, con gran capacidad de acumulación, puede garantizar un suministro fiable hasta varios días con ausencia de sol, y con una inversión mucho inferior al coste de hacer llegar la red eléctrica al emplazamiento.

Para conseguir un suministro de corriente absolutamente fiable, se incorporará al sistema un grupo electrógeno de apoyo. Así se garantiza que, en el caso extremo de que los acumuladores se queden sin energía, el sistema pueda seguir suministrando electricidad.



2. LA ENERGÍA SOLAR

La energía solar es la energía obtenida directamente del Sol. La radiación solar incidente en la Tierra puede aprovecharse, por su capacidad para calentar, o directamente, a través del aprovechamiento de la radiación en dispositivos ópticos o de otro tipo. Es un tipo de energía renovable y limpia, lo que se conoce como energía verde.

La potencia de la radiación varía según el momento del día, las condiciones atmosféricas que la amortiguan y la latitud. Se puede asumir que en buenas condiciones de irradiación el valor es de aproximadamente 1000 W/m² en la superficie terrestre.

Atendiendo a las tecnologías y su correspondiente uso más general, la energía solar puede clasificarse en:

4. Energía solar activa: para uso de baja temperatura (entre 35 °C y 60 °C), se utiliza en casas; de media temperatura, alcanza los 300 °C; y de alta temperatura, llega a alcanzar los 2000 °C. Esta última, se consigue al incidir los rayos solares en espejos, que actuando como reflector concentra los rayos en un punto concreto.
5. Energía solar pasiva: Aprovecha el calor del sol sin necesidad de mecanismos o sistemas mecánicos.
6. Energía solar térmica: Es usada para producir agua caliente de baja temperatura para uso sanitario y calefacción.
7. Energía solar fotovoltaica: Es usada para producir electricidad mediante placas de semiconductores que se alteran con la radiación solar.
8. Energía solar termoeléctrica: Es usada para producir electricidad con un ciclo termodinámico convencional a partir de un fluido calentado a alta temperatura (aceite térmico).
9. Energía solar híbrida: Combina la energía solar con otra energía. Según la energía con la que se combine es una hibridación:
 - Renovable: biomasa, energía eólica
 - No renovable: Combustible fósil.
10. Energía eólico solar: Funciona con el aire calentado por el sol, que sube por una chimenea donde están los generadores.

El sol emite una gran cantidad de energía continuamente. Con el uso de paneles solares se puede captar la radiación que emite el sol y convertirla en calor o en electricidad.



Actualmente es obligatorio instalar en todos los edificios de nueva construcción captadores solares térmicos para la obtención de agua caliente sanitaria (ACS), los cuales calientan el agua que circula por unos tubos en forma de serpentín dentro del captador solar, con lo que ya se consigue un ahorro considerable de energía.

Se pretende que las instalaciones de tecnología solar fotovoltaica se conviertan también en parte de todos los edificios y poder generar electricidad de forma gratuita para el consumo del edificio donde esté instalado o para verter a la red aprovechando las subvenciones actuales que presta el estado.

Se dice que la energía solar fotovoltaica es la energía del futuro. Como características positivas podemos mencionar que, en este tipo de energía, la energía solar se transforma en energía eléctrica sin partes móviles, sin ciclos termodinámicos y sin reacciones químicas. Esta generación eléctrica es de duración prácticamente ilimitada, no requiere apenas de mantenimiento, no produce contaminación ni ruido.

El funcionamiento básico se basa en el efecto fotoeléctrico que permite transformar directamente energía solar (ya sea directa o difusa) en energía eléctrica continua. Para ello, se suelen utilizar semiconductores, y en especial el silicio (el segundo elemento más abundante en la corteza terrestre que se obtiene de la arena).

El elemento base es la célula solar. Suelen ser de silicio monocristalino, policristalino o amorfo. Los conjuntos de células se orientan hacia el Sur para aprovechar más la radiación solar, y son conectadas a un sistema de almacenamiento (baterías) o de conversión de la corriente. Se trata, pues, de una fuente de energía que puede aprovecharse en cualquier aplicación: red eléctrica, consumo en lugares aislados de zonas rurales, etc.

Para comprender correctamente los procesos que se dan en la generación de la energía solar por medio de paneles fotovoltaicos es necesario comprender ciertos términos:

- Radiación solar: es la energía procedente del sol en forma de ondas electromagnéticas.
- Radiación solar directa: es la radiación solar por unidad de tiempo y unidad de área, que sin haber sufrido modificación en su trayectoria, incide sobre una superficie.
- Radiación difusa: es la radiación solar por unidad de tiempo y unidad de área que, procedente de toda la bóveda celeste, excepto la procedente del disco solar, que incide sobre una superficie.



- Radiación solar reflejada: es la radiación por unidad de tiempo y unidad de área que, procedente de la reflexión de la radiación solar en el suelo y otros objetos, incide sobre una superficie.
- Radiación global: es la suma de la radiación directa, difusa y reflejada
- Horas sol pico: es el número de horas de sol que con una radiación global de 1000 W/m^2 proporciona una energía equivalente a la radiación global recibida en un período de tiempo.

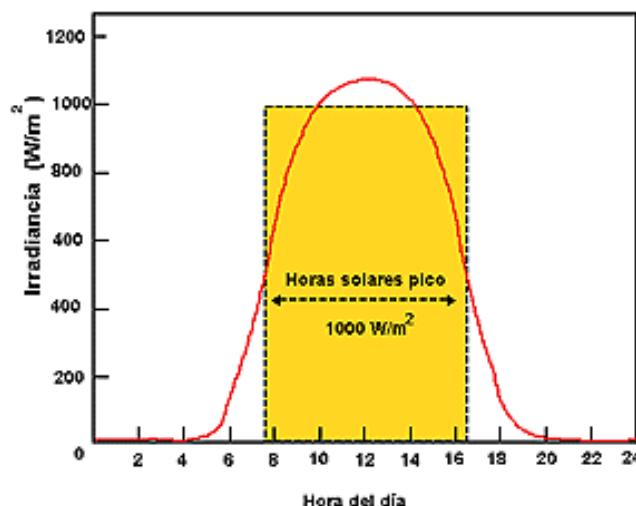


Fig.2.1. Horas solares pico

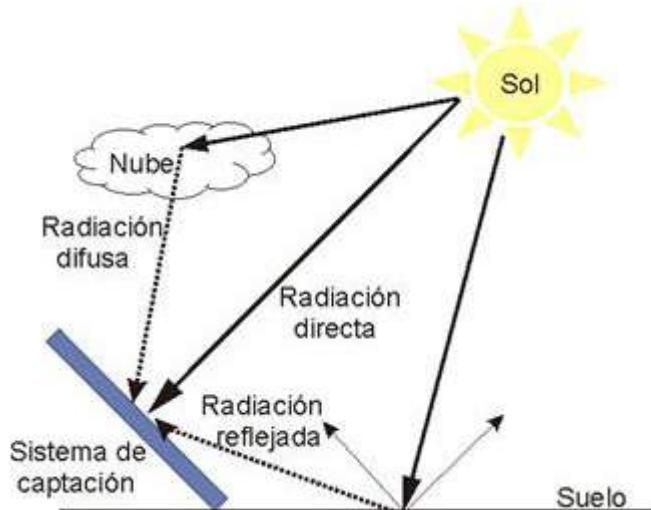


Fig.2.2. Tipos de radiaciones



3. ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

La energía solar se transforma directamente en electricidad mediante células fotovoltaicas. Este proceso se basa en la aplicación del efecto fotovoltaico, que se produce al incidir la luz sobre unos materiales denominados semiconductores. La luz está compuesta por fotones, que son partículas energéticas. Estos fotones son de diferentes energías correspondientes a las diferentes longitudes de onda del espectro solar. Cuando los fotones inciden sobre una célula fotovoltaica, pueden ser reflejados o absorbidos, o pueden pasar a través de ella. Solo pueden generar electricidad los fotones absorbidos. Cuando un fotón es absorbido, la energía del fotón se transfiere a un electrón de un átomo de la célula. Con esta nueva energía, el electrón es capaz de escapar de su posición normal asociada con un átomo para formar parte de una corriente en un circuito eléctrico.

La generación fotovoltaica se divide en dos grandes grupos:

- Sistemas aislados: Usados como fuente de energía eléctrica alternativa a la red.
- Sistemas conectados a la red eléctrica: Usados con fines de explotación.

Las instalaciones fotovoltaicas se caracterizan por:

- Su simplicidad y fácil instalación.
- Ser modulares.
- Tener una larga duración
- No requerir apenas mantenimiento.
- Tener una elevada fiabilidad.
- No producir ningún tipo de contaminación ambiental.
- Tener un funcionamiento totalmente silencioso.



4. SISTEMAS AISLADOS DE LA RED ELÉCTRICA

Estos sistemas se emplean sobre todo en aquellos lugares en los que no se tiene acceso a la red eléctrica y resulta más económico instalar un sistema fotovoltaico que tender una línea entre la red y el punto de consumo.

Como los paneles sólo producen energía en las horas de Sol y la energía se necesita durante las 24 horas del día, es necesario un sistema de acumulación.

Durante las horas de luz solar hay que producir más energía de la que se consume, en tiempo real para acumularla y posteriormente poder utilizarla cuando no se esté generando.

La cantidad de energía que se necesita acumular se calcula en función de las condiciones climáticas de la zona y el consumo de electricidad, de tal manera que, en una zona donde haya muchos días soleados al año, habrá que acumular poca energía, esto es, cuanto más largo es el periodo sin luz, hay que acumular más energía.

El número de paneles a instalar debe calcularse teniendo en cuenta:

- La demanda energética en los meses más desfavorables.
- Las condiciones técnicas óptimas de orientación e inclinación, dependiendo del lugar de la instalación.

Para optimizar el sistema es necesario calcular correctamente la demanda con el fin de no sobredimensionar la instalación. Conviene utilizar electrodomésticos e iluminación de bajo consumo, para que de esta manera el sistema sea más económico. Actualmente existe una gran variedad de productos de bajo consumo.

4.1. Aplicaciones de los sistemas fotovoltaicos aislados

Las principales aplicaciones de los sistemas aislados de la red eléctrica son:

- *Aplicaciones Espaciales:* Desde los orígenes de la aventura espacial los satélites y naves espaciales han utilizado paneles solares fotovoltaicos para alimentar sus equipos electrónicos.



Fig.4.1. Satélite espacial con paneles fotovoltaicos

- *Sector de gran consumo:* Calculadoras, relojes, etc.
- *Telecomunicaciones:* Existen multitud de equipos de telecomunicaciones situados en zonas de difícil acceso, alejados de la red eléctrica, alimentados por energía solar fotovoltaica. En estos casos, normalmente, la solución solar es la más económica y fiable. Son ejemplos característicos: repetidores de televisión, equipos de radio, antenas de telefonía móvil, etc...



Fig.4.2. Antena de telefonía alimentada por paneles fotovoltaicos

- *Señalización:* La señalización marítima y terrestre es una de las grandes aplicaciones de los sistemas fotovoltaicos. Así son numerosos los ejemplos en balizamiento de aeropuertos, señalización de carreteras y puertos, etc...
- *Bombeo:* Al estar los pozos alejados de la red eléctrica, el bombeo con energía fotovoltaica es una solución muy adecuada. Estas instalaciones se adaptan muy bien a las necesidades ya que en los meses más soleados, que es normalmente cuando más agua se necesita, es cuando más energía se produce.



Fig.4.3. Sistema de bombeo mediante paneles fotovoltaicos

- *Zonas protegidas:* En parajes naturales, donde por motivos de protección ambiental se recomienda no instalar tendidos eléctricos aéreos, en ocasiones, resulta más rentable utilizar sistemas fotovoltaicos en lugar de tendidos subterráneos o grupos electrógenos que utilizan combustibles fósiles.
- *Electrificación de viviendas aisladas:* La distancia del punto de consumo a la red eléctrica puede hacer, en muchos casos, más rentable esta aplicación debido no solo al coste del instalar el tendido eléctrico sino también a la calidad del suministro eléctrico al evitarse cortes de electricidad, muy frecuentes en lugares aislados.



Fig.4.4. Vivienda aislada alimentada mediante paneles fotovoltaicos

- *Alumbrado de calles y carreteras:* La posibilidad de utilizar sistemas de iluminación autónomos de fácil instalación y mínima obra civil hace que sea una solución adecuada en muchas ocasiones.



Fig.4.5. Farolas fotovoltaicas

- *Sistemas centralizados para poblaciones rurales aisladas:* Cuando hay que electrificar una pequeña población rural aislada, la solución más idónea es instalar un sistema centralizado que gestione y distribuya la energía de los habitantes de la pequeña población.

4.2. Componentes de sistema fotovoltaico aislado

Básicamente un sistema fotovoltaico aislado consta de los siguientes componentes:

- Generador fotovoltaico: Transforma la energía del sol en energía eléctrica y carga las baterías.
- Sistema de acumulación: Acumulan la energía entregada por los paneles. Cuando hay consumo, la electricidad la proporciona directamente la batería y no los paneles.
- Regulador de carga: Controla la carga de la batería evitando que se produzcan sobrecargas o descargas excesivas, que disminuyen la vida útil del acumulador. Puede incorporar un sistema de seguimiento del punto de máxima potencia del panel, que es un dispositivo que aumenta el rendimiento de la instalación.
- Inversor: La corriente que entrega la batería es corriente continua y la mayoría de los electrodomésticos que se comercializan, funcionan con corriente alterna. Por este motivo se utilizan inversores que convierten la corriente continua en alterna.

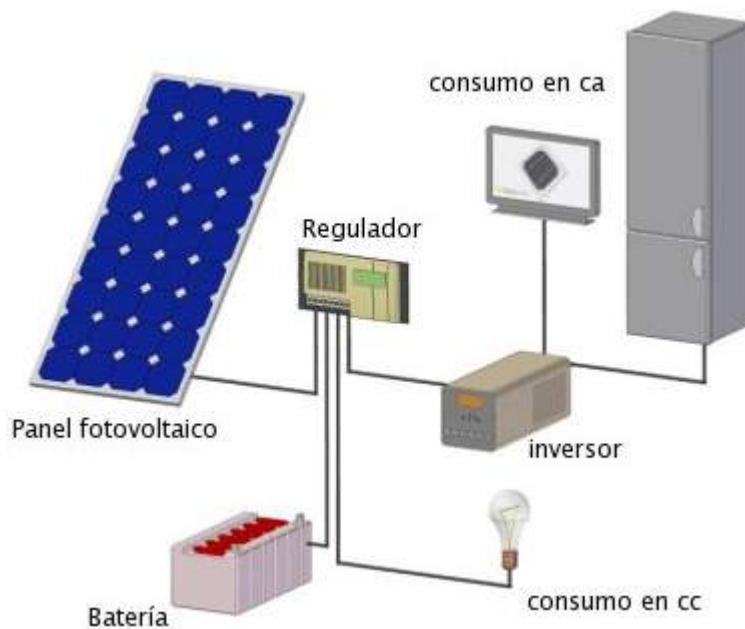


Fig.4.6. Esquema general de una instalación fotovoltaica aislada

4.2.1. Generador fotovoltaico

Un módulo fotovoltaico consiste en un conjunto de células fotovoltaicas eléctricamente conectadas unas con otras, encapsuladas montadas en un laminado y una estructura soporte o marco, para proteger y dar rigidez al conjunto.

Una célula solar es un dispositivo capaz de convertir la energía proveniente de la radiación solar en energía eléctrica. La gran mayoría de las células solares que actualmente están disponibles comercialmente son de Silicio mono o policristalino. El primer tipo se encuentra más generalizado y aunque su proceso de elaboración es más complicado, suele presentar mejores resultados en cuanto a su eficiencia.

Por otra parte, la experimentación con materiales tales como el Telurio de Cadmio o el Diseleniuro de Indio-Cobre está llevando a las células fabricadas con estas sustancias a situaciones próximas a aplicaciones comerciales, contándose con las ventajas de poderse trabajar con tecnologías de láminas delgadas.

Principio de funcionamiento de la célula solar:

Cuando conectamos una célula solar a una carga y la célula está iluminada, se produce una diferencia de potencial en extremos de la carga y circula una corriente por ella (efecto fotovoltaico), como se puede observar en la figura 4.7.



La corriente entregada a una carga por una célula solar es el resultado neto de dos componentes internas de corriente que se oponen. Estas son:

- Corriente de iluminación: debida a la generación de portadores que produce la iluminación.

$$I_{ph} = I_L$$

- Corriente de oscuridad: debida a la recombinación de portadores que produce el voltaje externo necesario para poder entregar energía a la carga.

$$I_D(V) = I_o \left[\exp \frac{eV}{KT_c} - 1 \right]$$

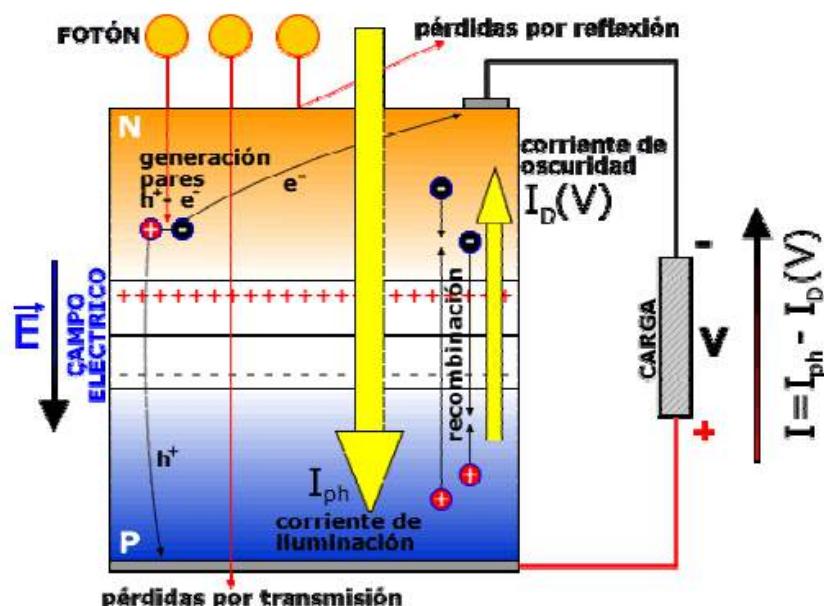


Fig.4.7. Esquema eléctrico interno de una célula fotovoltaica

Los fotones serán los que formarán, al romper el enlace, los pares electrón-hueco y, debido al campo eléctrico producido por la unión de materiales en la célula de tipo P y N, se separan antes de poder recombinarse formándose así la corriente eléctrica que circula por la célula y la carga aplicada.

Algunos fotones pueden no ser aprovechados para la creación de energía eléctrica por diferentes razones:

- Los fotones que tienen energía inferior al ancho de banda prohibida del semiconductor atraviesan el semiconductor sin ceder su energía para crear pares electrón-hueco.



- Aunque un fotón tenga una energía mayor o igual al ancho de banda prohibida puede no ser aprovechado ya que una célula no tiene la capacidad de absorberlos a todos.

- Además, los fotones pueden ser reflejados en la superficie de la célula.

Es conveniente definir los siguientes parámetros fundamentales:

- Corriente de cortocircuito (I_{cc}): es la máxima intensidad que se genera en el panel cuando no hay conectado ningún consumo y se cortocircuitan sus bornes. Suele estar alrededor de los 3 A.

- Tensión de circuito abierto (V_{ca}): Es la máxima tensión que proporciona el panel, cuando no hay conectado ningún consumo (los bornes están al aire). Suele ser menor de 22 V para módulos que vayan a trabajar a 12 V en su funcionamiento nominal. Valor típico: 20V

- Punto de máxima potencia (Imp , Vmp): Es el punto para el cual la potencia entregada es máxima, obteniéndose el mayor rendimiento posible del panel. Los valores típicos de Imp y Vmp son algo menores que Isc y Voc . Varía entre 25 y 300 W.

- Factor de forma (FF): Es la relación entre la potencia máxima que el panel puede entregar y el producto $I_{cc} \cdot V_{ca}$. Varía entre 0,7 y 0,8.

- Eficiencia o rendimiento: Es el cociente entre la máxima potencia eléctrica que el panel puede entregar y la potencia de la radiación solar incidente. Habitualmente entre el 10% y el 18%

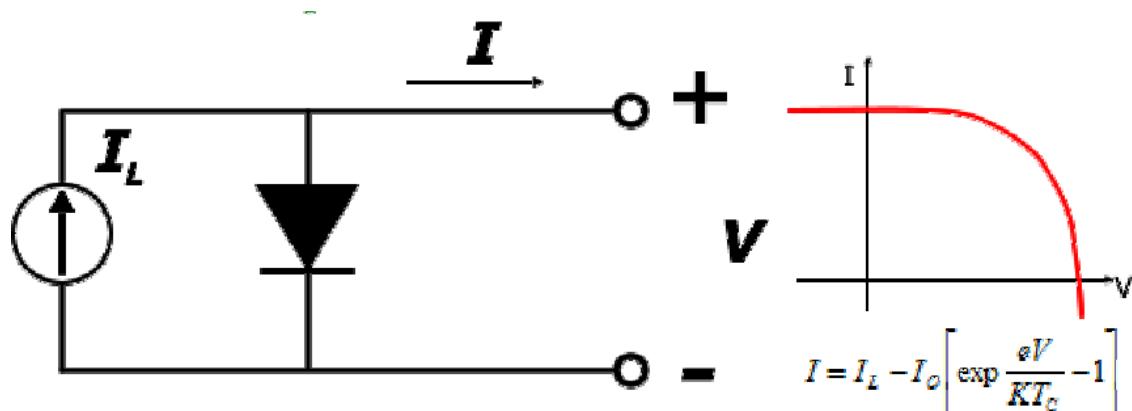


Fig.4.8. Circuito equivalente de un dispositivo intrínseco



En la figura 4.8. podemos observar el circuito equivalente de un dispositivo intrínseco, la corriente I que produce el panel cuando se aplica un voltaje externo V depende de la corriente fotogenerada (I_L), de la corriente de saturación de oscuridad (I_0), de la carga del electrón ($e=1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$) , de la constante de Boltzman $K= 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$ y de la temperatura (grados Kelvin).

La materia prima para la fabricación de las células fotovoltaicas más utilizada actualmente es el silicio. El silicio es el material más abundante en la Tierra después del oxígeno. Dado que la combinación de ambos forma el 60% de la corteza terrestre.

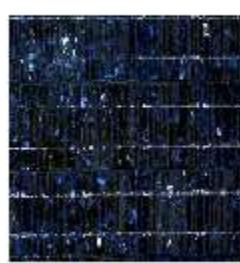
El silicio utilizado actualmente en la fabricación de las células que componen los módulos fotovoltaicos se presenta en tres formas diferentes:

- Silicio monocristalino. En este caso el silicio que compone las células de los módulos es un único cristal. La red cristalina es la misma en todo el material y tiene muy pocas imperfecciones. El proceso de cristalización es complicado y costoso, pero, sin embargo, es el que proporciona la mayor eficiencia de conversión de luz en energía eléctrica.
- Silicio policristalino. No está formado por un solo cristal. El proceso de cristalización no es tan cuidadoso y la red cristalina no es la misma en todo el material. Este proceso es más barato que el anterior pero se obtienen rendimientos ligeramente inferiores.
- Silicio amorfo. En el silicio amorfo no hay red cristalina y se obtiene un rendimiento inferior a los de composición cristalina. Sin embargo posee la ventaja, además de su bajo coste, de ser un material muy absorbente por lo que basta una fina capa para captar la luz solar.

Silicio monocristalino



Silicio policristalino



Silicio amorfo



Fig.4.9. Tipos de células solares

Los rendimientos actuales de las diferentes tecnologías de módulos solares en fase de comercialización son:



Células	Rendimiento laboratorio	Rendimiento directo
Monocristalino	24%	15-18%
Policristalino	10-20%	12-14%
Amorfo	16%	<10%

Tabla 4.1. Rendimientos células solares

El panel fotovoltaico:

Un panel solar está constituido por varias células iguales conectadas eléctricamente entre si, en serie y/o en paralelo, de forma que la tensión y corriente suministrada por el panel se incrementa hasta ajustarse al valor deseado.

La mayor parte de los paneles solares se construyen asociando primero células en serie hasta conseguir el nivel de tensión deseado, y luego asociando en paralelo varias asociaciones serie de células para alcanzar el nivel de corriente deseado.

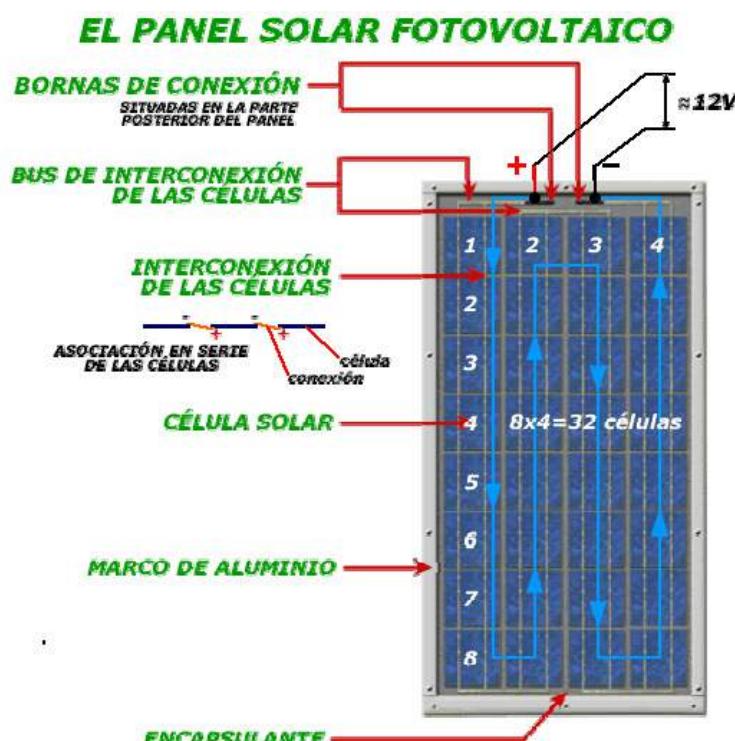


Fig.4.10. Componentes de un panel fotovoltaico

Además, el panel cuenta con otros elementos a parte de las células solares, como se observa en la figura 4.11, que hacen posible la adecuada protección del conjunto frente a los agentes externos; asegurando una rigidez suficiente, posibilitando la sujeción a las estructuras que lo soportan y permitiendo la conexión eléctrica.



ELEMENTOS DE UN PANEL FOTOVOLTAICO

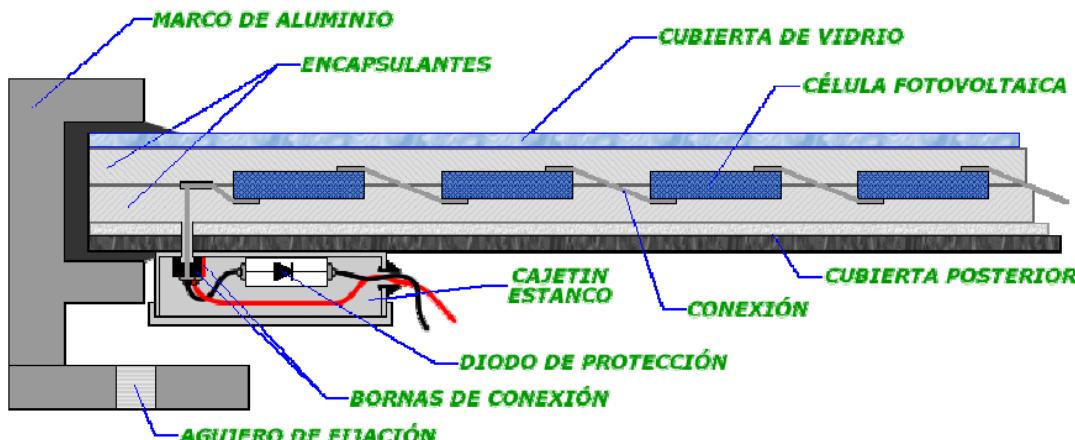


Fig.4.11. Elementos de un panel fotovoltaico

- Cubierta exterior de cara al Sol: Es de vidrio, debe facilitar al máximo la transmisión de la radiación solar. Se caracteriza por su resistencia mecánica, alta transitividad y bajo contenido en hierro.
- Encapsulante: De silicona o más frecuentemente EVA (etilen-vinil-acetato). Es especialmente importante que no quede afectado en su transparencia por la continua exposición al sol, buscándose además un índice de refracción similar al del vidrio protector para no alterar las condiciones de la radiación incidente.
- Protección posterior: Igualmente debe dar rigidez y una gran protección frente a los agentes atmosféricos. Usualmente se emplean láminas formadas por distintas capas de materiales, de diferentes características.
- Marco metálico: De Aluminio, que asegura una suficiente rigidez y estanqueidad al conjunto, incorporando los elementos de sujeción a la estructura exterior del panel. La unión entre el marco metálico y los elementos que forman el modulo está realizada mediante distintos tipos de sistemas resistentes a las condiciones de trabajo del panel.
- Cableado y bornes de conexión: Habituales en las instalaciones eléctricas, protegidos de la intemperie por medio de cajas estancas.
- Diodo de protección:
 - Diodos de paso: proporcionan un camino de alivio para evitar que circule corriente por un modulo sombreado. Estos diodos evitan que las células sombreadas se comporten como disipadores en forma de calor de la potencia eléctrica generada por el resto de células iluminadas.



- Diodos antiretorno: al final de cada grupo serie, para prevenir que otras series deriven corriente en la serie dañada.
- Diodo de bloqueo: para evitar el flujo de corriente en la dirección opuesta

Los Paneles solares tienen entre 28 y 40 células, aunque lo más típico es que cuenten con 36. Normalmente, los paneles utilizados, están diseñados para trabajar en combinación con baterías de tensiones múltiplo de 12V, como veremos en la sección dedicada al acumulador.

La superficie del panel suele ser de 0,5 a 2 m² y dispone de dos bornes de salida: positivo y negativo y, a veces, de alguna intermedia para instalar diodos de protección.

Características eléctricas del panel fotovoltaico:

Al igual que en la célula solar son importantes los siguientes parámetros:

- Potencia máxima o potencia pico del módulo (PmaxG). Si se conecta una cierta carga al panel, el punto de trabajo vendrá determinado por la corriente I y la tensión V existentes en el circuito. Estos deberán ser menores que los IscG y VocG que definiremos más adelante.

La potencia P que el panel entrega a la carga está determinada por la ecuación genérica:
 $P = I \times V$.

A su valor más alto se le llama potencia máxima o potencia pico del módulo. Los valores de la corriente y de la tensión correspondiente a este punto se denominan respectivamente:

- Intensidad de pico máxima (Ipmax): Intensidad cuando la potencia es máxima en el punto de máxima potencia.
- Tensión de pico máxima (Vpmax): Tensión cuando la potencia también es máxima o tensión en el punto de máxima potencia.
- Corriente de cortocircuito (IscG), que se obtiene al cortocircuitar los terminales del panel ($V=0$), la intensidad que circularía por el panel es de corriente máxima.
- Tensión de circuito abierto (VocG), que se obtiene al dejar los terminales del panel en circuito abierto ($I=0$), entre ellos aparece al recibir la radiación una tensión que será máxima.

Dichos parámetros se obtienen en unas condiciones estándar de medida de uso universal según la norma EN61215. Establecidas como sigue y que el fabricante debe especificar:



- Irradiancia: 1000W/m² (1 KW/m²)
- Distribución espectral de la radiación incidente: AM1.5 (masa de aire)
- Incidencia normal.
- Temperatura de la célula: 25°C

Otro parámetro que debería ser suministrado es la TONC o Temperatura de Operación Nominal de la Célula. Dicho parámetro se define como la temperatura que alcanzan las células solares cuando se somete al módulo a las siguientes condiciones de operación:

- Irradiancia: 800W/m²
- Distribución espectral de la radiación incidente: AM1.5 (masa de aire)
- Incidencia normal
- Temperatura ambiente: 20°C
- Velocidad del viento: 1m/s

Comportamiento del panel fotovoltaico:

Una vez conocidos estos parámetros, podemos determinar cómo afectan diferentes factores a los paneles fotovoltaicos.

La intensidad aumenta con la radiación, permaneciendo más o menos constante el voltaje. Es importante conocer este efecto ya que los valores de la radiación cambian a lo largo de todo el día en función del ángulo del Sol con el horizonte, por lo que, es importante la adecuada colocación de los paneles existiendo la posibilidad de cambiar su posición a lo largo del tiempo, bien según la hora del día o la estación del año.

Un mediodía a pleno sol equivale a una radiación de 1000 W/m². Cuando el cielo está cubierto, la radiación apenas alcanza los 100 W/m².

La exposición al Sol de las células provoca su calentamiento, lo que lleva aparejados cambios en la producción de electricidad. Una radiación de 1000 W/m² es capaz de calentar una célula unos 30°C por encima de la temperatura del aire circundante. A medida que aumenta la temperatura, la tensión generada es menor, por lo que es recomendable montar los paneles de tal manera que estén bien aireados y, en el caso de



que sea usual alcanzar altas temperaturas, plantearse la posibilidad de instalar paneles con un mayor número de células.

Este factor condiciona enormemente el diseño de los sistemas de concentración, ya que las temperaturas que se alcanzan son muy elevadas, por lo que las células, deben estar diseñadas para trabajar en ese rango de temperatura o bien, contar con sistemas adecuados para la disipación de calor.

El número de células por módulo afecta principalmente al voltaje puesto que cada una de ellas produce 0.4V. La Voc del módulo aumenta en esa proporción. Un panel solar fotovoltaico se diseña para trabajar a una tensión nominal V_{pn} , procurando que los valores de V_{Pmax} en las condiciones de iluminación y temperatura más frecuentes coincidan con V_{pn} .

Los parámetros bajo los que operan los paneles fotovoltaicos, para una determinada localización, hacen que la característica de voltaje DC de salida varíe dentro de un margen considerable a lo largo de todo el año. La radiación y la temperatura ambiente experimentan además otro tipo de variación debidos a factores diurnos y estacionales.

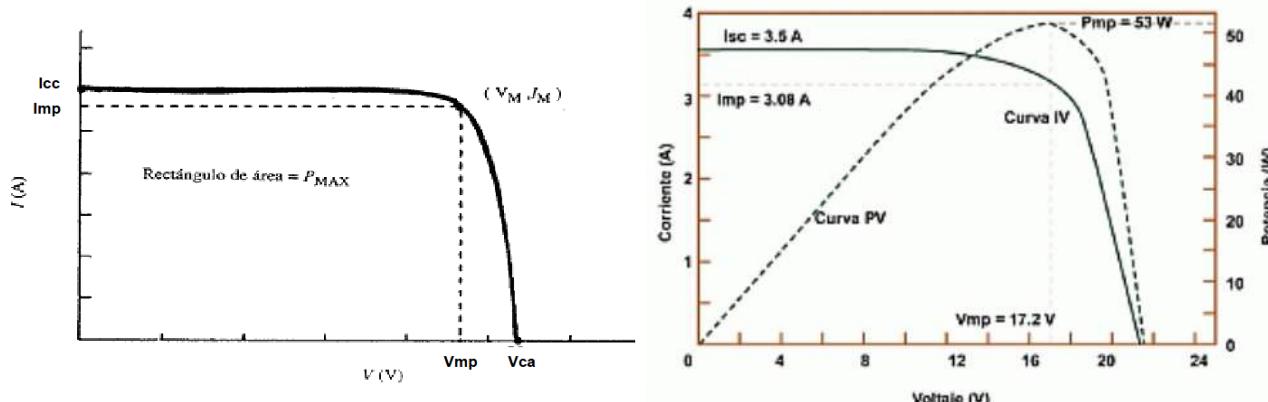


Fig.4.12.Curvas características I-V

Una vez conocidos estos parámetros, podemos determinar cómo afectan diferentes factores a los paneles fotovoltaicos.

Intensidad de radiación: es la intensidad que aumenta con la radiación, permaneciendo más o menos constante la tensión (ver fig.4.13.). Es importante conocer este efecto, ya que los valores de la radiación cambian a lo largo del día, en función del sol con el horizonte por lo que es importante la adecuada colocación de los paneles, existiendo la posibilidad de cambiar su posición a lo largo del tiempo, bien según la hora del día o la estación del año.

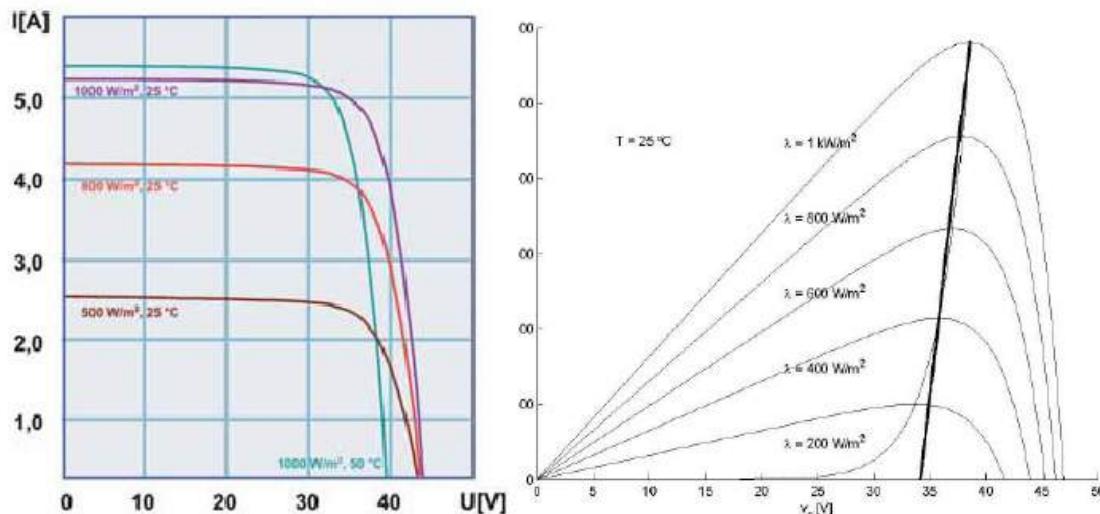


Fig.4.13. Gráficos de dependencia de la irradiancia

Temperatura de las células solares: La exposición al sol de las células provoca su calentamiento, lo que produce cambios en la producción de electricidad. Una radiación de 1000 W/m^2 es capaz de calentar una célula unos 30°C por encima de la temperatura del aire circulante. A medida que aumenta la temperatura, la tensión generada es menor (ver fig. 4.14), por lo que se recomienda la instalación de los paneles de tal manera que estén bien aireados, y en el caso de ser usual alcanzar temperaturas muy elevadas, plantearse la instalación de paneles con mayor número de células.

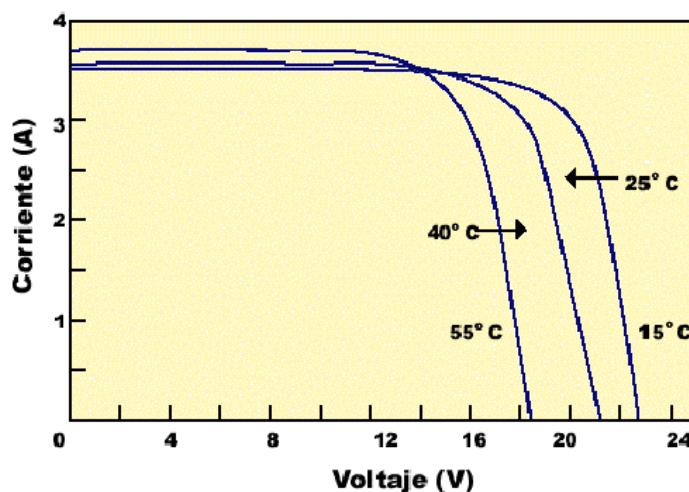


Fig.4.14. Dependencia de la temperatura

Este factor condiciona enormemente el diseño de los sistemas de concentración, ya que las temperaturas que se alcanzan son muy elevadas, por lo que las células deben estar diseñadas para trabajar en ese rango de temperaturas o bien contar con sistemas adecuados para la disipación del calor.

Número de células por módulo: El número de células por módulo afecta principalmente al voltaje puesto que cada una de ellas produce 0,4 V. Un panel fotovoltaico se diseña



para trabajar a una tensión nominal V_{np} procurando que los valores de V_{pmax} , en las condiciones de iluminación y temperatura más frecuentes coincidan con V_{np} .

Varios paneles conectados eléctricamente entre sí en serie y paralelo constituyen el campo de paneles o subsistema de captación energética

Suele utilizarse la posibilidad de asociar una instalación fotovoltaica con otra eólica o mini hidráulica para formar instalaciones mixtas, o bien con el apoyo de grupos grupo electrógenos.

La posición de los paneles está basada en dos ángulos distintos, que son la orientación y la inclinación.

La orientación de los paneles siempre será al sur (en el hemisferio norte), al ser la única posición donde aprovechamos de un modo más completo a lo largo del año la radiación emitida por el sol. Tan sólo en circunstancias especiales como la presencia de sombras, se podrá variar la orientación al oeste o este.

La inclinación: La energía procedente del sol que capta un panel, depende fundamentalmente del ángulo de inclinación que forma con la horizontal .El condicionante es el ángulo de incidencia de los rayos del sol sobre los paneles, siendo máxima para una incidencia perpendicular, y reduciéndose a medida que nos alejamos de este ángulo. La solución óptima depende de la aplicación que se le dé a la instalación, generalmente es hacer coincidir este ángulo con la latitud del lugar.

En una instalación real, este ángulo puede adoptar una o varias posiciones a lo largo del año, con esto se aumenta el rendimiento de la instalación a lo largo del año, si bien en la práctica se toman una o dos posiciones sólo.

En casos extraordinarios y siempre que la instalación lo merezca, se puede dotar a los paneles de sistemas de orientación a fin de mejorar el rendimiento del sistema de captación. El seguimiento puede realizarse sobre uno o dos ejes.

Las sombras: Todo campo fotovoltaico ha de estar completamente libre de sombras, tanto a lo largo del día como en el transcurso de las cuatro estaciones anuales. No obstante, en un edificio hay multitud de elementos que pueden suponer barreras o estorbos al campo fotovoltaico a integrar.

Las estrategias previas de diseño para evitar problemas de sombreado pueden ser:

- Situar los obstáculos potenciales al Norte (chimeneas, shunts de ventilación, etc).



- Situar plantas técnicas al Norte (cuartos de máquinas, cabinas de ascensores, depósitos, etc).
- Asegurarse de que los núcleos de escaleras no arrojen sombras.
- Separar, en la medida de lo posible, árboles o cualquier otro elemento urbano de cierta altura de las fachadas.

La importancia de las proyecciones de sombras, debido a los objetos o edificios cercanos, se debe a que un equipo solar resultaría inoperante si se supera el 20 % de la superficie de los módulos fotovoltaicos quedara cubierta por sombras.

Además del estudio de proyección de sombras sobre la instalación y para garantizar que durante el periodo de vida de la misma no se produzcan sombras arrojadas, cabe señalar el cuidado que merecen los obstáculos que se generan después de la instalación, como pueden ser nuevas construcciones anexas a la vivienda y el crecimiento de árboles y plantas.

La temperatura y ventilación: Un aspecto a tener en cuenta es que la eficiencia de un módulo fotovoltaico decrece a medida que aumenta la temperatura. Por ello, el módulo fotovoltaico necesita estar ventilado, por lo que un régimen de vientos moderados favorece su máxima eficiencia, sobre todo en verano, que es cuando el módulo fotovoltaico está a mayor temperatura.

La Ubicación: En cuanto al lugar de ubicación de los paneles fotovoltaicos existen las siguientes posibilidades generales:

- **Suelo:** Es la forma más usual de instalación de grupos de paneles, que presenta grandes ventajas en cuanto a área expuesta al viento, accesibilidad y facilidad de montaje. Sin embargo, tiene en contra la posibilidad de quedar enterrado por la nieve, se inunde o sea objeto de rotura por animales o personas.
- **Poste:** Es usual en instalaciones de pequeña dimensión. Es típico montaje para alimentación de equipos de comunicaciones aisladas y farolas de alumbrado público.
- **Pared:** Presenta ventajas al disponer de buenos puntos de anclaje sobre edificación construida. Sin embargo, se obliga a instalarlo en fachada sur y no siempre es posible.
- **Tejado:** Como forma de instalación es una de las más usuales al disponer de suficiente espacio. Puede presentar problemas con la nieve, menor facilidad de orientación sur y sellado del tejado por los orificios de anclaje.



Estructura de los paneles fotovoltaicos:

Uno de los elementos auxiliares importantes de un sistema fotovoltaico es la estructura que soporta los paneles, que deberá proporcionar tanto un buen anclaje de los mismos haciéndolos resistentes a la acción de los elementos atmosféricos, como una orientación y ángulo de inclinación idóneos para el mejor aprovechamiento de la radiación.

Los agentes atmosféricos (vientos, nevadas) pueden afectar tanto a las cargas mecánicas que han de soportar las estructuras, como a los materiales que las componen.

Para la realización de la estructura soporte deben utilizarse materiales que presenten buenas condiciones mecánicas y durabilidad (estas instalaciones suelen tener unos 20 años de vida).

Entre los materiales empleados, están:

- Aluminio anodizado, de poco peso y gran resistencia.
- Hierro galvanizado, apropiado para cargas elevadas.
- Acero inoxidable, para ambientes muy corrosivos, siendo el de mayor calidad y más larga vida, aunque de mayor coste

4.2.2. Sistema de acumulación

La naturaleza variable de la radiación solar hace que los sistemas fotovoltaicos aislados incorporen elementos de almacenamiento de energía que permitan disponer de ésta en los períodos en los que no hay radiación solar.

El abanico de posibles acumuladores de energía es grande, pero las actuales disponibilidades del mercado hacen que en los sistemas fotovoltaicos se utilice la acumulación electroquímica, es decir, la batería recargable. Las más utilizadas por precio y prestaciones son las de plomo ácido y las de níquel cadmio.

Dado que los requisitos exigibles a una batería de un sistema fotovoltaico son la resistencia al número de ciclos de carga y descarga y el mantenimiento reducido, es aconsejable utilizar baterías tubulares, con rejilla de aleación de bajo contenido en antimonio, con gran reserva de electrolito y vasos transparentes que facilitan la inspección visual de la batería.



Fig. 4.15. Batería

Las baterías deben reciclarse o tratarse al final de su ciclo de vida, de acuerdo con la normativa de eliminación de residuos correspondiente, para evitar contaminaciones causadas principalmente por el plomo.

En las instalaciones fotovoltaicas lo habitual es utilizar un conjunto de baterías para almacenar la energía eléctrica generada durante las horas de radiación, para su utilización posterior en los momentos de baja o nula radiación. Hay que destacar que la fiabilidad de la instalación global de electrificación depende en gran medida de la del sistema de acumulación, siendo por ello un elemento al que hay que dar la gran importancia que tiene.

De cara a su empleo en instalaciones fotovoltaicas, es necesario conocer las siguientes expresiones:

- **Capacidad:** Es la cantidad de electricidad que puede obtenerse mediante la descarga total de una batería inicialmente cargada al máximo. La capacidad de un acumulador se mide en Amperios-hora (Ah), para un determinado tiempo de descarga, es decir una batería de 130 Ah es capaz de suministrar 130 A en una hora o 1300 A en 10 horas. Para acumuladores fotovoltaicos es usual referirse a tiempos de descarga de 100 horas.

También, al igual que para módulos solares puede definirse el voltaje de circuito abierto y el voltaje en carga. Las baterías tienen un voltaje nominal que suele ser de 2, 6, 12, ó 24 V, aunque puede ser distinto según los casos. Es importante el voltaje de carga, que es la tensión necesaria para vencer la resistencia que opone el acumulador a ser cargado.

- **Eficiencia de carga:** Es la relación entre la energía empleada para cargar la batería y la realmente almacenada. Una eficiencia del 100% significa que toda la energía empleada para la carga puede ser reemplazada en la descarga posterior. Si la eficiencia de carga es baja habrá que dotar a la instalación de mayor número de paneles para realizar las mismas aplicaciones.



- Autodescarga: Es el proceso por el cual el acumulador, sin estar en uso, tiende a descargarse.
- Profundidad de descarga: Se denomina así al valor en tanto por ciento de la energía que se ha sacado de un acumulador plenamente cargado en una descarga. Como ejemplo, si tenemos una batería de 100 Ah y la sometemos a una descarga de 20 Ah, esto representa una profundidad de descarga del 20%. Esto se llamaría descarga superficial y si fuera del 80% descarga profunda. Cuanto menos profundos sean los ciclos de descarga mayor será la duración de la batería. Un acumulador que queda totalmente descargado, puede quedar dañado seriamente y perder gran parte de su capacidad de carga.

Existen distintos tipos de baterías a saber:

- Plomo-ácido- (Pb-ácido)
- Niquel-Cadmio (Ni-Cd)
- Niquel-Hierro (Ni-Fe)
- Niquel-Zinc (NiZn)
- Zinc-Cloro (Zn-C12)

De todas ellas, más del 90% del mercado corresponde a las baterías de Plomo-ácido, que, en general, y siempre que pueda realizarse un mantenimiento, son las que mejor se adaptan a los sistemas de generación fotovoltaica. Dentro de las baterías de Plomo-ácido se encuentran las de Plomo-Calcio (Pb-Ca) y las de Plomo-Antimonio (Pb-Sb). Las primeras tienen a su favor una mejor autodescarga, y mantenimiento más simple, mientras que las segundas de tipo abierto y tubular se deterioran menos con la sucesión de ciclos y presentan mejores propiedades para niveles de baja carga. Estas segundas soportan grandes descargas y tienen una vida larga de 10 a 15 años.

Por su implantación a nivel comercial tienen cierta importancia las de Niquel-Cadmio que permiten su empleo sin elemento regulador y pueden estar largo tiempo en bajo estado de carga, tensión muy estable y bajo mantenimiento aunque su coste se cuadriplica con respecto a las de Pb-ácido.

Su baja capacidad a régimen de descarga lento, desaconseja su uso en una gran parte de las instalaciones fotovoltaicas.

Para la asociación de baterías hay tres posibilidades:

- Paralelo: Se conectan todos los polos positivos y, por separado, todos los polos negativos. Con ellos se consigue aumentar la capacidad y mantener un mismo valor de tensión. La capacidad es igual a la suma de todas las capacidades de la



batería por el número de baterías (ya que se supone que tienen las mismas características).

- Serie: Se conecta un polo positivo de un módulo negativo con el polo negativo del siguiente. Con ello se consigue aumentar la tensión y mantener el mismo valor de capacidad. La tensión generada es igual a la suma de todas las tensiones por cada batería, o lo que es lo mismo, el producto de la tensión de cada batería por el número de baterías.
- Mixto: Se encuentran asociadas tanto en serie como en paralelo.

En relación a las baterías hay que tener en cuenta lo siguiente:

- Instalar las baterías en lugares ventilados, evitando la presencia de llamas cerca.
- Ajustar el nivel del electrolito a su altura adecuada, utilizando siempre agua destilada, nunca agua del grifo.
- Una vez conectada la batería se cubrirán las bornas con vaselina.
- No deben utilizarse conjuntamente baterías de distinto tipo cuando no estén preparadas para ello.
- Con el fin de prevenir posibles cortocircuitos, debe respetarse la polaridad.
- Las baterías deben estar colocadas por encima del nivel del suelo.

4.2.3. Regulador de carga

Para un funcionamiento correcto de la instalación, entre los paneles (captador) y las baterías (acumulador) ha de instalarse un sistema de regulación de carga (regulador) que será siempre necesario excepto en el caso de pequeños paneles autorregulados.

El regulador tiene como misión fundamental impedir que la batería continúe recibiendo energía del colector solar una vez que ha alcanzado su carga máxima, pues si esto se produce se inicien en la batería procesos de gasificación (hidrólisis del agua en hidrógeno y oxígeno) o de calentamiento, que pueden llegar a ser peligrosos y, en cualquier caso, acortarían sensiblemente la vida de la misma.

Otra función es evitar la sobredescarga, con el fin de evitar que se agote en exceso la carga de la batería, pues como sabemos este fenómeno puede provocar una sensible disminución de la capacidad de carga, el regulador puede incorporar una alarma luminosa o sonora, o ambas a la vez, previa a la desconexión a fin de que se proceda en



consecuencia por el usuario. Modernos reguladores informan del estado de la carga, el nivel de tensión y van provistos de protecciones adecuadas como fusibles, diodos zener etc. para proteger contra sobreintensidades o sobretensiones.

Existen diversas tecnologías comercializadas para aplicaciones fotovoltaicas. Si nos referimos a la forma de conmutación con la batería, encontramos dos tipos de sistemas de regulación:

- En paralelo, donde el exceso de tensión se controla derivando la corriente a un circuito que disipa la energía sobrante
- En serie, que incorpora interruptores, electromecánicos o electrónicos, que desconectan el generador cuando la tensión excede de un determinado nivel de referencia.

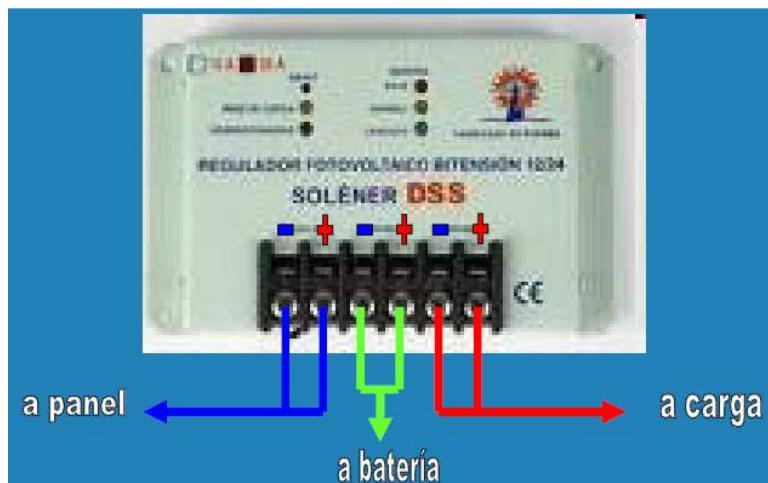


Fig.4.16. Conexionado regulador

Se define un regulador por sus características, como tensión nominal e intensidad máxima que es capaz de disipar.

Los reguladores están en condiciones de desconectar o interrumpir el servicio de la instalación cuando así sea necesario, y pueden contar con rearme automático o manual.

Los sistemas autorregulados son apropiados para instalaciones pequeñas y remotas donde su mantenimiento es difícil, en este caso, la captación se ha de calcular y dimensionar para que no puedan producirse sobrecargas.

El regulador se colocará en sitio accesible para que resulte cómoda su observación y manipulación, así como la comprobación periódica del calibrado de la tensión de salida.



4.2.4. Inversor

Es el elemento de la instalación que convierte la corriente continua en corriente alterna. Se intercalan entre el regulador de carga y los aparatos de corriente alterna. Es imprescindible en sistemas que utilicen dispositivos de almacenamiento, como baterías.

Un inversor viene caracterizado principalmente por la tensión de entrada que se debe adaptar al generador, la potencia máxima que puede proporcionar y la tensión de salida alterna, frecuencia de la onda etc. La eficiencia es la relación entre la carga que suministra el inversor y la que extrae del acumulador



Fig.4.17. Inversor

Según la forma de onda pueden ser:

- De onda cuadrada: característica de algunos inversores económicos de baja potencia, aptos para la alimentación exclusiva de aparatos puramente resistivos, como elementos de iluminación y otros.
- De onda modulada: también característica de inversores de baja potencia, pero con un espectro de posibles elementos de consumo más amplio que el tipo anterior, que incluye alumbrado, pequeños motores y equipos electrónicos no muy sensibles a la señal de alimentación.
- De onda sinodal pura: este tipo de inversores proporciona una forma de onda a su salida que, a efectos prácticos, se puede considerar idéntica a la red eléctrica general, permitiendo así la alimentación de cualquier aparato de consumo o, en su caso, la conexión a red.
- De onda sinodal modificada (o trapezoidal) intermedio entre los dos anteriores, permite ampliar el espectro de elementos de consumo y de potencia, limitado en el de onda cuadrada modulada.



Por lo general, en fotovoltaica los inversores serán de onda senoidal pura. Se permitirá el uso de inversores de onda no senoidal, si su potencia nominal es inferior a 1 kVA, no producen daño a las cargas y aseguran una correcta operación de estas.

En cualquier caso la definición del inversor a utilizar debe realizarse en función de las características de la carga. En función de esta última se podrá acudir a equipos más o menos complejos.



5. APARATOS DE CONSUMO

Considerando los elevados costes de la energía fotovoltaica, resulta muy importante utilizar lo más eficientemente posible los aparatos de consumo. Deberán conectarse, por tanto, sólo aparatos de bajo consumo energético.

Por esta razón hay que tener presente el ahorro de energía de consumo como punto de partida, tanto para su dimensionamiento como durante su posterior explotación.

Mientras más eficientemente se explote el sistema ya instalado, menor será la profundidad de descarga de las baterías, alargando así su vida útil. Generalmente merecen la pena unos mayores costes de adquisición de unos aparatos eficientes, pues es el sistema aislado podrá tener entonces menores dimensiones. A la hora de adquirir un electrodoméstico es importante comprobar el etiquetado energético y la clase energética a la que pertenece.

En iluminación son especialmente idóneas las lámparas fluorescentes normales o las compactas con balasto electrónico de baja tensión, tienen un gran rendimiento lumínico con bajo consumo eléctrico. Las lámparas LED también presentan un rendimiento lumínico muy alto y bajo consumo.

En los sistemas muy pequeños, las lámparas que hay, se abastecen directamente de la batería, por lo que funcionan directamente conectadas a la batería. No obstante, se emplean para ellos unos balastos especiales.

Hay que tener en cuenta no sólo la potencia de un aparato, sino y sobre todo, su consumo energético (energía absorbida a lo largo de un tiempo determinado), esto último condiciona decisivamente la capacidad y la vida útil de la batería.

En el examen de la potencia no sólo importa la potencia nominal, sino también la potencia pico o potencia de conexión. Ésta se puede leer en la placa de las características, solicitarla al fabricante o hallarla mediante un vatímetro o un amperímetro.



6. MEMORIA DESCRIPTIVA

6.1. Localización de la instalación

La vivienda se encuentra en Guardamar de Segura, un municipio de la costa perteneciente a la provincia de Alicante. Sus coordenadas son:

Latitud	38° 6' 3.7368"
Longitud	0° 40' 34.7298"

Tabla 6.1. Coordenadas del emplazamiento



Fig.6.1. Localización geográfica de la instalación

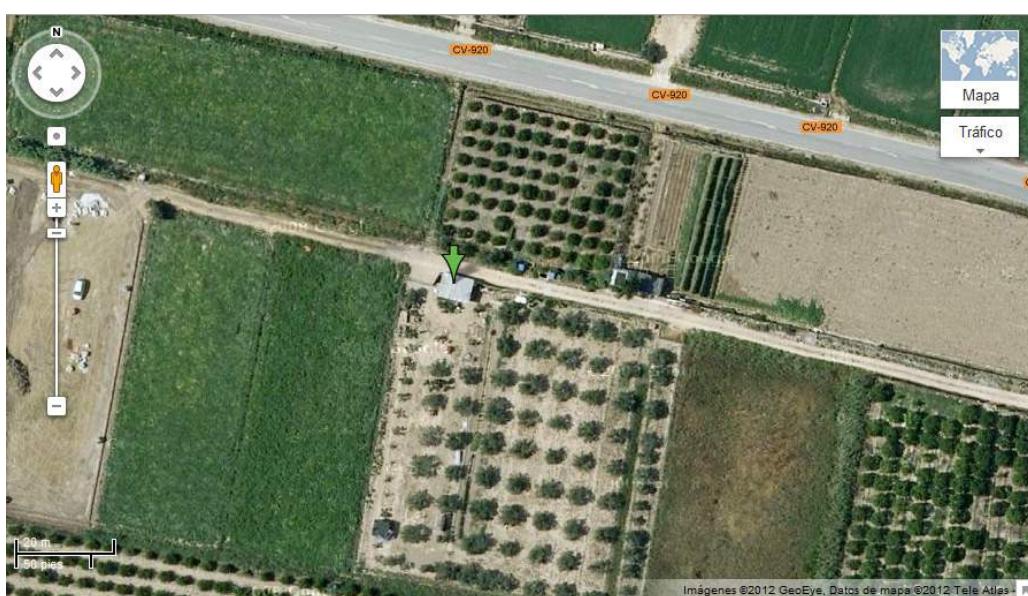


Fig.6.2. Vista aérea del lugar



En la provincia de Alicante, la producción fotovoltaica supone el 12% sobre el total del consumo eléctrico y el 40% de la energía producida a través de pequeñas y medianas instalaciones sobre cubiertas de edificios, y grandes instalaciones sobre superficie como son los huertos solares. Actualmente existen aproximadamente 1.700 instalaciones generadoras de energía eléctrica a través de paneles fotovoltaicos, cuya potencia eléctrica instalada es del orden de 100 MWp.

La situación geográfica en la que se encuentra la provincia de alicante hace favorable la instalación de éste tipo de instalaciones por su mayor número de horas de sol frente a otras provincias y por tener condiciones atmosféricas favorables ya que el viento, la temperatura, los días nublados y lluviosos afectan negativamente a la intensidad de los rayos solares que inciden sobre los generadores fotovoltaicos.

6.2. Datos generales de la instalación

En la tabla 6.2. se muestra un resumen de los datos de la instalación y de los componentes elegidos.

Instalación	
Localización	Guardamar de Segura
Coordenadas	Latitud 38° 6' 3.7368" Longitud 0° 40' 34.7298"
Potencia nominal vivienda	3630W
Demanda energética diaria	5422Wh/día
Tensión nominal en corriente continua	48V
Tensión nominal en corriente alterna	230V
Período de diseño	Anual
Autonomía	5 días
Generador fotovoltaico	
Modelo del panel fotovoltaico	ISF-150
Nº de paneles fotovoltaicos	18
Nº de paneles en serie	3
Nº de ramas en paralelo	6
Potencia pico del generador fotovoltaico	2700Wp
Acumulador	
Modelo	TROJAN 225Ah
Nº de baterías	20
Capacidad total	1080Ah
Tensión de conexión	48V
Reguladores	
Modelo	Steca Tarom 440



Nº de reguladores	2
Tensión nominal	48V
Intensidad	40A
Inversor	
Modelo	XTM 4000-48
Nº inversores	1
Potencia continuo	3500VA
Tensión sistema	48V
Tensión salida	230V
Frecuencia de salida	50Hz
Grupo electrógeno	
Modelo	Genergy 5D230
Potencia máxima	5000W
Tensión	230V
Frecuencia de salida	50Hz
Combustible	Diesel

Tabla 6.2. Datos generales de la instalación

6.3. Características de la instalación fotovoltaica

6.3.1. Paneles fotovoltaicos

La instalación estará formada por 18 módulos fotovoltaicos monocristalinos de la marca ISOFOTÓN, modelo ISF-150, con una potencia nominal de 150W cada uno.

Se conectarán 3 paneles en serie y 6 ramales en paralelo, obteniendo una potencia pico del generador fotovoltaico de 2700Wp.

Los paneles irán integrados sobre el tejado de la vivienda en la parte del tejado que está orientada al sur.

A continuación se muestran las características del módulo fotovoltaico elegido:

Características eléctricas

Potencia nominal (Pmax)	150W
Tensión en circuito abierto (Voc)	22,6V
Corriente de cortocircuito(Isc)	8,7A
Tensión en el punto de máxima potencia (Vmáx)	18,5V
Corriente en el punto de máxima potencia (Imax)	8,12A
Eficiencia	15%
Tolerancia de potencia (% Pmax)	+/-3%

Tabla 6.3. Características eléctricas del módulo fotovoltaico



Características de operación

Tensión máxima del sistema	1000V
Límite de corriente inversa	20A
Temperatura de Operación Nominal de la Célula	45+/-2°C
Coeficiente de temperatura de Pmax	-0,464%/K
Coeficiente de temperatura de Voc	-0,323%/K
Coeficiente de temperatura de Isc	0,043%/K

Tabla 6.4. Características de operación del módulo fotovoltaico

Características mecánicas

Célula solar	Silicio Monocristalino- 156 mm x 156 mm (6 pulgadas)
Número de células	36 células en configuración 4x9
Dimensiones	1515 x 662 x 39,5 mm
Peso	13,5 Kg
Vidrio	Alta transmisividad, microestructurado y templado de 3,2 mm
Marco	Aluminio anodizado y toma de tierra
Máxima carga admisible	2400 Pa
Caja de conexión	IP 65 con 3 diodos de bypass
Cables y Conector	Cable solar de 1 m y sección 4 mm ² . Conector MC4 o compatible

Tabla 6.5. Características mecánicas del módulo fotovoltaico

Dimensiones

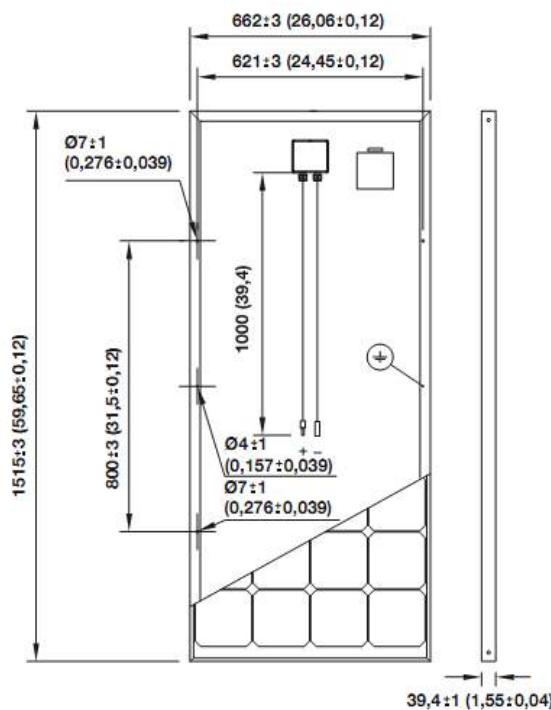


Fig 6.3. Dimensiones del módulo fotovoltaico



Vista frontal del módulo



Fig. 6.4. Vista frontal del módulo fotovoltaico

Las características del generador fotovoltaico en conjunto son:

Potencia nominal (Pmax)	2700Wp
Tensión en circuito abierto (Voc)	67,8V
Corriente de cortocircuito(Isc)	52,2A
Tensión en el punto de máxima potencia (Vmáx)	55,5V
Corriente en el punto de máxima potencia (Imáx)	48,72A

Tabla 6.6. Características del generador fotovoltaico

6.3.2. Sistema de soporte para los módulos fotovoltaicos

Para la colocación de los módulos fotovoltaicos sobre el terreno; así como su sujeción y fijación al ángulo de inclinación óptimo, se precisan una estructura soporte, para el montaje de las placas. Así se asegura la rigidez del generador fotovoltaico.

El soporte elegido para esta instalación es de la marca Sun Technics modelo STG 80.



Fig. 6.5. Vista del sistema soporte de los módulos fotovoltaicos

El STG 80 es un sistema especialmente diseñado para el montaje de módulos fotovoltaicos sobre tejados inclinados. Su tecnología de perfiles telescópicos permite un dimensionamiento de la instalación con precisión de milímetros, sin necesidad de cortes. El alto índice de premontaje y el sistema de conexiones "Quickstone" facilitan y aceleran la instalación, que apenas precisa herramientas. El sistema patentado del perfil base permite obtener un campo fotovoltaico uniforme, incluso en superficies irregulares. No importa si se trata de construcción antigua o nueva, con el STG 80 se podrá montar casi cualquier tipo de módulo sobre el tejado. Todos los componentes se fabrican con materiales de alta calidad como el aluminio y el acero inoxidable, que garantizan su alta resistencia a la corrosión y la máxima durabilidad.

La construcción de la STG 80 cumple la normativa alemana DIN 1055, que regula las cargas estáticas en el sector de la construcción. Con ello, queda garantizado un sólido anclaje en el tejado, incluso con fuerzas de viento extremadamente altas. Además, la estructura está dimensionada para soportar grandes cargas de nieve.

Permite:

- Inclinaciones de 15° a 60°.
- Altura máxima del edificio hasta 20 metros.
- Ordenación de los módulos en filas o columnas
- Colocación de los módulos: vertical, horizontal.
- Compensación máxima de altura hasta 38 mm.
- Distancia entre ganchos hasta 2500 mm.

Por cada soporte se podrán colocar 3 paneles fotovoltaicos de los elegidos, por lo que se necesitarán un total de 6 soportes para los 18 paneles fotovoltaicos de nuestra instalación.



6.3.3. Reguladores

Se colocarán 2 reguladores en paralelo, serán del modelo Steca Tarom 440.

Este modelo es un regulador de carga solar especialmente indicado para ser aplicado en sistemas fotovoltaicos híbridos. Un gran número de funciones permiten al usuario adaptar el regulador a las condiciones especiales de su sistema. Mediante la determinación del estado de carga de la batería, el sistema se regula de forma óptima y las baterías están protegidas.

Opcionalmente cabe la posibilidad de conectar otros dispositivos como un sensor de temperatura, un registrador de datos y un control remoto para configurar y monitorizar el sistema. Un contador de energía integrado (Ah) informa al usuario sobre el presupuesto energético de la aplicación.

Características del producto

- Regulador híbrido
- Determinación del estado de carga con Steca AtonIC (SOC)
- Selección automática de tensión
- Regulación MAP
- Tecnología de carga escalonada
- Desconexión de carga en función de SOC
- Reconexión automática del consumidor
- Compensación de temperatura
- Toma de tierra en uno o varios terminales positivos o sólo en uno de los terminales negativos
- Registrador de datos integrado
- Función de luz nocturna con Steca PA 15
- Función de autocontrol
- Carga mensual de mantenimiento
- Contador de energía integrado

Funciones de protección electrónica

- Protección contra sobrecarga
- Protección contra descarga total
- Protección contra polaridad inversa de los módulos solares y de la carga
- Protección contra polaridad inversa por medio de fusible interno
- Fusible electrónico automático
- Protección contra cortocircuito de la carga y los módulos
- solares
- Protección contra sobretensión en la entrada del módulo



- Protección contra circuito abierto sin batería
- Protección contra corriente inversa por la noche
- Protección contra sobretemperatura y sobrecarga
- Desconexión por sobretensión en la batería

Indicaciones

- Display LCD para textos
- para parámetros de funcionamiento, avisos de fallo,
- autocontrol

Manejo

- Fácil manejo con menús
- Programación por medio de botones
- Comutación manual de carga

Interfaces

- Interfaz RJ45

Certificaciones

- Aprobado por el Banco Mundial para Nepal
- Conforme a los estándares europeos (CE)
- Fabricado en Alemania
- Desarrollado en Alemania
- Fabricado conforme a ISO 9001 e ISO 14001

Los datos técnicos del regulador se muestran en la siguiente tabla:

Tensión del sistema	48V
Consumo propio	14mA
Corriente de módulo	40A
Grado de protección	IP32
Dimensiones	186x128x49 mm
Peso	550g

Tabla 6.7. Datos técnicos del regulador

A continuación se encuentran la vista frontal del regulador y sus dimensiones:



Fig.6.6. Vista frontal del regulador

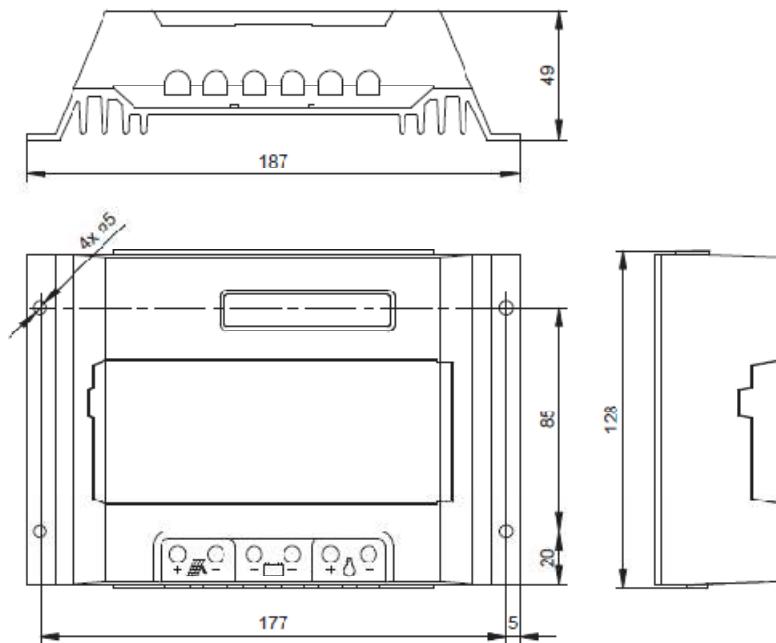


Fig.6.7. Dimensiones del regulador

6.3.4. Accesorio del regulador

Usaremos como accesorio al regulador el modelo Steca PA 15 Control remoto que permite controlar fuentes de carga adicionales dentro de las siguientes realizaciones:

- Función de luz nocturna del regulador de carga
- Protección contra descargas profundas susceptible de programación externa
- Gestor de excedente de energía
- Gestor de generador



En nuestro caso lo utilizaremos como gestor del generador diesel, cuyo funcionamiento se basa:

Los reguladores de carga Steca Tarom emiten señales (125 kHz a 300 baudios), que son moduladas en la línea CC y recibidas por el control remoto Steca PA 15. Estas señales contienen información sobre el estado de carga (SOC) de la batería.

Cuando el inversor descarga la batería, esta información se transmite al regulador, que calcula el estado de carga. En cuanto el estado de carga desciende por debajo de un umbral el accesorio del regulador (Steca PA15) enciende el generador diesel a través de un relé. El generador alimenta la carga y, al mismo tiempo, carga la batería. Una vez que el estado de carga alcanza el valor superior configurado en el PA 15 (p. ej. 90 %), el generador diesel se vuelve a apagar.

Para llevar a cabo una administración de energía automática, la salida CA del generador diesel se conecta a la entrada CA del inversor con cargador de batería integrado. La carga se conecta siempre a la salida del inversor. Si el generador diesel está funcionando y el inversor recibe esta tensión, éste se pone automáticamente en el modo de transferencia (transfer mode). El generador diesel suministra corriente a los consumidores mientras se carga la batería través del inversor. Si la tensión de salida CA del generador diesel desciende por debajo de un valor ajustable en el inversor, se activa de nuevo el modo de funcionamiento mediante batería. Este sistema posibilita una administración de energía automática.

Los datos técnicos son:

Funcionamiento	
Alimentación	10,5 V....50V CC, 5 mA
Transmisión de datos	300 Baud
Frecuencia de transmisión	frecuencia de la señal de 125 kHz
Datos de salida CC	
Corriente de consumo	15A, 10A a 40°C; 100 A impulso < 10 s
Seguridad	
Protección contra sobrecarga	por fusible de 15 A
Protección contra polaridad invertida	fusible
Condiciones de uso	
Temperatura ambiente	-10°C....+50°C
Equipamiento y diseño	
Grado de protección	IP 22
Dimensiones	98 x 87 x 34 mm
Peso	110 g

Tabla 6.8. Datos técnicos del accesorio



A continuación se muestra la vista frontal y las dimensiones del regulador:



Fig.6.8. Vista frontal accesorio

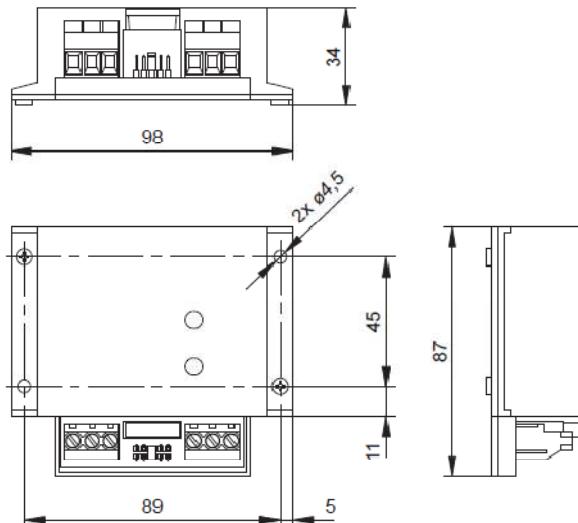


Fig.6.9. Dimensiones accesorio

6.3.5. Acumulador

Se colocarán 20 baterías de la marca TROJAN, modelo J185H-AC 225Ah
Cada batería de las elegidas es capaz de suministrar 225 Ah en 20 h.

La capacidad de acumulación se ha calculado para un total de 5 días de baja insolación.
[Ver apartado 7.5.]

- Número de baterías conectadas en serie: 4 baterías, obteniendo 48V en el sistema de acumulación.
- Número de ramas serie conectadas en paralelo: 5 ramas, obteniendo un total de 1125Ah en el sistema de acumulación

El conjunto de las baterías se conectarán todos los reguladores, para luego repartir la demanda de energía a la vivienda.

Capacidad	225 Ah
Dimensiones	381 x 178 x 371 mm
Peso	58 kg
Tipo de batería	Plomo-ácido
Voltaje	12V

Tabla 6.9. Datos técnicos de la batería



Fig. 6.10. Vista frontal de la batería

6.3.6. Inversor

Se colocará un inversor del modelo Xtender XTM, de la marca STECA. Con una potencia nominal 3500W y tensión de 48V. En inversor entrega 3500VA, y es capaz de entregar 4000VA durante 30 minutos.

Tiene funciones de inversor, de cargador de batería, de conmutación y de apoyo de fuentes de corriente alterna externas

Las funciones básicas del inversor elegido son la de inversor, de cargador de batería, de conmutación y de apoyo de fuentes de corriente alterna externas.

Estas funciones pueden controlarse de forma combinada y totalmente automática, permitiendo una comodidad de manejo y un aprovechamiento de la energía disponible.



Fig.6.11. Vista frontal del inversor

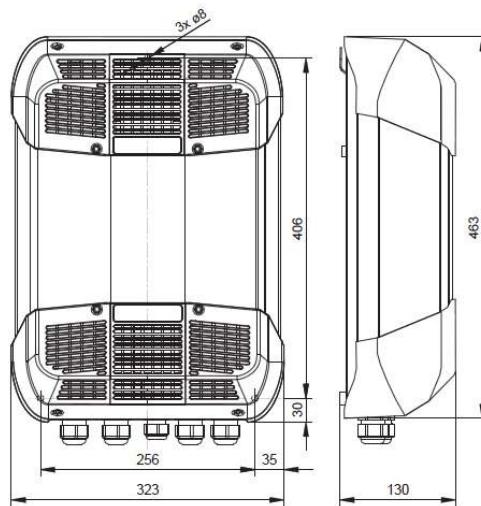


Fig.6.12. Dimensiones del inversor



Posee unos contactos multifuncionales, que son unos contactos sin potencial que pueden programarse para numerosas aplicaciones. Pueden reaccionar ante cualquier evento dentro o fuera del inversor (disponibilidad de la red, tensión de la batería, aviso de fallo...). También pueden programarse como temporizadores o pueden conectarse a horas concretas (durante la noche, el fin de semana...). Así, pueden utilizarse como mecanismo de inicio del generador, para la desconexión de los consumidores menos importantes, para la visualización de un fallo, para cargar la batería en función de la situación, etc.

Posee una función denominada SmartBoost, con la que puede aumentarse la potencia de otra fuente de corriente alterna, como por ejemplo la de un generador de electricidad o una conexión a tierra. Incluso si se trata de consumidores especiales (inductivos, asimétricos, con una alta corriente de arranque). Este inversor también puede combinarse con casi todos los inversores existentes para aumentar la potencia disponible.

Las características del inversor son:

- Tensión sinusoidal pura
- Excelente capacidad de sobrecarga
- Óptima protección de la batería
- Cargador de batería integrado y ajustable
- Cargador de batería programable y escalonado con corrección del factor de potencia (PCF)
- Detección automática de consumidor
- Detección de cargas ajustable (standby) en un amplio rango a partir de un valor mínimo
- Conectable en paralelo
- Puede utilizarse como sistema backup o como sistema de alimentación ininterrumpida (SAI)
- Contacto multifuncional
- Potencia compartida ajustable (PowerSharing)
- Apoyo de las fuentes de corriente alterna (Smart Boost)
- Apoyo automático para grandes picos de potencia (Power Shaving)
- Rápido relé de commutación
- Alto coeficiente de rendimiento
- Regulación mediante procesador de señales (DSP)

En cuanto a las protecciones posee protección contra descarga total, sobretemperatura, sobrecarga y cortocircuitos. También posee protección contra polaridad inversa por medio de fusible interno y desconexión por sobretensión en la batería.



A continuación se muestra los datos técnicos del inversor:

Funcionamiento	
Tensión del sistema	48V
Potencia continuo	3500VA
Potencia 30 min.	4000VA
Potencia 5 sec.	10,5 kVA
Eficiencia máxima	96%
Consumo standby/ ON	2,1W/14W
Corrección del factor de potencia (PFC)	según EN 61000-3-2
Nivel acústico	<40 dB
Datos de entrada	
Tensión de entrada	<265V CA (ajustable 150V CA....265V CA)
Corriente de carga ajustable	0A....50A
Corriente máx. en el sistema de transferencia	50A
Frecuencia de entrada	45Hz....65Hz
Datos de la batería	
Tensión de la batería	38V...69V
Datos de salida CA	
Tensión de salida	230V CA
Frecuencia de salida	50Hz
Coeficiente de distorsión	<2%
Detección de consumidor(standby)	2W...25W
Condiciones de uso	
Temperatura ambiente	-20°C...+55°C
Equipamiento y diseño	
Balance de corriente de entrada ajustable	1A....50A
Grado de protección	IP 20
Dimensiones	323x463x130 mm
Peso	22,9 Kg

Tabla 6.10. Datos técnicos del inversor

6.3.7. Grupo electrógeno

Se colocará un grupo diesel de 5kW de potencia máxima, de la marca GENERGY. Esta aislado acústicamente para minimizar el nivel de ruido. Posee ruedas de transporte, panel de control iluminado por leds, con voltímetro, base 12V, cuenta horas digital, conector para cuadros automáticos, luminoso fallo de aceite, protección por cortocircuito y sobrecarga.

A continuación se muestra las características del grupo diesel:



Modelo Alternador	Genergy 5DS230
Potencia Máxima	5000W
Voltaje - Frecuencia	230V - 50Hz
Arranque	Eléctrico
Modelo Motor	Genergy SD100E
Tipo Motor	1 Cilindros, 4 Tiempos, Refrigerado por Aire
RPM	3000
Cilindrada	418cc
Consumo Medio	275 g/kW-H
Base 12V	Sí (8,3ah)
Nivel de Ruido	69dB
Capacidad Depósito	15L
Tipo de Aceite	SAE10W30
Automatismos Genergy	Compatible
Control Remoto	si
Dimensiones	85cm x 65cm x 70cm
Peso	170 kg

Tabla 6.11. Características técnicas del grupo diesel



Fig. 6.13. Vista frontal grupo diesel

Como está indicado en el apartado 6.3.4. el grupo electrógeno tendrá un funcionamiento totalmente automático en caso de descarga del banco de baterías.

6.3.8. Cableado

6.3.8.1. Cableado en la zona de corriente continua

Los conductores serán de cobre e irán aislados en tubos o canaletas en montaje superficial y tendrán un aislamiento de XLPE.



A continuación se muestra una tabla resumen del cableado de los tramos de la instalación especificando la longitud y sección de los cables que transportarán la corriente eléctrica:

Tramo	sección (mm ²)	longitud (m)	aislamiento
generador-interruptor magnetotérmico	2x25mm ²	8	XLPE
interruptor magnetotérmico-caja de conexión reguladores	2x10mm ²	1,5	XLPE
caja de conexión reguladores-reguladores	2x4mm ²	1,3	XLPE
reguladores-caja de conexión baterías	2x6mm ²	2	XLPE
caja de conexión baterías-baterías	2x10mm ²	1,5	XLPE
caja de conexión baterías-inversor	2x10mm ²	2	XLPE
caja de conexión baterías-Accesorio de arranque	2x4mm ²	2,5	XLPE
Accesorio de arranque -grupo diesel	2x6mm ²	4	XLPE
grupo diesel-inversor	2x2,5mm ²	3,5	XLPE

Tabla 6.12. Cableado de los tramos de CC

Comentar que en el tramo grupo diesel-inversor circula corriente alterna, que posteriormente mediante el inversor la transformará en corriente continua y de esta manera inyectar corriente continua a las baterías

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 en esquemas.

Negro: para el polo negativo. Se indica cómo – en la representación del esquema.

6.3.8.2. Cableado en corriente alterna

A la salida del inversor, circulará corriente alterna y el cableado se dimensionará según el Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión, la instalación deberá de cumplir lo especificado en las instrucciones, de carácter general ITC-BT-19 y las de carácter adicional ITC-BT-25, ITC-BT-26 e ITC-BT-27, por lo que las actuaciones referentes a la instalación eléctrica cumplirán las citadas instrucciones.

Los conductores y cables que se empleen en las instalaciones serán de cobre y siempre aislados. Se instalarán preferentemente bajo tubos protectores corrugados, siendo la tensión asignada no inferior a 450/750 V. La sección de los conductores para utilizar se determinará de forma que la caída de tensión entre el origen de la instalación interior y cualquier punto de utilización sea menor del 3% de la tensión nominal para cualquier circuito interior de viviendas.



Los conductores de la instalación deben ser fácilmente identificables, empleándose el azul claro para el neutro, negro, marrón o gris para las fases y verde-amarillo para el de protección.

Los conductores de protección unen las masas de una instalación y los elementos metálicos que puedan existir, como cañerías, calderas, etc. y cualquier otra masa importante de la instalación, con las líneas de tierra.

Los conductores de protección serán de cobre aislados, de color amarillo-verde a rayas y su sección depende del conductor de fase que acompañe, según la tabla de ITC-BT-19:

Sección de los conductores de fase de la instalación. (S en mm ²)	Sección mínima de los conductores de protección (Sp en mm ²)
$S \leq 16$	$Sp = S$
$16 < S \leq 35$	$Sp = 16$
$S > 35$	$Sp = S/2$

Tabla 6.13. Sección mínima de los conductores de protección

Los conductores que se deberán emplear para los circuitos serán unipolares de cobre, con aislamiento en PVC, serán libres de halógenos, y no propagadores de llama, del tipo H07V-K. La sección de los conductores para cada uno de los circuitos es la siguiente:

- C1: circuito de distribución interna destinado a alimentar los puntos de iluminación. Se usará cable unipolar $2 \times 1,5 + 1,5$ mm²
- C2: circuito de distribución interna destinado a tomas de corriente de uso general y frigorífico. Se usará cable unipolar $2 \times 2,5 + 2,5$ mm²
- C3: circuito de distribución interna destinado a alimentar la cocina y horno. Se usará cable unipolar $2 \times 6 + 6$ mm²
- C4: circuito de distribución interna destinado a alimentar la lavadora, lavavajillas y termo eléctrico. Se usará cable unipolar $2 \times 2,5 + 2,5$ mm²
- C5: circuito de distribución interna destinado a alimentar tomas de corriente de los cuartos de baño, así como las bases auxiliares del cuarto de cocina. Se usará cable unipolar $2 \times 2,5 + 2,5$ mm²

Comentar que en nuestra instalación fotovoltaica aislada no es útil disponer de una instalación con lavavajillas (circuito 4), puesto que es un equipo adicional que supondría un aumento del dimensionado de la instalación. De igual forma, en la instalación de termo (circuito 4) y cocina (circuito 3), se sustituirá por equipos que utilizan otra fuente de energía: gas, leña o diesel.



6.3.9. Tubos y canaletas protectoras

Los cables irán aislados mediante tubos protectores o canaletas según se encuentren en la caseta, en el interior de la vivienda o en la intemperie y se cumplirá lo citado en la ITC-21 del Reglamento electrotécnico de baja tensión.

6.3.9.1. Casetas

Los cables de la caseta donde están los equipos irán bajo canaleta protectora de 40 mm de ancho y 25 mm de alto. El distribuidor es Schneider Electric, con referencia DXN10151 y sus características son:

- Autoextinguibles
- No conductivas
- Estructura sólida y de alta durabilidad.
- Resistente a impactos, lubricantes y aceites
- Poseen adhesivo
- Accesorios que facilitan su instalación como derivación en T y ángulo plano



Fig.6.14. Vista de la canaleta con sus accesorios

Para las cajas de conexiones del regulador y de las baterías se usarán dos cajas estancas sobre superficie 153x110x65 con conos, con características:

- 8 conos para tubo de Ø máximo 25 mm (M25) y 2 conos para tubo de Ø máximo 32 mm (M32)
- Grado de protección IP 55 IK 07.
- Tornillos 1/4 vuelta.
- Material termoplástico autoextinguible.
- Precintable.
- Material libre de Halógenos



Fig.6.15. Vista de la caja estanca

6.3.9.2. Interior de vivienda

Los cables de la vivienda irán bajo tubo corrugado normal empotrado en las paredes

El diámetro exterior mínimo de los tubos, en función del número y la sección de los conductores para conducir, se obtendrá de la ITC-BT-21.

Los diámetros de los tubos protectores empleados para cada uno de los circuitos, se indican a continuación:

Circuito C1 (Iluminación): 16 mm.

Circuito C2 (TC Uso general): 20 mm.

Circuito C3 (Cocina-horno): 25 mm.

Circuito C4 (lavadora): 20 mm.

Circuito C5 (TC Baño y cocina): 20 mm.

Las características del tubo empleado son:

Tubo PVC Rígido curvable para canalizaciones empotradas ordinarias en obra de fábrica (paredes, techos y falsos techos), huecos de la construcción y canales protectoras de obra.

- Resistencia a la compresión: >320 n.
- Resistencia al impacto: >1j a -5°C.
- Temperatura mín. y máx. de trabajo: -5+60°C.
- Curvable.
- Influencias externas: ip54.
- Aislante, no propagador de la llama.
- La instalación de este producto se realizará según instrucciones del R.B.T.



- Grado de protección 5 según UNE 20324.
- Aplicaciones en instalaciones eléctricas empotradas en paredes y techos.



Fig.6.16 Tubo PVC elegido

6.3.9.3. Intemperie

Los cables del generador fotovoltaico hasta la caseta irán bajo tubo rígido de PVC de 25 mm de diámetro sobre la superficie, cuyas características son:

Tubo rígido enchufable libre de halógenos para canalizaciones superficiales ordinarias fijas.

- Material: PVC rígido
- Color Gris RAL. 7035.
- Longitud suministrada: barras de 3 metros ($\pm 0,5\%$).
- Resistencia compresión: 1250N.
- Resistencia impacto: >6J a -5°C.
- Temperatura de aplicación permanente y de instalación: -5°C/+60°C.
- Resistencia de aislamiento: > 100 MΩ.
- Influencias externas: IP 54.
- Rigidez dieléctrica: > 2000 V.
- No es propagador de la llama.
- Resistencia a la propagación de la llama: autoextinguible en menos de 30 segundos.
- Cumple con la norma UNE - EN 50267 2 - 2 [Antigua UNE-21 -147(2) / IEC-754(2)] sobre "Material libre de Halógenos"
- Normas de referencia: EN 50086-1, EN 50086-2-1 y IEC EN 61386-1; IEC EN 61386-21.
- Aplicaciones: Instalaciones eléctricas en edificios públicos (aeropuertos, hospitales, metro, salas de ocio, garajes, etc.) de gran concurrencia de personas y/o donde se quiera evitar (en caso de incendio) gran emisión de humos y gases ácidos.
- La instalación de este producto se realizará según instrucciones del R.B.T.



Fig.6.17. Tubo PVC elegido

6.3.10. Dispositivos de protección

6.3.10.1. Protecciones en corriente continua

Los dos principales elementos de protección son el magnetotérmico y el fusible, que sirven como disparo de protección ante cortocircuito y sobreintensidades.

Ante protección como sobretensiones o sobrecargas, los dispositivos como el regulador o el inversor disponen de circuitería interna que se encarga de realizar esta tarea.

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, etc.

Se conectará un fusible entre módulos fotovoltaicos y regulador y banco de baterías y entre baterías e inversor. Se conectarán al conductor activo (polo positivo).

Los valores de los fusibles son:

- Entre módulo y regulador: El valor de la corriente de cortocircuito del campo generador. Se colocará un fusible de la marca Zoloda 22x58MM GL-GG 63A
- Entre el regulador y banco de baterías: El valor de la corriente de cortocircuito del campo generador. Se colocará un fusible de la marca Zoloda 22x58MM GL-GG 63A
- Entre regulador, baterías e inversor: El valor entre el cociente de la potencia del inversor en la entrada y la tensión nominal del banco de baterías. Se colocará un fusible de la marca Zoloda 22x58MM GL-GG 80A.

Se colocará un interruptor magnetotérmico entre el generador fotovoltaico y la caja de conexiones de los reguladores, será del tipo EP100UC de intensidad nominal 63A especial para protecciones de corriente continua con las siguientes características:



- Curvas de disparo magnetotérmico tipos B y C
- Capacidad de corte en cortocircuito 6kA (IEC 898)
- 1P (220V DC), 2P (440V DC)
- Funcionamiento con limitación de sobreintensidad en caso de fallo
- Ancho por polo: 18mm
- Bornes con protección IP20 contra contactos accidentales
- Bornes de seguridad que aseguran la imposibilidad de realizar una conexión incorrecta
- Capacidad de los bornes hasta 35mm²
- Par de apriete hasta 4.5Nm
- Portaetiquetas para la identificación de los circuitos
- Apto para montaje en carril DIN normalizado
- Apto para instalación en cuadros de distribución
- Maneta enclavable en posición "ON" u "OFF"



Fig.6.18. Vista de interruptor magnetotérmico

6.3.10.2. Protecciones en la parte de corriente alterna

Se colocarán PIA para los distintos circuitos, cuyos valores son:

- C1: circuito de distribución interna destinado a alimentar los puntos de iluminación. Se colocará PIA de 10 A.
- C2: circuito de distribución interna destinado a tomas de corriente de uso general y frigorífico. Se colocará PIA de 16 A.
- C3: circuito de distribución interna destinado a alimentar la cocina y horno. Se colocará PIA de 25 A.
- C4: circuito de distribución interna destinado a alimentar la lavadora, lavavajillas y termo eléctrico. Se colocará PIA de 16 A.



- C5: circuito de distribución interna destinado a alimentar tomas de corriente de los cuartos de baño, así como las bases auxiliares del cuarto de cocina. Se colocará PIA de 16 A.
- El interruptor general automático (I.G.A.) será de 25A.

Los PIA que usaremos para alterna son del tipo 6kA - EP60 con las siguientes características:

- Según norma EN 60898 (IEC 898)
- Intensidad nominal: 0,5A, 1A, 2A, 4A, 6A, 10A, 16A, 20A, 25A, 32A, 40A, 50A, 63A
- Curvas de disparo magnetotérmico tipos B, C y D
- 1P, 1P+N, 2P, 3P y 4P
- Indicación real del estado de los contactos
- Capacidad de corte en cortocircuito 6kA
- Ancho por polo: 18mm
- Funcionamiento con limitación de sobreintensidad en caso de fallo
- Bornes con protección IP20 contra contactos accidentales
- Bornes de seguridad que aseguran la imposibilidad de realizar una conexión incorrecta
- Capacidad de los bornes hasta 35mm²
- Par de apriete hasta 4,5Nm
- Portaetiquetas para la identificación de los circuitos
- Apto para montaje en carril DIN normalizado
- Apto para instalación en cuadros de distribución
- Maneta enclavable en posición "ON" u "OFF"
- Amplia gama de accesorios multifuncionales

Elección del interruptor diferencial

Los diferenciales se colocarán en la entrada de la vivienda acoplados con los interruptores magnetotérmicos. Los dispositivos de protección diferencial permite detectar defectos de aislamiento (contactos indirectos), y proteger de ellos a los usuarios de la instalación cortando el suministro de energía.

Se colocará un Interruptor diferencial de corriente alterna, de dos polos, con intensidad nominal de 25A y una sensibilidad de 30mA. Sus características son:

- Número de polos 2 P
- Corriente asignada nominal 25 A
- Corriente diferencial asignada 30 mA
- Tipo de protección diferencial AC
- Número de módulos 2



- Poder de cierre y de corte 0.63 kA
- Sección de conexión en cable flexible 16 mm²
- Sección de conexión en cable rígido para el mando 25 mm²
- Tensión asignada de empleo en alterna 127; 230 V
- Tipo de conexión Jaula con tornillo



Fig.6.19. Interruptor diferencial

6.3.11. Puesta a tierra

6.3.11.1. Toma de tierra

Se entiende por toma de tierra la parte de la instalación encargada de canalizar, absorber y disipar las corrientes de defecto o de origen atmosférico que son conducidas a través de las líneas principales de tierra.

Se instalará dos picas de tierra de 2 metros de longitud y 14 mm de diámetro, son de la marca SOFAMEL, están fabricadas con acero calibrado con un tratamiento superficial de cobreado electrolítico de 100 micras. Cumplen con la norma UNE202006 y poseen certificado de aeonor.

Una pica será para poner a tierra la estructura de los paneles y las partes metálicas de estos y la otra pica será para poner a tierra la instalación de corriente alterna.

Se separarán las picas a una distancia mínima de 15 metros, distancia que se considera conveniente para que la caída de un rayo no perjudique a la otra pica y consecuentemente a los circuitos a los que protege y serán clavadas en el terreno más húmedo posible, para que la resistencia en caso de una derivación sea pequeña.



Fig.6.20. Picas elegidas

6.3.11.2. Conductores de tierra

Se conoce como línea de enlace o conductores de tierra a los que conectan las picas con el borne principal o punto de puesta a tierra.

Se usará conductores de cobre desnudo recocido de 35 mm^2 de sección nominal

El conexionado entre los componentes de las tierras debe realizarse con sumo cuidado para garantizar una buena conducción eléctrica y evitar daños en los conductores o los electrodos.

6.4. Rentabilidad de la instalación

En las instalaciones fotovoltaicas aisladas, resultará en muchos casos más rentables realizar una instalación solar fotovoltaica que costear el tendido eléctrico desde la zona electrificada más próxima.

En nuestro caso utilizar la energía eléctrica de la red es inviable, ya que instalar el tendido eléctrico conlleva muchos costes y complicaciones como son el proyecto, dirección de obra, permisos de paso, licencia municipal...

Se estima que el metro de la línea eléctrica enterrada tiene aproximadamente un coste de 35 euros. La vivienda se encuentra a una distancia de 1,4 kilómetros del punto más cercano para la conexión, lo que daría un total de 49.000 euros solamente en llevar la línea eléctrica a la vivienda.

Otra opción sería usar el generador diesel como fuente de energía durante todo el año. Esta opción también es inviable ya que un grupo no es un sistema optimizado para la transformación de electricidad para consumo, si no, para tareas esporádicas y además conlleva tener que repostar el depósito periódicamente.



Considerando que utilizamos el generador diesel Genergy de 5000W, tiene un consumo medio de 275 g/kW·H. Para calcular los días que está en funcionamiento el generador, se tiene en cuenta que, hay consumo los siete días a la semana, lo que hace un total de 365 días al año trabajando las 24 horas. Durante 25 años, que es la vida útil que se le supone a una instalación fotovoltaica, hacen un total de 9125 días.

Si consideramos el precio de un litro del combustible diesel a 1,375€/l constante, y una densidad del combustible de 0,832 Kg/l, el coste del combustible durante 25 años sería entonces de 497.652 euros.

Como podemos observar, la solución más rentable es realizar la instalación fotovoltaica, con un coste de 27.708,91 euros. [Ver apartado 9. Presupuesto y mediciones]



7. CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS

La siguiente figura representa los pasos para el diseño y dimensionamiento de un sistema fotovoltaico aislado:

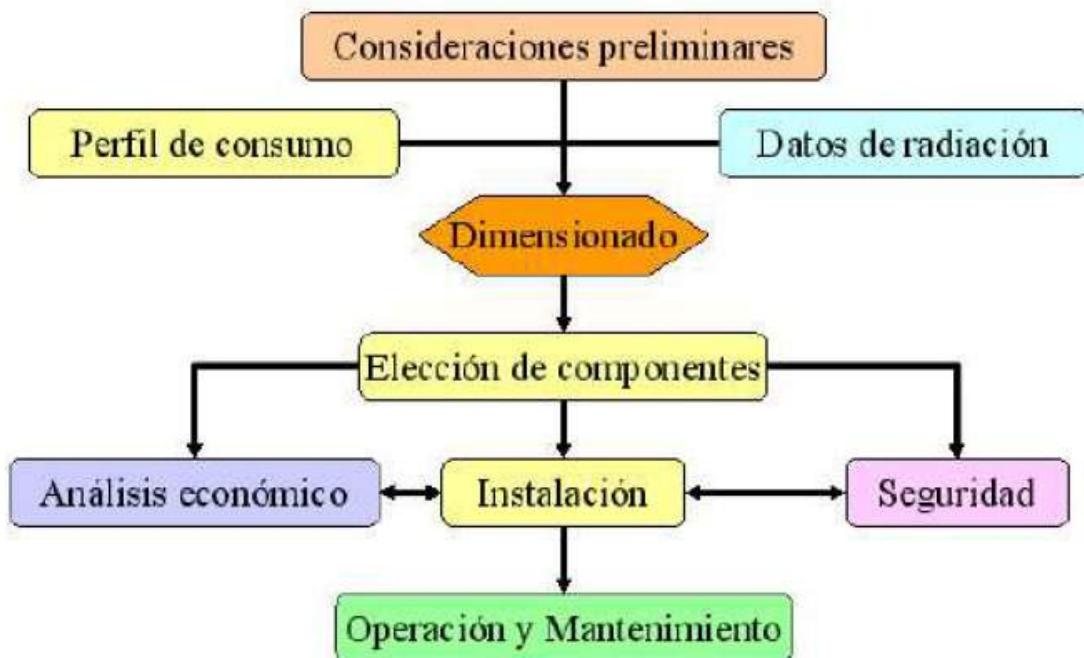


Fig.7.1. Diseño y dimensionamiento de una instalación fotovoltaica aislada

7.1. Cálculo de la demanda energética

Una de las principales condiciones que determinan una instalación solar fotovoltaica aislada es la instalación eléctrica a la que debe suministrar la energía.

Así pues, un primer paso es conocer el consumo necesario. Para ello, hay que calcular la potencia total del sistema tomando como referencia las horas que estarán en funcionamiento durante un día.

Se ha realizado un estudio del consumo que tendrá que abastecer la instalación.

Los equipos eléctricos que se encuentran en la vivienda son los siguientes, con sus respectivos consumos diarios:

Servicio	Demanda de energía diaria (Wh/dia)
Frigorífico	1000
Iluminación	240
Televisión	500
Lavadora	2000
Ordenador	280



Microondas	200
Otros electrodomésticos (secador, plancha...)	600
Bomba de agua	200
Autoconsumo	402
Total	5422

Tabla 7.1. Demanda de energía diaria

Se considerará el autoconsumo máximo diario tanto para el regulador como para el inversor calculados según el Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones Fotovoltaicas Aisladas de la Red en España:

$$3\% \text{ de Ed para el regulador} = 151 \text{ Wh/dia}$$

$$5\% \text{ de Ed para el inversor} = 251 \text{ Wh/dia}$$

$$\text{Autoconsumo: } 151 + 251 = 402 \text{ Wh/dia}$$

7.2. Orientación e inclinación óptimas.

Como norma general se debe saber que los módulos fotovoltaicos deben orientarse hacia el sur, ya que nos encontramos en el hemisferio norte.

La irradiación solar que incide sobre el panel puede variar en función del ángulo que forme con la horizontal (inclinación). Así pues, en función de la inclinación, la captación de energía solar puede variar y será máxima cuando la posición de la placa sea perpendicular con la irradiación.

El ángulo de inclinación β , es el ángulo que forma la superficie de los módulos con el plano horizontal. Su valor es 0 para módulos en situación horizontal y 90° en verticales.

El ángulo de acimut α , es el ángulo entre la proyección sobre el plano horizontal de la normal a la superficie del módulo y el meridiano del lugar. Valores típicos son 0° para módulos orientados al sur, -90° para módulos orientados al este y +90° para módulos orientados al oeste.

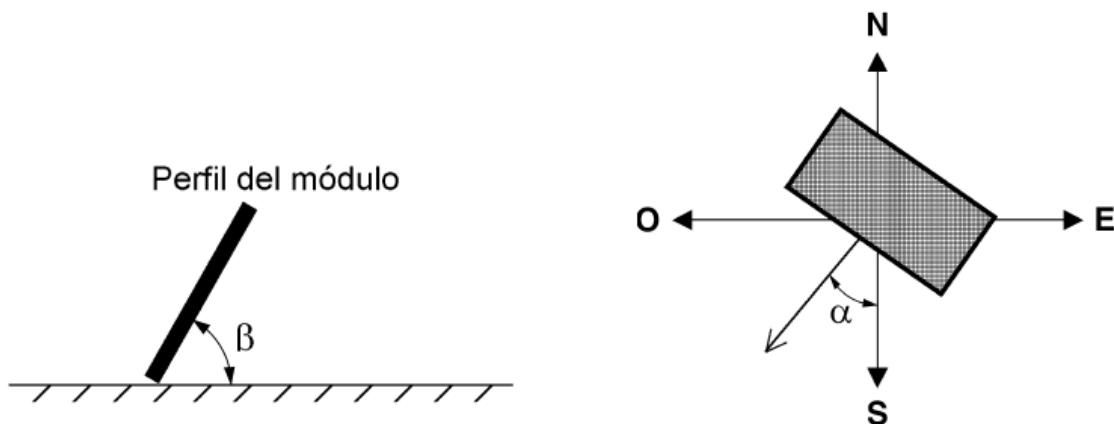


Fig. 7.2. Ángulos de inclinación y de azimut

Se determinará la orientación e inclinación óptimas ($\alpha = 0^\circ$, β_{opt}) para el período de diseño elegido. En la siguiente tabla se presentan períodos de diseño habituales y la correspondiente inclinación (β) del generador que hace que la colección de energía sea máxima.

Período de diseño	β_{opt}	$K = \frac{G_{\text{dm}}(\alpha=0, \beta_{\text{opt}})}{G_{\text{dm}}(0)}$
Diciembre	$\phi + 10$	1,7
Julio	$\phi - 20$	1
Anual	$\phi - 10$	1,15

ϕ = Latitud del lugar en grados

Tabla 7.2. Periodos de diseño. Fuente: IDAE

Recordar que la latitud del lugar de nuestra instalación es de 38° . Como habrá un consumo constante a lo largo del año, el criterio de “mes peor” corresponde con el de menor radiación, en este caso el mes de diciembre. Miramos en la tabla y vemos que la $K=1,7$ y que el valor de la inclinación óptima es el de la latitud más 10 grados. Por lo que nos queda un ángulo de inclinación óptimo de 48° .

$$\beta_{\text{opt}} = 38 + 10 = 48^\circ$$

Los paneles deben instalarse integrados sobre el tejado, y éstos quedan orientados con un ángulo de azimut de 11° y una inclinación de 35° .

Para calcular el factor de irradiación para la orientación e inclinación elegidas se utilizará la expresión aproximada:



$$FI = 1 - [1,2 \times 10^{-4} (\beta - \beta_{\text{opt}})^2 + 3,5 \times 10^{-5} \alpha^2] \quad \text{para } 15^\circ < \beta < 90^\circ$$

$$FI = 1 - [1,2 \times 10^{-4} (\beta - \beta_{\text{opt}})^2] \quad \text{para } \beta \leq 15^\circ$$

Sustituyendo en la ecuación para $15^\circ < \beta < 90^\circ$ usando:

- $\beta_{\text{opt}} = 48^\circ$
- $\beta = 38^\circ$
- $\alpha = 11^\circ$

Nos da un factor de irradiación de 0,9755.

7.3. Irradiación sobre el generador

Para hallar la irradiación real sobre el generador usaremos la siguiente expresión:

$$Gdm(\alpha, \beta) = Gdm(11, 35) = Gdm(0) \cdot FI \cdot FS \cdot K$$

Donde:

- $Gdm(\alpha, \beta)$: Valor medio mensual de la irradiación diaria sobre el plano del generador en kWh/(m²·día) y en el que se hayan descontado las pérdidas por sombreado.
- $Gdm(0)$: Valor medio mensual o anual de la irradiación diaria sobre superficie horizontal en kWh/(m²·día)

Mes	Irradiación diaria en plano horizontal (Wh/m ²)
Enero	2325
Febrero	2109
Marzo	4300
Abril	5339
Mayo	6416
Junio	6920
Julio	6837
Agosto	6083
Septiembre	5002
Octubre	3825
Noviembre	2471
Diciembre	2127
Año	4571

Tabla 7.3. Valores obtenidos de la aplicación PVGIS para las coordenadas del emplazamiento



Tomamos como valor $G_{dm}(0)=2,127 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{día})$ ya que es el mes más desfavorable

- FI (Factor de irradiación): Porcentaje de radiación incidente para un generador de orientación e inclinación (α, β) respecto a la correspondiente para una orientación e inclinación óptimas ($\alpha = 0^\circ$, β_{opt}), con un valor de 0,9755
- FS (Factor de sombreado): Porcentaje de radiación incidente sobre el generador respecto al caso de ausencia total de sombras. En nuestro caso $FS=1$ ya que no hay nada que proyecte alguna sombra sobre nuestro generador.
- K: Constante para el periodo de diseño elegido en la tabla 3.1. con un valor de 1,7

Sustituyendo en la ecuación, nos da una irradiación sobre el generador de:

$$G_{dm}(\alpha, \beta)=3,5273 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{día})$$

7.4. Dimensionado del generador

El dimensionado mínimo del generador, en primera instancia, se realizará de acuerdo con los datos anteriores, según la expresión:

$$P_{mp,\min} = \frac{E_D G_{CEM}}{G_{dm}(\alpha, \beta) PR}$$

Donde:

- E_D : Demanda de energía diaria, calculado en el punto 3.1. con un valor 5422 kWh/día
- G_{CEM} : Irradiancia en condiciones estándar de medida, con un valor de 1 kW/m^2
- $G_{dm}(\alpha, \beta)$: Valor medio mensual de la irradiación diaria sobre el plano del generador en $\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{día})$ y en el que se hayan descontado las pérdidas por sombreado. Calculado en el punto 3.3. con un valor de $3,5273 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{día})$
- Por ser una instalación con inversor y batería $PR = 0,6$

Dando un $P_{mp, \min}=2,5619 \text{ kWp}$



El generador tiene que tener una potencia pico con un mínimo de 2,5619 kWp

Según IDAE, el tamaño del generador será, como máximo, un 20% superior al Pmp, min

Los módulos de la instalación tienen las siguientes características eléctricas:

Potencia nominal (Pmax)	150W
Tensión en circuito abierto (Voc)	22,6V
Corriente de cortocircuito(Isc)	8,7A
Tensión en el punto de máxima potencia (Vmáx)	18,5V
Corriente en el punto de máxima potencia (Imax)	8,12A

Tabla 7.4. Características eléctricas de los módulos fotovoltaicos

Número de paneles en serie (Ns): Se colocarán 3 paneles para conseguir 55,5 V. La tensión del campo de paneles debe ser algo superior a los 48V de la entrada de los reguladores.

Número de paneles en paralelo (Np): Se colocarán 6 ramas en paralelo para alcanzar el nivel de corriente deseada.

Por tanto el dimensionado del generador será:

$$P_{mp} = N_s \cdot N_p \cdot P_{panel} = 3 \cdot 6 \cdot 150 = 2700 \text{ Wp} < 1,2 \cdot P_{mp, \text{min}}$$

Con un total de 18 paneles fotovoltaicos y con los valores siguientes para la corriente de cortocircuito y la tensión de circuito abierto:

Isc del generador fotovoltaico: 52,2 A

Voc del generador fotovoltaico: 67,8V

7.5. Dimensionado del sistema de acumulación

Para evaluar el tamaño del sistema de acumulación es necesario definir previamente los siguientes factores, que son:

-La Capacidad nominal: C20(Ah), que es la cantidad de carga que es posible extraer de una batería en 20 horas, medida a una temperatura de 20°C, hasta que la tensión de sus terminales llegue a 1,8 V/vaso. Para otros regímenes de carga se pueden usar las siguientes relaciones empíricas: C100/C20=1,25 C40/C20=1,14



- Días de autonomía (A), que corresponden al tiempo que podrá funcionar la instalación sin recibir la radiación solar en condiciones adecuadas. Este parámetro está fuertemente condicionado por las características climáticas del emplazamiento y por las necesidades de fiabilidad del suministro. Habitualmente, para instalaciones de electrificación rural este factor puede ser de 4 ó 6 días, mientras que para aplicaciones profesionales puede superar los 10. Para este proyecto definimos 5 días de autonomía.

-Profundidad de descarga máxima (PD_{max}), correspondiente al límite de descarga que puede alcanzar la batería, sin perjudicarla de cara a sus prestaciones. Para los casos más habituales de electrificación rural, puede tomarse este valor como de un 70%. Las baterías empleadas en otros tipos de sistemas pueden permitir profundidades de descarga superiores al 90%. Retenemos el 70% para este proyecto

-Tensión de trabajo de la instalación (U), elegido en función de las características de la instalación. En el caso de instalaciones de electrificación rural, lo más usual son tensiones de 12, 24 o 48 Vcc. Para nuestra instalación hemos seleccionado 48 Vcc.

-Rendimiento energético del acumulador más el regulador (η_{rb}), correspondiente a un valor de 0,81 según estimación de IDAE.

-Rendimiento energético del inversor (η_{inv}), correspondiente a un valor de 0,96, obtenido de las hojas del fabricante.

En la mayoría de las instalaciones, dependiendo de la potencia de la capacidad y tensión de la instalación, será necesario asociar baterías en serie o en paralelo para obtener los niveles de tensión y capacidad adecuados.

El consumo diario medio de la carga en Ah (L_D) es:

$$L_D = \frac{E_D}{V_n} = \frac{5422}{48} = 112,96 Ah$$

Y la capacidad nominal es:

$$C_{20} = \frac{L_D \cdot A}{PD_{max} \eta_{inv} \eta_{rb}} = \frac{112,965}{0,7 \cdot 0,96 \cdot 0,81} = 1037,6 Ah$$

Cada batería de las elegidas es capaz de suministrar 270 Ah en 20 h y poseen una tensión nominal de 12 V, así que se conectarán 4 baterías en serie para alcanzar los 48V del sistema y se conectarán 5 ramas serie en paralelo para obtener una capacidad total de 1125 Ah.



7.6. Dimensionamiento del regulador

Según lo indicado en el Pliego de Condiciones Técnicas del IDAE el regulador de carga se seleccionará para que sea capaz de resistir sin daño una sobrecarga simultánea, a la temperatura ambiente máxima, de:

- Corriente en la línea de generador: un 25% superior a la corriente de cortocircuito del generador fotovoltaico en CEM.
- Corriente en la línea de consumo: un 25 % superior a la corriente máxima de la carga de consumo.

La tensión nominal del regulador tiene que coincidir con la tensión nominal del sistema de acumulación, por lo que será de 48V.

Para calcular la máxima corriente que debe soportar el regulador aplicamos la siguiente ecuación:

$$I_{reg} = 1,25 \cdot I_{sc,mod} \cdot N_{p,mod} = 1,25 \cdot 8,7 \cdot 6 = 65,25A$$

Donde:

- I_{reg} : Corriente máxima que debe soportar el regulador.
- $I_{sc,mod}$: Corriente de cortocircuito del panel fotovoltaico.
- $N_{p,mod}$: Número de ramas conectadas en paralelo
- 1,25 es el factor de sobredimensionamiento

Debemos elegir un valor comercializado inmediatamente superior a 65,25A

Colocaremos dos reguladores en paralelo de 40A cada uno, con una tensión nominal de 48V. Los dos reguladores deben ser idénticos, de esta manera la carga se reparte de manera igual entre los dos reguladores.

7.7. Dimensionado del inversor

El inversor se encargará de convertir la corriente continua del banco de baterías en energía aceptada por los equipos consumidores finales, es decir, convierten la tensión de 48V de corriente continua en 230V de corriente alterna.



Como la tensión de entrada suele ser la de la batería, también se denominan convertidores de conexión a batería. Se suelen llegar a conectar directamente a la salida de consumo del regulador para potencias pequeñas (inferiores a los 500W y si el regulador dispone de los terminales de consumo), y para potencias elevadas se conectan directamente a las baterías.

La tensión de alimentación tiene valores típicos de 12, 24 y 48 voltios (tensión del banco de baterías), aunque para requisitos de potencias elevadas se puede recurrir a equipos que requieran una tensión de entrada hasta los 120 voltios.

Están construidos a base de circuitos electrónicos alimentados a tensión continua y generan una señal de tensión y frecuencia determinada, en la mayoría de los casos se generan 230 voltios y 50Hz

Para la elección del inversor se tiene que conocer el consumo máximo instantáneo que puede tener la instalación:

Servicio	Potencia(W)
Frigorífico	200
Iluminación	120
Televisión	120
Lavadora	1500
Ordenador	90
Microondas	800
Otros electrodomésticos (secador, batidora...)	600
Bomba	200
Potencia total (W)	3630

Tabla 7.5. Potencias nominales de los servicios eléctricos

El inversor se dimensionará para abastecer el consumo máximo instantáneo que pueda tener la instalación. Además tiene que tener una tensión nominal de 48V a la entrada y de 230V a la salida

El inversor elegido entrega 3500VA, y es capaz de entregar 4000VA durante 30 minutos. Además tiene otras funciones como de cargador de las baterías, de conmutación y de apoyo a fuentes de corriente alterna externas.

7.8. Dimensionado del grupo electrógeno

Pese a que el dimensionado de la instalación se ha realizado para proporcionar de una autonomía de varios días de consumo a la vivienda, podrían darse situaciones en las que



la demanda no pudiese satisfacerse a través del sistema fotovoltaico. Éstas situaciones pueden ser situaciones climatológicas adversas o averías imprevisibles.

Se usará como energía auxiliar un grupo diesel de 5kW, que se utilizará para cargar las baterías en caso de que se agotasen. El grupo diesel proporcionara corriente alterna a 230V que será convertida a corriente continua mediante el inversor-cargador y así de esta manera cargar las baterías.

Se ha elegido aislado acústicamente debido a su cercanía con la vivienda.

También se podrá usar el grupo electrógeno para suministrar corriente alterna para necesidad especial, como la utilización de aparatos de construcción con elevada potencia (soldador, taladro, etc.)

7.9. Cableado

Calcularemos la sección del cable que comunica todos los dispositivos y la instalación. Elegir una sección adecuada es imprescindible, ya que una mala elección puede suponer una caída de tensión más elevada en el conductor, lo que se traduce en un aumento de corriente y su correspondiente aumento de temperatura, pudiendo llegar a su ruptura.

Un aumento de la temperatura puede repercutir tanto en un peligro de incendio como en el deterioro del material aislante que lo recubre, aumentando la posibilidad de cortocircuito.

Primero hay que calcular el valor de la sección matemáticamente, después habrá que comprobar la corriente máxima admisible para la sección elegida y la canalización a utilizar.

La sección del cable se calcula utilizando la siguiente ecuación:

$$S = \frac{2 \cdot L \cdot I}{\gamma \cdot \Delta V}$$

Donde:

- **S** es el área de la sección del conductor (mm^2)
- **L** es la longitud del conductor (m)
- **I** es la intensidad que de corriente circulante (A)



- γ es la conductividad del material utilizado. En nuestro caso cobre con un valor de $44\text{m}/\Omega\text{mm}^2$
- ΔV es la caída de tensión

Según Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones Aisladas de Red de IDAE la caída de tensión se calcula para un porcentaje de la tensión nominal, que variará en función de los equipos que interconecta:

- Caídas de tensión entre generador y regulador: 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 positivos y negativos de la parte continua de la instalación se conducirán separados, protegidos y señalizados (códigos de colores, etiquetas, etc.) de acuerdo a la normativa vigente.

Los códigos de colores que se utiliza para el circuito de corriente continua:

- Rojo: para el polo positivo
- Negro: para el polo negativo

Los cables de exterior estarán protegidos contra la intemperie.

Para calcular la máxima corriente que debe soportar el conductor aplicamos la siguiente ecuación:

$$I_{\max}=1,25 \cdot I_{sc,mod} \cdot N_{p,mod}$$

Donde:

- I_{\max} : Corriente máxima que debe soportar el conductor.
- $I_{sc,mod}$: Corriente de cortocircuito del panel fotovoltaico.
- $N_{p,mod}$: Número de ramas conectadas en paralelo
- 1,25 es el factor de sobredimensionamiento por seguridad

$$I_{\max}=1,25 \cdot I_{sc,mod} \cdot N_{p,mod}=1,25 \cdot 8,7 \cdot 6=65,25\text{A}$$



Se elegirá una sección normalizada a partir de la siguiente tabla, teniendo en cuenta la intensidad admisible del conductor:

A		Conductores aislados en tubos empotrados en paredes aislantes		3x PVC	2x PVC		3x XLPE o EPR	2x XLPE o EPR					
A2		Cables multiconductores en tubos empotrados en paredes aislantes.	3x PVC	2x PVC		3x XLPE o EPR	2x XLPE o EPR						
B		Conductores aislados en tubos 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 y 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 0,3D					3x PVC	2x PVC	3x XLPE o EPR	2x XLPE o EPR			
F		Cables unipolares en contacto mutuo. Distancia a la pared no inferior a D.						3x PVC			3x XLPE o EPR ¹⁾		
G		Cables unipolares separados mínimo D.								3x PVC ¹⁾		3x XLPE o EPR	
Cobre		mm²	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
		1,5	11	11,5	13	13,5	15	16	-	18	21	24	-
		2,5	15	16	17,5	18,5	21	22	-	25	29	33	-
		4	20	21	23	24	27	30	-	34	38	45	-
		6	25	27	30	32	36	37	-	44	49	57	-
		10	34	37	40	44	50	52	-	60	68	76	-
		16	45	49	54	59	66	70	-	80	91	105	-
		25	59	64	70	77	84	88	96	106	116	123	166
		35		77	86	96	104	110	119	131	144	154	205
		50			94	103	117	125	133	145	159	175	188
		70				149	160	171	188	202	224	244	321
		95				180	194	207	230	245	271	296	391
		120				208	225	240	267	284	314	348	455
		150				236	260	278	310	338	363	404	525
		185				268	297	317	354	386	415	464	601
		240				315	350	374	419	455	490	552	711
		300				360	404	423	484	524	565	640	821

Tabla 7.6. Intensidades admisibles (A) al aire 40° C. N° de conductores con carga y naturaleza del aislamiento (Fuente: ITC-BT 19)

Los conductores serán de cobre, irán aislados en tubos en montaje superficial

CABLES DEL GENERADOR FOTOVOLTAICO A LA CAJA DE CONEXIÓN DEL INTERRUPTOR MAGNETOTÉRMICO

$$S = \frac{2LI}{\gamma \Delta V} = \frac{2865,25}{44 \cdot (0,0348)} = 16,5 \text{ mm}^2$$

2 cables de 25mm² con aislamiento de XLPE de 8 metros de longitud



CABLES DE LA CAJA DE CONEXIÓN DEL INTERRUPTOR MAGNETOTÉRMICO A LA CAJA DE CONEXIÓN DE LOS REGULADORES

$$S = \frac{2 \cdot L \cdot I}{\gamma \Delta V} = \frac{2 \cdot 1,565,25}{44 \cdot (0,0148)} = 9,3 \text{ mm}^2$$

2 cables de 10mm² con aislamiento de XLPE de 1,5 metros de longitud

CABLES DE LA CAJA DE CONEXIÓN DE LOS REGULADORES A LOS REGULADORES

$$S = \frac{2 \cdot L \cdot I}{\gamma \Delta V} = \frac{2 \cdot 1,332,6}{44 \cdot (0,0148)} = 4 \text{ mm}^2$$

4 cables de 4mm² con aislamiento de XLPE de 1,3 metros de longitud

CABLES DE REGULADORES A LA CAJA DE CONEXIÓN DE LAS BATERÍAS

$$S = \frac{2 \cdot L \cdot I}{\gamma \Delta V} = \frac{2 \cdot 232,6}{44 \cdot (0,0148)} = 6 \text{ mm}^2$$

4 cables de 6mm² con aislamiento de XLPE de 2 metros de longitud

CABLES DE LA CAJA DE CONEXIÓN DE LAS BATERÍAS A LAS BATERÍAS

$$S = \frac{2 \cdot L \cdot I}{\gamma \Delta V} = \frac{2 \cdot 1,565,25}{44 \cdot (0,0148)} = 9,2 \text{ mm}^2$$

2 cables de 10mm² con aislamiento de XLPE de 1,5 metros de longitud

CABLES DE LA CAJA DE CONEXIÓN DE LAS BATERÍAS AL INVERSOR

$$S = \frac{2 \cdot L \cdot I}{\gamma \Delta V} = \frac{2 \cdot 250}{44 \cdot (0,0148)} = 9,4 \text{ mm}^2$$

2 cables de 10mm² con aislamiento de XLPE de 2 metros de longitud



CABLES DE LA CAJA DE CONEXIÓN DE LAS BATERÍAS AL ACCESORIO DE ARRANQUE DEL GRUPO ELECTRÓGENO

$$S = \frac{2LI}{\gamma\Delta V} = \frac{2 \cdot 2,5 \cdot 15}{44 \cdot (0,0148)} = 3,55 \text{ mm}^2$$

2 cables de 4mm² con aislamiento de XLPE de 2,5 metros de longitud

CABLES DEL ACCESORIO DE ARRANQUE DEL GRUPO ELECTRÓGENO AL GRUPO ELECTROGENO

$$S = \frac{2LI}{\gamma\Delta V} = \frac{2 \cdot 4 \cdot 15}{44 \cdot (0,0148)} = 5,7 \text{ mm}^2$$

2 cables de 6mm² con aislamiento de XLPE de 4 metros de longitud

CABLES DEL GRUPO ELECTRÓGENO AL INVERSOR

$$S = \frac{2LI}{\gamma\Delta V} = \frac{2 \cdot 3,5 \cdot 21,74}{44 \cdot (0,01230)} = 1,5 \text{ mm}^2$$

2 cables de 2,5mm² con aislamiento de XLPE de 3,5 metros de longitud

7.10. Tubos protectores

Los tubos deberán tener un diámetro tal que permita un fácil alojamiento y extracción de los cables. En la tabla 7.7. figuran los diámetros exteriores mínimos de los tubos en función del número y la sección de los conductores o cables a conducir.



Sección nominal de los conductores unipolares (mm ²)	Diámetro exterior de los tubos (mm)				
	Número de conductores				
	1	2	3	4	5
1,5	12	12	16	16	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 7.7. Diámetros exteriores mínimos en función del número y la sección de los conductores o cables a conducir.(Fuente: ITC-BT-21)

Observando la tabla, los circuitos tendrán un diámetro de los tubos:

Circuito C1 (Iluminación): 16 mm.

Circuito C2 (TC Uso general): 20 mm.

Circuito C3 (Cocina-horno): 25 mm.

Circuito C4 (lavadora): 20 mm.

Circuito C5 (TC Baño y cocina): 20 mm.

Los cables del generador fotovoltaico hasta la caseta irán bajo tubo rígido de PVC de 32 mm de diámetro.

Tanto para los tubos como para los canales protectores se tiene en cuenta las prescripciones indicadas en la ITC-BT-21 del Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión.



8. PLIEGO DE CONDICIONES

Durante el montaje de la instalación fotovoltaica se tendrán en cuenta las consideraciones enunciadas a continuación.

8.1. Montaje de las baterías

Para el montaje se tendrá que tener en cuenta:

- Antes de la instalación, habrá que comprobar que no existan daños mecánicos en la batería y apretar con firmeza los terminales.
- Par de apriete recomendado para las conexiones con tornillos: 14,7 a 19,6 Nm (batería 55Ah: 11 a 14,7 Nm).
- Se recomienda la instalación vertical.
- Mantener más de 1cm de espacio entre las baterías.
- Se colocarán lejos de fuentes de calor.
- Temperatura de funcionamiento admitida: -20 a 55 °C; temperatura de funcionamiento nominal: 5 a 35 °C. Se recomienda una temperatura de 25 °C. La vida de la batería se reduce a la mitad por cada 10 °C de aumento de la temperatura. Las temperaturas más bajas reducirán la capacidad disponible.
- Antes de la conexión se limpiarán los terminales.
- Durante la instalación, se deben desconectar todas las cargas.
- Para facilitar las posibles conexiones, se recomienda el montaje directo del terminal del cable al borne de la batería. Por tanto, antes debería quitarse el adaptador del polo de la batería.
- Habrá que usar terminales para cable y para los bornes de la batería que sean fiables y del tamaño adecuado. Las conexiones se deben apretar firmemente.
- Habrá que conectar la batería con la polaridad correcta. La posición de los polos de la batería puede ser diferente a la de las baterías instaladas con anterioridad.
- El cable negativo se conectará en último lugar.
- Habrá que utilizar aisladores de protección para los terminales de la batería.
- Las baterías en serie o paralelo deben ser de la misma marca, tipo, capacidad y estado de carga. No se deben mezclar las baterías nuevas con las viejas.



Las salas de baterías deben gozar de buena ventilación, estar secas y tan frías como sea posible (aunque protegidas contra heladas).

En la medida de lo posible, la ventilación debe ser natural. En salas pequeñas y en instalación en armario deberán emplearse ventiladores extractores.

En condiciones climáticas extremas de frío o calor, el soterramiento de la cámara (por ejemplo, 2 m por debajo del nivel del suelo) puede aminorar las altas temperaturas tropicales o dar protección contra las heladas.

Las paredes de cerramiento y la base de asiento deben diseñarse a prueba de ácido, contra la acción del electrolito. Esto sólo puede hacerse con materiales o pinturas especiales.

Las puertas deberán abrir hacia afuera. Los umbrales de puerta deben tener una altura mínima de 10 cm. Una señal de aviso deberá advertir de los riesgos y prohibir, tanto fumar como cualquier operación con llama libre, y emplear siempre para el alumbrado, interruptores y lámparas especiales para este tipo de instalación, ya que si existe una alta concentración de gas en la cámara, la simple chispa que provoca un interruptor puede ocasionar una explosión.

La instalación de las baterías debe hacerse de modo que se disponga de buen acceso, al menos por un lado, para poder hacer así el control del electrolito y el mantenimiento.

8.2. Montaje del inversor

Para el montaje del inversor es recomendable:

Montar el inversor tan cerca de los módulos como se pueda para ahorrar así cableado de corriente continua.

En interiores tener en cuenta las humedades imprevistas

Evitar los lugares de montaje polvorrientos

Comprobar que el inversor no se caliente en exceso a causa del entorno en el lugar del montaje y que éste permanezca fresco también en verano.

A causa de su peso relativamente grande, los inversores deben montarse sólo en paredes capaces de soportar carga.

No monte los inversores en paredes anexas a salas de estar o dormitorios, pues al funcionar emiten un incómodo zumbido o ruido del ventilador.

Cuando se haga el montaje tener en cuenta el procurar una accesibilidad cómoda para el mantenimiento y la reparación.



Pensar en los robos, los lugares accesibles a todo el mundo no son adecuados para efectuar el montaje.

Los inversores en verano se calientan en exceso y eso constituye una causa frecuente de pérdida de rendimiento, por lo que se recomienda instalar en lugares ventilados.

8.3. Montaje de los módulos fotovoltaicos

Para el montaje de los módulos fotovoltaicos es recomendable:

Usar tejas de ventilación en lugar de ranuras fresadas en los ladrillos del tejado. Si bien es habitual efectuar el paso de los cables a través de tejado fresando las tejas, en cuanto a vida útil dicho es método es peor al de la teja de ventilación, por el roce entre la teja y el cable.

Para el paso a través de tejado procúrese oportunamente las necesarias tejas de ventilación en forma y color idóneos para el tipo de tejado y en número suficiente. Para el paso de los cables deberá retirar completamente o taladrar las rejillas de las tejas de ventilación.

Pasar los cables a través de macarrones por las tejas de ventilación.

Los anclajes de cabrio montados bajo carga no deben tampoco tocar la teja y, desde luego, no deben apoyarse sobre ésta, pues podría romperse la misma.

La mayoría de las tejas deben rectificarse para los anclajes de cabrio mediante amoladora angular con disco para piedra. De lo contrario, la teja quedará muy alta y el tejado no será estanco.

Siempre que sea posible, usar anclajes de cabrio regulables en altura. Sin éstos no podrá compensar con tablones de apoyo los cabrios desnivelados.

Sobre la superficie del generador dejar espacio entre los grupos de módulos para el posterior mantenimiento y reparación. De lo contrario, para llegar a un módulo deberá desmontar antes “medio” generador.

Durante el montaje de los módulos comprobar si se ha dejado olvidados puntos (de paso) abiertos o tejas. Cerrar todos los orificios que ya no se vaya a usar. Hacer una comprobación final.

Se precisará de las siguientes herramientas:



- Equipo de protección (gafas, guantes, cascos antiruido, cinturón...)
- Destornillador/taladro de batería con puntas y brocas.
- Amoladora angular manual con disco para piedra.
- Cinta métrica, cordón de trazar y metro plegable.
- Según el tipo de montaje se necesitará llave fija plana, de estrella, de vaso o allen.
- Aparatos de medición: megómetro, multímetro digital de hasta 10 A CC

A parte del imprescindible sistema de montaje, se necesitará con toda probabilidad, estos importantes “detalles”:

- Tornillos de repuesto, así como tuercas de repuesto y arandelas conforme al sistema de montaje.
- Abrazaderas resistentes a los rayos UV
- Anclajes de cabrio o ganchos de tejado adicionales.
- Macarrones conforme a la sección del cable.

8.4. Montaje de los conductores de corriente continua.

Para el montaje de los conductores de corriente continua se recomienda:

- Usar cables con conectores a prueba de contacto táctil y confusión.
- No desconectar conectores ni ningún otro tipo de empalmes o fusibles bajo carga.
- En exteriores poner un cordón vierteaguas por delante de los pasacables.
- No dejar los cables suspendidos ni apoyados sobre las tejas. En lugar de ello, use abrazaderas resistentes a los rayos UV y tubos protectores o macarrones.
- Evitar las grandes marañas de cables; en su lugar, guíelos en un haz compacto y en paralelo.
- No guiar las líneas de CC a través de espacios con alto riesgo de incendio.
- Identificar de forma correspondiente todas las líneas de corriente continua de la vivienda.
- Despues de cualquier tendido de cables realizar una medición del aislamiento y de la resistencia. Se detectarán así los fallos por cortocircuito y falta a tierra, por cualquier otro fallo de aislamiento o por sección insuficiente de cables.
- En caso de conexión en serie de paneles (cadena), conecte el polo positivo de un módulo con el negativo del otro.
- Numerar los cables de conexión de todas las cadenas. Se facilitará así la posterior localización de fallos y su reparación.
- Comprobar que los cables no supongan ningún obstáculo para descarga de agua de lluvia.



Cuando se concluya la conexión en serie de una cadena comprobar:

- Que la tensión de circuito abierto sea aproximadamente el producto de la “ U_{oc} ” indicada en la ficha técnica del módulo por el número de éstos.
- Que la corriente de cortocircuito sea, con cielo despejado, aproximadamente del 80% o el 95% de la I_{sc} de la ficha técnica del módulo (medida a $1000W/m^2$ =pleno sol), y con el cielo cubierto, aproximadamente del 10%.

8.5. Seguridad en el montaje

El contratista está obligado a cumplir la siguiente reglamentación:

- Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión, aprobado por Decreto 842/2002, de 2 de agosto, por el que se aprueba el reglamento electrotécnico para baja tensión. BOE núm.224 del miércoles 18 de septiembre.
- Ordenanza de Seguridad e Higiene en el Trabajo y Ley 31/1995 de Prevención de Riesgos Laborales.
- Cuantos preceptos sobre Seguridad e Higiene en el Trabajo contengan las Ordenanzas Laborales, Reglamentos de Trabajo, Convenios Colectivos y Reglamentos de Régimen Interior en vigor.

Asimismo, deberá proveer cuanto sea preciso para el mantenimiento de las máquinas, herramientas, materiales y útiles de trabajo en las debidas condiciones de seguridad.

Mientras los operarios trabajen en circuitos o equipos en tensión, o en su proximidad, usarán ropa sin accesorios metálicos y evitarán el uso innecesario de objetos de metal. Se llevarán las herramientas o equipos en bolsas y se utilizará calzado aislante o al menos sin herrajes ni clavos en las suelas.

El personal de la contrata está obligado a usar todas las disposiciones y medios de protección personal, herramientas y prendas de seguridad exigidas para eliminar o reducir los riesgos profesionales tales como casco, gafas, etc.. pudiendo el director de la obra suspender los trabajos, si estima que el personal de la contrata está expuesto a peligros que son corregibles.

El director de obra podrá exigir del contratista, ordenándolo por escrito, el cese de cualquier empleado u obrero que, por imprudencia temeraria, fuera capaz de producir



accidentes que hicieran peligrar la integridad física del propio trabajador o de sus compañeros.

El director de obra podrá exigir del contratista en cualquier momento, antes o después de la iniciación de los trabajos, que presente los documentos acreditativos de haber formalizado los regímenes de Seguridad Social de todo tipo (afiliación, accidente, enfermedad, etc.) en la forma legalmente establecida.

8.6. Seguridad pública

El contratista deberá tomar todas las precauciones en las operaciones y usos de equipos para proteger a las personas, animales o cosas de los peligros procedentes del trabajo, asumiendo las responsabilidades que tales accidentes ocasionen.

El contratista contratará una póliza de seguros que lo proteja tanto a él como a sus empleados u obreros frente a las responsabilidades de daños, responsabilidad civil, etc. En las que se pueda incurrir como consecuencia de la ejecución de los trabajos.

8.7. Primeros auxilios en caso de accidente eléctrico

El riesgo provocado por la corriente eléctrica depende mucho de la intensidad con la que realmente circule ésta.

El efecto de la corriente depende de la resistencia eléctrica del cuerpo. La resistencia varía mucho y está determinada, entre otras cosas, por la superficie de contacto, el trayecto de la corriente a través del cuerpo, la resistencia de contacto (piel seca o húmeda) e incluso por el tipo de ropa. Por término medio la resistencia puede situarse en torno a los 1000Ω (por ejemplo, en el paso de corriente de una mano a otra o de la mano al pie).

A partir de un umbral de excitación relativamente bajo la corriente eléctrica causa calambres musculares, provocando a menudo que el accidentado no pueda ya soltar el objeto tocado, lo que dificulta su rescate y aumenta el tiempo de efecto de la corriente sobre éste. A medida que la intensidad de corriente aumenta, las propiedades fisiológicas de excitabilidad y conductibilidad del corazón quedan afectadas. Se produce una irregular actividad (calambre) del músculo cardíaco, hasta llegar a la parada cardíaca.



8.8. Medidas en caso de accidente eléctrico

Inmediata desconexión de la corriente eléctrica en la zona siniestrada. Si la desconexión no resulta posible, deberá separarse al accidentado del circuito eléctrico lo antes posible, pero empleando siempre medios auxiliares aislantes (barras de plástico, guantes, etc).

Un aislamiento insuficiente pone en riesgo a la persona misma que acude al rescate. A los accidentados debe rescatárselos siempre con ganchos, barras y otros medios auxiliares hechos de material aislante.

Una vez apartados del circuito eléctrico los accidentados, y en caso de parada cardíaca o fibrilación ventricular, debe procederse de inmediato con reanimación cardiopulmonar.

No deberá interrumpirse ésta hasta la llegada del servicio de salvamento. La corriente causa con frecuencia que los accidentados estén sólo aparentemente muertos (fibrilación ventricular). De ahí que no se deba abandonar nunca la reanimación antes de la llegada del médico. Deben aflojarse las prendas ceñidas. No debe desnudarse al accidentado.

8.9. Recepción y pruebas

El instalador deberá entregar al usuario un documento o albarán en donde conste: el suministro de componentes, materiales, manuales de uso de los diferentes equipos y mantenimiento de la instalación (con el contrato de mantenimiento)

Dicho documento será firmado por duplicado por ambas partes, siendo un ejemplar para cada una de ellas.

Los manuales entregados al usuario estarán en alguna de las lenguas oficiales españolas del lugar de la instalación, para facilitar así su correcta interpretación.

Las pruebas que debe realizar el instalador serán las siguientes:

- Funcionamiento y puesta en marcha del sistema.
- Prueba de las protecciones del sistema y de las medidas de seguridad.

Después de haber realizado todas las pruebas, se pasa a la fase de recepción provisional, que consiste en dejar en funcionamiento la instalación un tiempo mínimo de 240 horas seguidas, sin que se produzcan interrupciones o paradas causadas por fallos en el sistema suministrado, es decir fallos en la instalación. Entonces se firmará el Acta de Recepción Provisional.

Además el instalador deberá:

- Realizar la retirada del material sobrante
- Limpieza de las zonas ocupadas.



Todos los equipos de la instalación estarán protegidos frente a defectos de: fabricación, instalación o elección de componentes. Con una garantía de tres años, excepto los módulos fotovoltaicos que dispondrán de una garantía de ocho años. La garantía será contada desde la firma del Acta de Recepción Provisional.

La garantía podrá anularse cuando la instalación haya sido: reparada, modificada o desmontada (en su totalidad o en parte), por personas ajenas al suministrador o instalador, así como de asistencia técnica de los fabricantes no autorizada.

8.10. Contrato de mantenimiento

Se debe realizar un contrato de mantenimiento con un mínimo de tres años. Incluyendo mantenimiento preventivo y correctivo.

Se entiende como mantenimiento preventivo la supervisión de la instalación para corregir fallos una vez se hayan producido.

En el contrato de mantenimiento preventivo se debe realizar, como mínimo, anualmente. En dicha visita anual se realizarán como mínimo, anualmente. En dicha visita anual se realizarán como mínimo las siguientes acciones:

- Revisión del cableado, conexiones, pletinas, terminales, etc.
- Comprobación del estado de los módulos fotovoltaicos: situación, limpieza o presencia de daños. Así como el soporte de los mismos, como el deterioro producido por los efectos ambientales (oxidación, etc.). El generador fotovoltaico se estima que tiene una vida útil superior a 30 años, siendo la parte más fiable de la instalación. La experiencia indica que los paneles nunca dejan de producir electricidad, aunque su rendimiento pueda disminuir ligeramente con el tiempo.
- Comprobación del estado de la batería: nivel del electrolítico, limpieza y engrasado de terminales. Aquellos defectos tales como aflojamientos o conexiones oxidadas deben repararse inmediatamente. La batería tiene que mantenerse en condiciones de carga. Las baterías deberán mantenerse secas y limpias. Para limpiar las baterías, únicamente se emplearán paños suaves ligeramente humedecidos. Nunca se deberán utilizar aditivos, ácidos y/o decapadores. Las baterías no se deben abrir. Nunca hay que añadir ácido ni agua destilada. Aproximadamente las baterías con un correcto mantenimiento tienen una vida aproximada de diez años.



- Comprobación del estado del regulador de carga: caídas de tensión entre terminales, funcionamiento de los indicadores, etc.
- Comprobación del estado del inversor: funcionamiento de los indicadores, tensión de la instalación y alarmas.
- Caídas de tensión en el cableado de corriente continua.
- Verificación de los elementos de seguridad y protecciones: tomas de tierra, actuación de interruptores de seguridad y fusibles.

Si la instalación dispone de sistemas de monitorización, la revisión deberá realizarse cada seis meses y comprobando la calibración y limpieza de los dispositivos de medida.

Los costes económicos del mantenimiento correctivo forman parte del precio anual del contrato de mantenimiento. Podrán no estar incluidas ni la mano de obra ni las reposiciones de equipos fuera de los términos de la garantía.

El mantenimiento deberá ser realizado por personal técnico cualificado bajo la responsabilidad de la empresa instaladora y todas las operaciones de mantenimiento realizadas se registrarán en el libro de mantenimiento.

8.11. Garantía

Ámbito general de la garantía:

Sin perjuicio de una posible reclamación a terceros, la instalación será reparada de acuerdo con estas condiciones generales si ha sufrido una avería a causa de un defecto de montaje o de cualquiera de los componentes, siempre que haya sido manipulada correctamente de acuerdo con lo establecido en el manual de instrucciones.

La garantía se concede a favor del comprador de la instalación, lo que deberá justificarse debidamente mediante el correspondiente certificado de garantía, con la fecha que se acredite en la entrega de la instalación.

Plazos:

El suministrador garantizará la instalación durante un período mínimo de tres años, para todos los materiales utilizados y el montaje. Para los módulos fotovoltaicos, la garantía será de ocho años.

Si hubiera de interrumpirse la explotación del sistema debido a razones de las que es responsable el suministrador, o a reparaciones que haya de realizar para cumplir las estipulaciones de la garantía, el plazo se prolongará por la duración total de dichas interrupciones.



Condiciones económicas:

La garantía incluye tanto la reparación o reposición de los componentes y las piezas que pudieran resultar defectuosas, como la mano de obra.

Quedan incluidos los siguientes gastos: tiempos de desplazamiento, medios de transporte, amortización de vehículos y herramientas, disponibilidad de otros medios y eventuales portes de recogida y devolución de los equipos para su reparación en los talleres del fabricante.

Asimismo, se debe incluir la mano de obra y materiales necesarios para efectuar los ajustes y eventuales reglajes del funcionamiento de la instalación.

Si, en un plazo razonable, el suministrador incumple las obligaciones derivadas de la garantía, el comprador de la instalación podrá, previa notificación escrita, fijar una fecha final para que dicho suministrador cumpla con sus obligaciones. Si el suministrador no cumple con sus obligaciones en dicho plazo último, el comprador de la instalación podrá, por cuenta y riesgo del suministrador, realizar por sí mismo las oportunas reparaciones, o contratar para ello a un tercero, sin perjuicio de la reclamación por daños y perjuicios en que hubiere incurrido el suministrador.

Anulación de la garantía:

La garantía podrá anularse cuando la instalación haya sido reparada, modificada o desmontada, aunque sólo sea en parte, por personas ajenas al suministrador o a los servicios de asistencia técnica de los fabricantes no autorizados expresamente por el suministrador.

Lugar y tiempo de la prestación:

Cuando el usuario detecte un defecto de funcionamiento en la instalación lo comunicará fehacientemente al suministrador. Cuando el suministrador considere que es un defecto de fabricación de algún componente lo comunicará fehacientemente al fabricante.

El suministrador atenderá el aviso en un plazo máximo de 48 horas si la instalación no funciona, o de una semana si el fallo no afecta al funcionamiento.

Las averías de las instalaciones se repararán en su lugar de ubicación por el suministrador. Si la avería de algún componente no pudiera ser reparada en el domicilio del usuario, el componente deberá ser enviado al taller oficial designado por el fabricante por cuenta y a cargo del suministrador.

El suministrador realizará las reparaciones o reposiciones de piezas con la mayor brevedad posible una vez recibido el aviso de avería, pero no se responsabilizará de los perjuicios causados por la demora en dichas reparaciones siempre que sea inferior a 15 días naturales.



9. PRESUPUESTO Y MEDICIONES

Hemos dividido los costes de la instalación en cuatro partes:

1- Sistema fotovoltaico

2- Cableado

3- Protección eléctrica

4- Protección intemperie

Nº	Concepto	Cantidad	Uni. De medida	Precio unitario (€)	Importe total (€)
1.1	Módulo fotovoltaico ISF-150	18	u	270,00	4.860,00
1.2	Soporte STG80 para módulos fotovoltaicos	6	u	65,19	391,14
1.3	Batería AMG 12/270	20	u	287,80	5.756,00
1.4	Regulador Steca Tarom 440	2	u	335,00	670,00
1.5	Steca PA 15 Control Remoto	1	u	157,00	157,00
1.6	Inversor Steca Xtender XTM 48/4000	1	u	2.840,00	2.840,00
1.7	Grupo electrógeno Genergy 50S230	1	u	1.489,00	1.489,00
TOTAL SISTEMA FOTOVOLTAICO					16.163,14

Nº	Concepto	Cantidad	Uni. De medida	Precio unitario (€)	Importe total (€)
2.1	Cable flexible negro 1.5mm PVC	40	m	0,15	6,00
2.2	Cable flexible azul 1.5mm PVC	40	m	0,15	6,00
2.3	Cable flexible tierra 1.5mm PVC	40	m	0,15	6,00
2.4	Cable flexible negro 2.5mm PVC	50	m	0,18	9,0
2.5	Cable flexible azul 2.5mm PVC	50	m	0,18	9,0
2.6	Cable flexible tierra 2.5mm PVC	50	m	0,18	9,0
2.7	Cable flexible negro 4mm PVC	10	m	0,2	2,0
2.8	Cable flexible azul 4mm PVC	10	m	0,2	2,0
2.9	Cable flexible tierra 4mm PVC	10	m	0,2	2,0
2.10	Cable flexible negro 6mm PVC	8	m	0,22	1,8



2.11	Cable flexible azul 6mm PVC	8	m	0,22	1,8
2.12	Cable flexible tierra 6mm PVC	8	m	0,22	1,8
2.13	Cable CC rojo 2,5mm2	3,5	m	0,25	0,9
2.14	Cable CC negro 2,5 mm2	3,5	m	0,25	0,9
2.15	Cable CC rojo 4mm2	1,3	m	0,3	0,4
2.16	Cable CC negro 4mm2	1,3	m	0,3	0,4
2.17	Cable CC rojo 6mm2	6	m	0,35	2,1
2.18	Cable CC negro 6mm2	6	m	0,35	2,1
2.19	Cable CC rojo 10mm2	1,5	m	0,45	0,7
2.20	Cable CC negro 10mm2	1,5	m	0,45	0,7
2.21	Cable CC rojo 25mm2	8	m	0,6	4,8
2.22	Cable CC negro 25mm2	8	m	0,6	4,8
2.23	Conductor de tierra 35mm2	20	m	1,8	36,0
TOTAL CABLEADO				109,96	

Nº	Concepto	Cantidad	Uni. De medida	Precio unitario (€)	Importe total (€)
3.1	fusible Zoloda 22x58MM GL-GG 63A	2	u	1,2	2,40
3.2	fusible Zoloda 22x58MM GL-GG 80A	1	u	1,4	1,40
3.3	interruptor magnetotérmico CC 63A	1	u	25,3	25,30
3.4	PIA 6kA - EP60 10A 2P	1	u	6,9	6,90
3.5	PIA 6kA - EP60 16A 2P	3	u	6,9	20,70
3.6	PIA 6kA - EP60 25A 2P	1	u	6,9	6,90
3.7	interruptor diferencial 25A 0,63kA	1	u	64,54	64,54
3.8	pica de tierra Sofamel	2	u	32,5	65,00
TOTAL PROTECCIÓN ELÉCTRICA				193,14	



Nº	Concepto	Cantidad	Uni. De medida	Precio unitario (€)	Importe total (€)
4.1	canaleta protectora 40x25mm	15	m	3,1	46,50
4.2	caja estanca 153x110x65mm	3	u	3,5	10,50
4.3	Tubo corrugado pvc 16mm	40	m	1,5	60,00
4.4	Tubo corrugado pvc 20mm	60	m	1,7	102,00
4.5	Tubo corrugado pvc 25mm	8	m	1,9	15,20
4.6	Tubo PVC rígido 32mm	8	m	2,7	21,60
TOTAL PROTECCIÓN INTENMPERIE					255,80

SUMA PARCIAL DE LAS PARTIDAS REALIZADAS 16722,04€

IMPREVISTOS 8% 1337,76€

GASTOS GENERALES 13% 2173,87€

BENEFICIO INDUSTRIAL 6% 1003,32€

MANO DE OBRA 2150,00€

IMPORTE DEL PROYECTO Y DIRECCION DE OBRA 500,00€

SUBTOTAL 23886,99€

IVA 18% 3821,92€

IMPORTE TOTAL 27.708,91 €

El presupuesto para la electrificación de la vivienda mediante la instalación de un sistema fotovoltaico asciende a 27.708,91 euros.



Gráfica presupuestaria:

A continuación se muestra una gráfica que representa las proporciones de los costes de los principales elementos del sistema fotovoltaico:

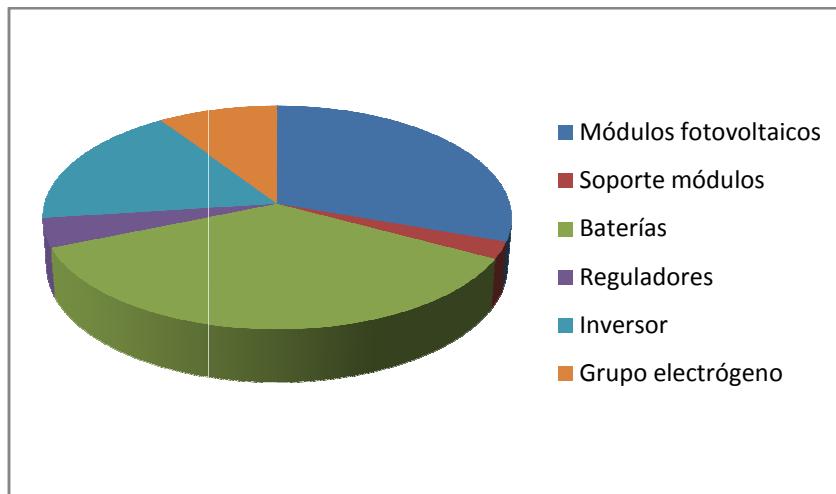


Fig.9.1. Gráfica presupuestaria

Como podemos observar lo más costoso de la instalación es el sistema de acumulación seguido de los módulos fotovoltaicos, con el tiempo los paneles solares fotovoltaicos reducirán de forma progresiva sus precios ya que se están investigando nuevas tecnologías que se estima que podrán cambiar totalmente las cosas.



10. CONCLUSIONES

Tras realizar el dimensionado de toda la instalación y valorar económicamente tanto el sistema diseñado como las posibles alternativas, se puede concluir que la utilización de la energía solar fotovoltaica para el abastecimiento de energía de una vivienda es una alternativa viable en cuanto a su diseño y construcción, cumpliendo toda la normativa aplicable y ofreciendo, para el caso que nos ocupa y la zona geográfica concreta, un buen rendimiento.

Esta alternativa es la más económica y la más viable de entre las posibles, con unos mínimos costes de operación y mantenimiento, y que no se ven afectados por el alza de productos como la electricidad o los combustibles fósiles, fuentes de energía que se encarecen año tras año significativamente.

En cuanto al compromiso con el medio ambiente, la energía producida es de origen renovable y no produce ninguna emisión gaseosas a la atmósfera, destrucción de flora y fauna, residuos tóxicos y peligrosos vertidos al sistema de saneamiento. Únicamente se emitirá CO₂ cuando se encienda en grupo diesel, pero esto ocurrirá en momentos puntuales, por lo que la emisión de CO₂ será ínfima.

En definitiva, los avances tecnológicos y la reducción de costes hacen de esta energía ecológica una opción cada vez más interesante para los consumidores un sistema de producción de energía limpia y respetuosa con el medio ambiente.



11. BIBLIOGRAFÍA

- [1] “Energía solar fotovoltaica: cálculo de una instalación aislada”. Miguel Pareja Aparicio.
- [2] “Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión”
- [3] “Fotovoltaica para profesionales: Diseño, instalación y comercialización de plantas solares fotovoltaicas”. Falk Antony, Christian Dürscher y Karl-Heinz Remmers.
- [4] “Guía completa de la energía solar fotovoltaica: (adaptada al Código Técnico de la Edificación)”. José M. Fernández Salgado.
- [5] “El sol puede ser suyo” IDAE
- [6] “Plan de energías renovables 2011-2012” IDAE
- [7] “Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones Aisladas de Red”. IDAE
- [8] “PFC: Instalación fotovoltaica de un hotel rural”. María Vela Hernández
- [9] “PFC: Análisis y diseño de una instalación fotovoltaica de 20 kW en un edificio singular”. Álvaro García-Heras Pino
- [10] “Energía solar fotovoltaica en la Comunidad de Madrid”. ASIF
- [11] “Guía completa de energía solar fotovoltaica y termoeléctrica: (adaptada al Código Técnico de la Edificación y la nuevo RITE)”. José M. Fernández Salgado.
- [12] “Instalaciones eléctricas en media y baja tensión”. José García Trasancos.

Páginas Web:

<http://maps.google.es/>

<http://www.idae.es>

<http://www.teknosolar.com>

<http://www.stecasolar.com>

<http://www.suntechnics.com>

<http://www.gepowercontrols.com>

<http://www.solarweb.net>



<http://www.isofoton.com>

<http://www.asif.org>

<http://www.censolar.es>

<http://www.cne.es>

Apuntes:

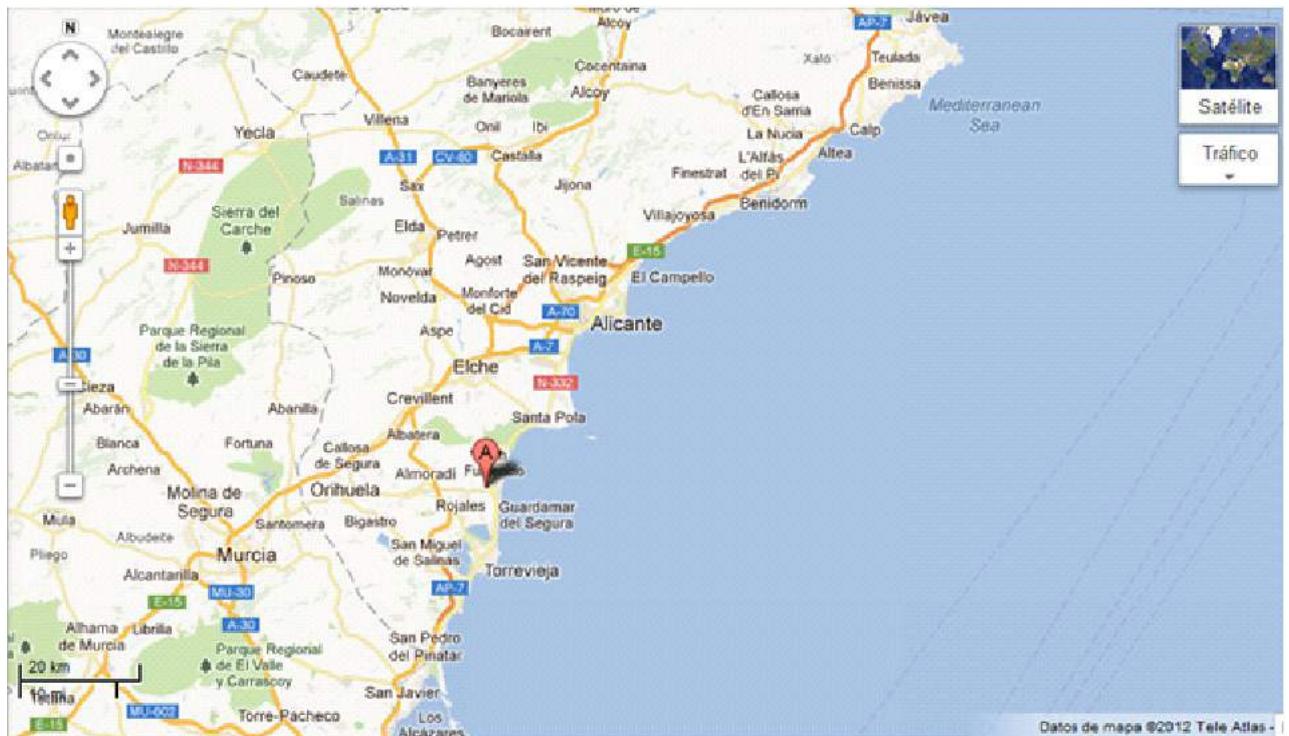
Asignatura “Generación Eólica y Fotovoltaica”. Universidad Carlos III de Madrid.
Curso 2011- 2012.



12. PLANOS

A continuación se adjuntan los planos de la instalación, dónde se encuentran:

1. Localización de la instalación
2. Cubierta
3. Planta de la vivienda y caseta
4. Esquema multifilar de la instalación fotovoltaica
5. Cuadro de protecciones de C.A.
6. Colocación de módulos fotovoltaicos sobre el tejado

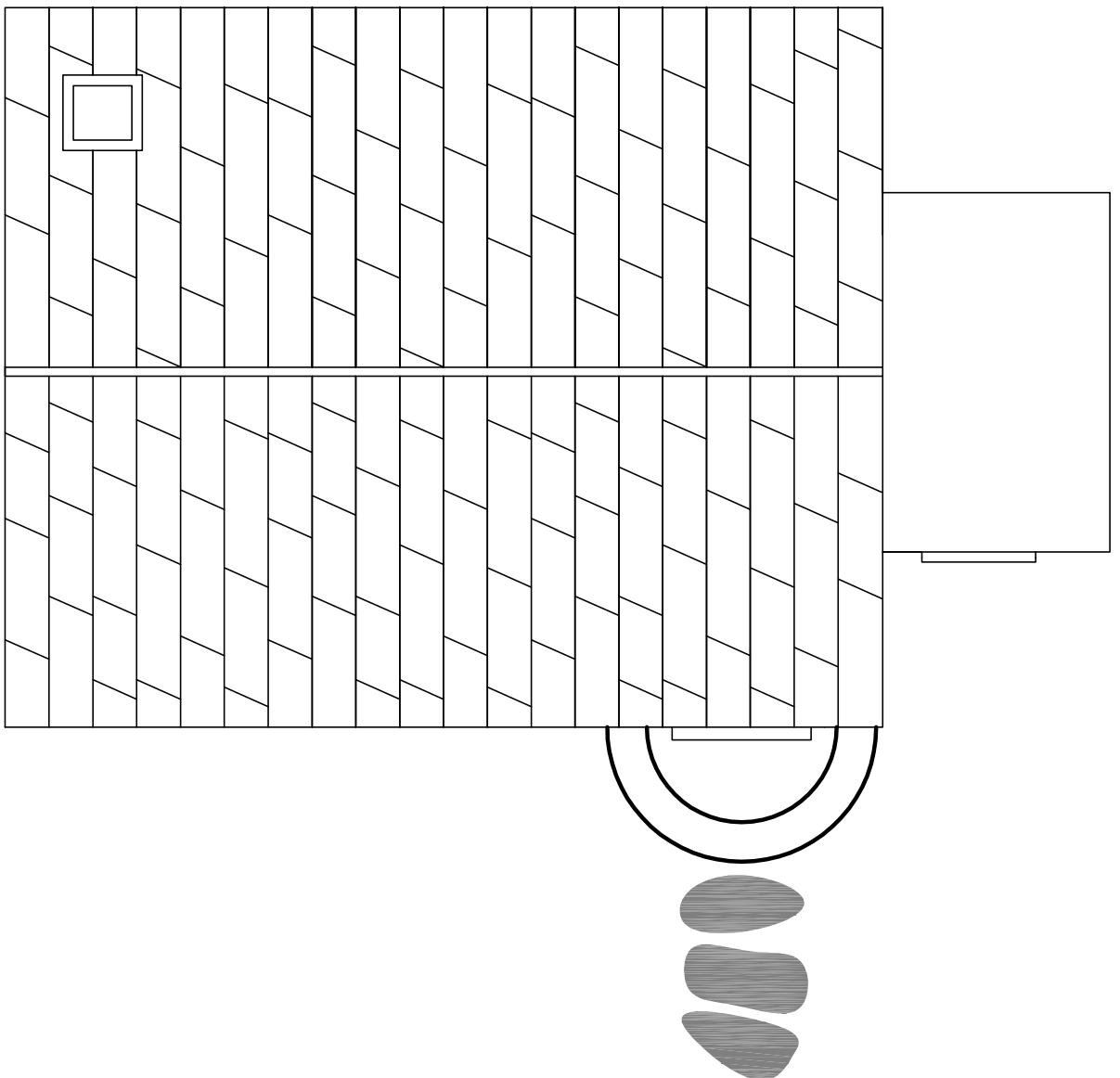


Datos de mapa ©2012 Tele Atlas -

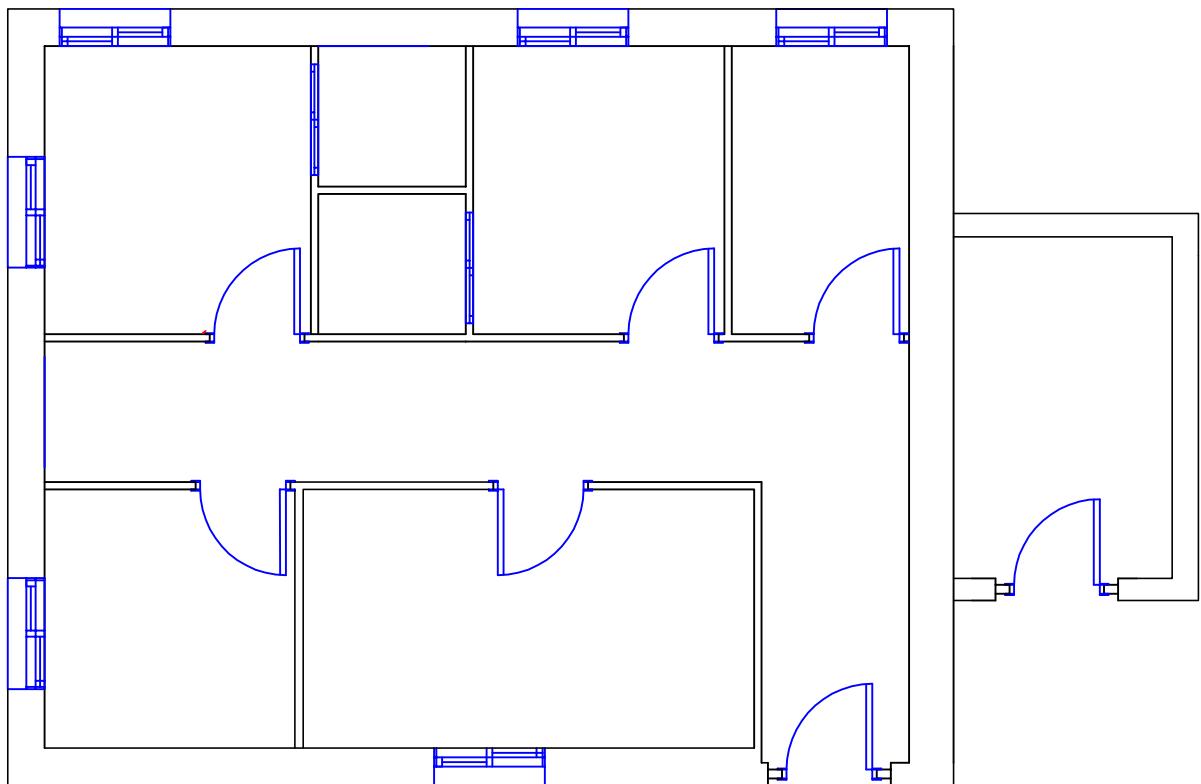


Imágenes ©2012 GeoEye. Datos de mapa ©2012 Tele Atlas -

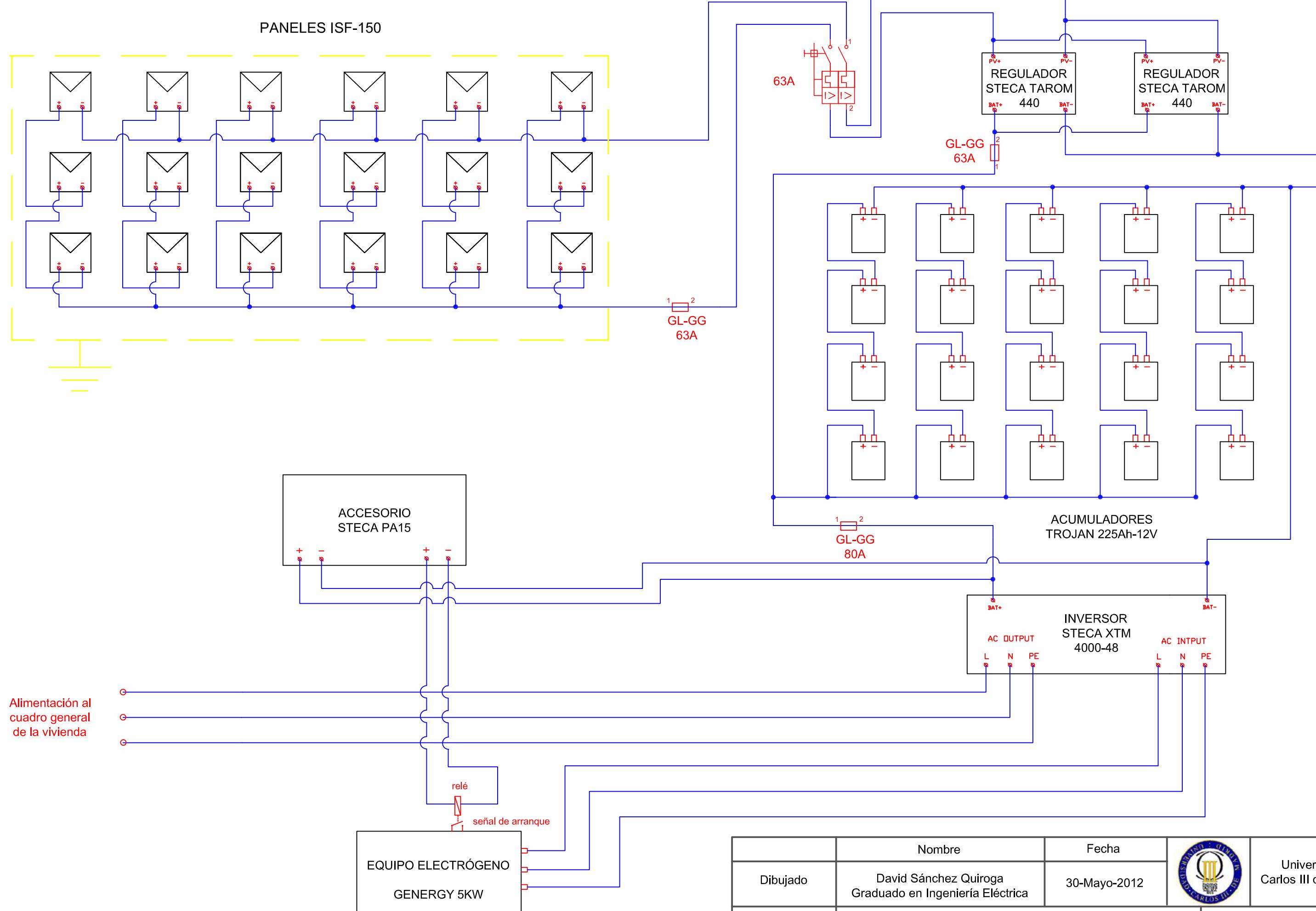
	Nombre	Fecha	Universidad
Dibujado	David Sánchez Quiroga Graduado en Ingeniería Eléctrica	30-Mayo-2012	Universidad Carlos III de Madrid
Escala	LOCALIZACIÓN DE LA VIVIENDA		Nº Plano: 1
			Sustituye a:
			Sustituido por:



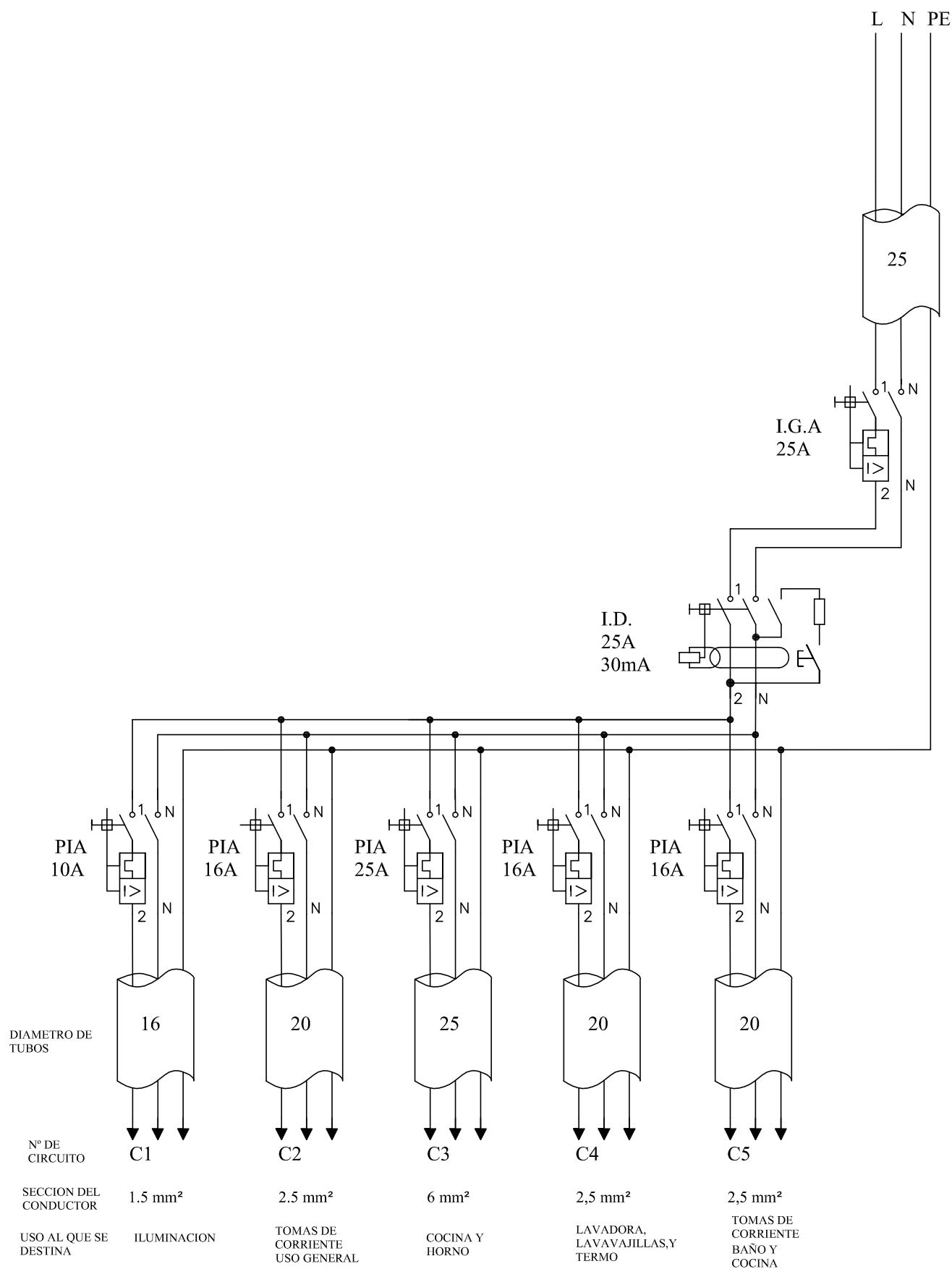
	Nombre	Fecha	Universidad Carlos III de Madrid
Dibujado	David Sánchez Quiroga Graduado en Ingeniería Eléctrica	30-Mayo-2012	
Escala			Nº Plano: 2
1:100	CUBIERTA		Sustituye a:
			Sustituido por:



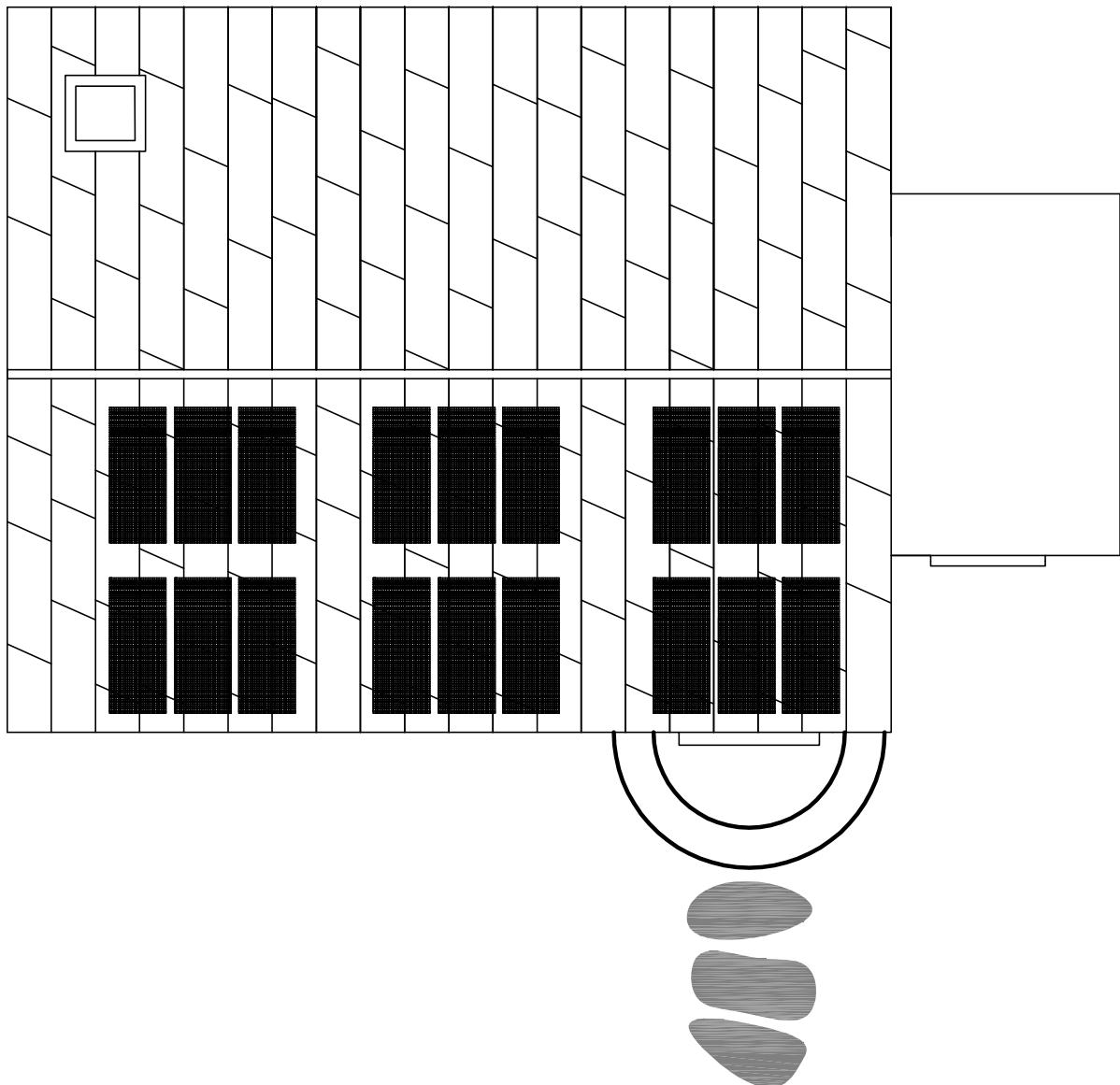
	Nombre	Fecha		Universidad Carlos III de Madrid
Dibujado	David Sánchez Quiroga Graduado en Ingeniería Eléctrica	30-Mayo-2012		
Escala 1:100	PLANTA DE LA VIVIENDA Y CASETA		Nº Plano: 3	Sustituye a: Sustituido por:



Dibujado	Nombre	Fecha	Universidad Carlos III de Madrid
	David Sánchez Quiroga Graduado en Ingeniería Eléctrica	30-Mayo-2012	
Escala	ESQUEMA MULTIFILAR DE LA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA		
	Nº Plano: 4		
	Sustituye a:		
	Sustituido por:		



	Nombre	Fecha	Universidad Carlos III de Madrid
Dibujado	David Sánchez Quiroga Graduado en Ingeniería Eléctrica	30-Mayo-2012	
Escala	Nº Plano: 5		
Sustituye a:			
Sustituido por:			
CUADRO DE PROTECCIONES DE C.A.			



	Nombre	Fecha	Universidad Carlos III de Madrid
Dibujado	David Sánchez Quiroga Graduado en Ingeniería Eléctrica	30-Mayo-2012	
Escala 1:100	COLOCACIÓN DE LOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS SOBRE EL TEJADO		Nº Plano: 6 Sustituye a: Sustituido por: