

## 6. Estudio y dimensionado del sistema solar fotovoltaico.



## **6. ESTUDIO Y DIMENSIONADO DEL SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO**

### **6.1. DATOS DE PARTIDA.**

El primer dato del cual partiremos para el dimensionado de la instalación fotovoltaica será la compatibilidad permitida según el planeamiento urbanístico municipal vigente de El Verger, ya que nos determinará la posible instalación de la cubierta con paneles fotovoltaicos para generar energía eléctrica.

En segundo lugar nos basaremos en la producción de energía eléctrica, a través del sistema solar fotovoltaico, para la venta de la electricidad a la red general eléctrica. Ya que según la actual utilización de la energía fotovoltaica solo está permitido el uso de instalaciones conectadas a red o instalaciones en lugares aislados a la red. (Según la AVEN).

Dimensionaremos una instalación fotovoltaica que cubra las necesidades de la vivienda de estudio, aunque la energía producida no sea consumida por la edificación sino que esta será vertida a la red eléctrica. Para ello tomaremos una potencia nominal de 7 kWp.

### **6.2. INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA CONECTADA A LA RED.**

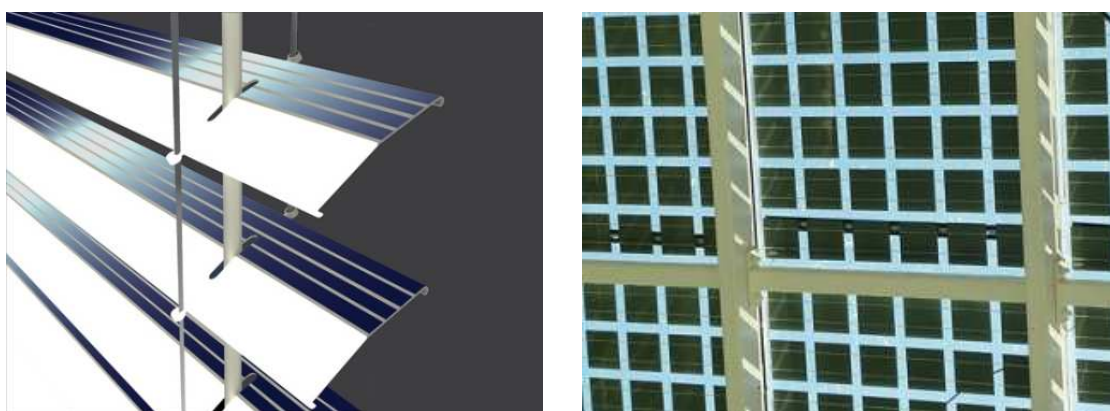
#### **6.2.1. INTRODUCCIÓN.**

La mayoría de los sistemas fotovoltaicos en edificios (viviendas, centros comerciales, naves industriales...) se montan sobre tejados y cubiertas, pero se espera que un creciente número de instalaciones se integren directamente en el cerramiento de los inmuebles, incorporándose a tejas u otros materiales de construcción.

Los sistemas fotovoltaicos sobre tejados y cubiertas son de pequeño a mediano tamaño, esto es de 5 kW a 200 kW aunque a veces se supera este valor y se alcanzan dos o tres MW. Los sistemas fotovoltaicos también pueden reemplazar directamente a los componentes convencionales de las fachadas. Las fachadas solares son elementos enormemente fiables que aportan un diseño moderno e innovador al edificio y, al mismo tiempo, producen electricidad. En varios países son elementos que contribuyen a la imagen de prestigio y al prestigio corporativo de las empresas. Asimismo la fotovoltaica puede integrarse en otros elementos de la construcción: lamas parasoles, lucernarios, pérgolas, marquesinas, etc.



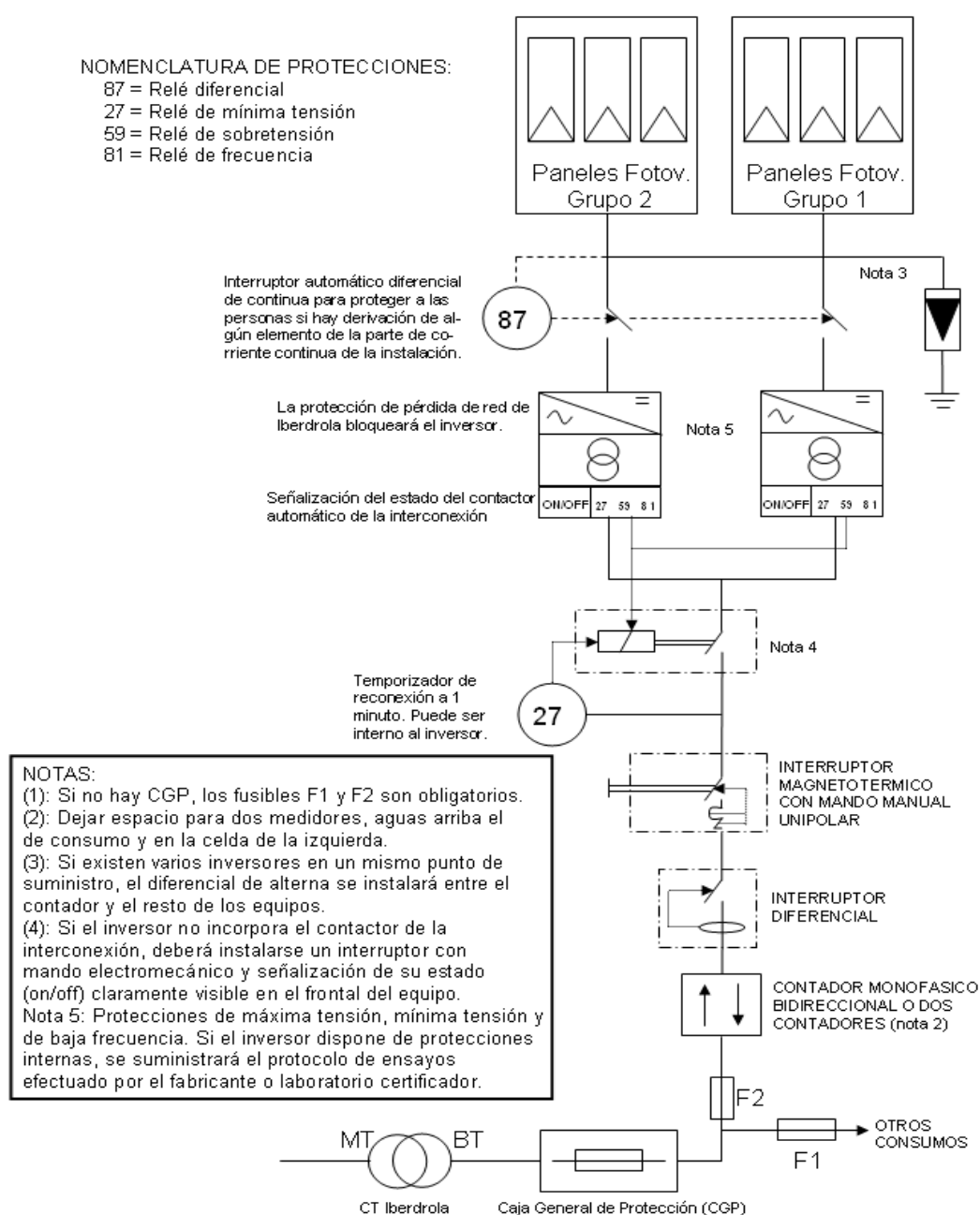
**Figura 6.1.** Teja mixta y curva con paneles fotovoltaicos integrados.



**Figura 6.2.** Persiana y claraboya con paneles fotovoltaicos integrados.

El esquema unifilar básico del sistema fotovoltaico conectado a la red de baja tensión y que no contempla la posibilidad de interconectar con los cuadros de distribución de consumo interno sería el siguiente:

### CONEXION A RED DE IBERDROLA DE BT (EL INVERSOR DISPONE DE PROTECCIONES INTERNAS)



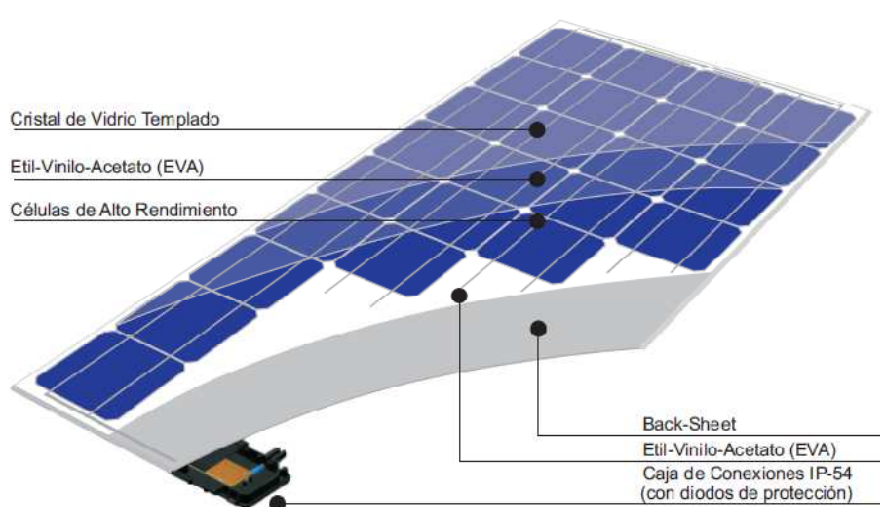
**Figura 6.3.** Esquema básico de un sistema fotovoltaico conectado a la red (IBERDROLA)

## 6.2.2 ELEMENTOS DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO.

Los elementos que conforman una instalación de un sistema fotovoltaico son los siguientes:

### **Generador fotovoltaico.**

Que transforma la energía solar en energía eléctrica. Está constituido por paneles solares y estos a su vez están formados por varias células iguales conectadas eléctricamente entre si, en serie y/o en paralelo, de forma que la tensión y corriente suministradas 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. Además, el panel cuenta con otros elementos a parte de las células solares, 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.



**Figura 6.4.** Detalle de la estructura y composición del generador fotovoltaico.

Normalmente, un modulo fotovoltaico estándar de mercado está formado por una asociación de 33 a 36 células en serie y un voltaje nominal de 12 Vcc. Actualmente encontramos en el mercado módulos con el doble o triple de células y que pueden funcionar a otros voltajes de salida (24V, 36V).

### **Inversor.**

Es el equipo encargado de transformar la energía recibida del generador fotovoltaico (en forma de corriente continua) y adaptarla a las condiciones requeridas según el tipo de cargas, normalmente en corriente alterna y el posterior suministro a la red. Los inversores vienen caracterizados principalmente por la tensión de entrada, que se debe adaptar al generador, la potencia máxima que puede proporcionar y la eficiencia. Esta última se define como la relación entre la potencia eléctrica que el inversor entrega a la utilización (potencia de salida) y la potencia eléctrica que extrae del generador (potencia de entrada).

Aspectos importantes que habrán de cumplir los inversores: Deberán tener una eficiencia alta, pues en caso contrario se habrá de aumentar innecesariamente el número de paneles para alimentar la carga. Estar adecuadamente protegidos contra cortocircuitos y sobrecargas. Incorporar rearme y desconexión automáticos. Admitir demandas instantáneas de potencia mayores del 150% de su potencia máxima. Cumplir con los requisitos, que establece el Reglamento de Baja Tensión. Baja distorsión armónica. Bajo consumo. Aislamiento galvánico. Sistema de medidas y monitorización.



**Figura 6.5.** Detalle de un inversor para conexión a red.

### **Equipo de medida.**

Es el encargado de controlar numéricamente la energía generada y volcada a la red para que con los datos obtenidos se puedan facturar a la Compañía a los precios acordados.

### **Estructura de soporte de las placas.**

El bastidor es el encargado de sujetar el panel solar, y muchas veces será un kit de montaje para instalarlo adecuadamente. En el caso de que no se suministrara en kit el instalador lo realizará de acuerdo a la normativa existente, además de tener en cuenta la fuerza del viento entre otras cosas. La estructura deberá soportar como mínimo una velocidad del viento de 150 Km/h. Esta estructura es la que fijará la inclinación de los paneles solares. Hay varios tipos de estructuras: desde un simple poste que soporta 4 paneles solares, hasta grandes estructuras de vigas aptas para aguantar varias decenas de ellos.

Habitualmente la estructura como los soportes son de acero inoxidable, hierro galvanizado o aluminio anodinado, de un espesor de chapa 1mm. dejando una separación mínima entre los paneles y la superficie horizontal o inclinada de apoyo



**Figura 6.6.** Detalle de estructura de apoyo de paneles fotovoltaicos en cubierta inclinada.

### **Caja General de Protección.**

La caja general de protección es la encargada de salvaguardar toda la instalación eléctrica de un posible cortocircuito o punta de intensidad la cuál afectaría a todos los componentes conectados a la red. Esta caja general de protección podrá llevar tanto protecciones térmicas como fusibles.

### **Puesta a tierra.**

La puesta a tierra de la instalación es muy importante ya que delimita la tensión que pueda presentarse en un momento dado en las masas metálicas de los componentes, asegurando la actuación de las protecciones y eliminando el riesgo que supone el mal funcionamiento o avería de alguno de los equipos. Las tomas a tierra se establecen principalmente a fin de limitar la tensión que puedan presentar en un momento dado las masas metálicas, asegurar la actuación de las protecciones y eliminar o disminuir el riesgo que supone una avería en los materiales eléctricos utilizados.

### **Cableado de Interconexión.**

Es el encargado de conectar los distintos paneles solares con las cajas de interconexión y con otra instrumentación.

Este cableado de paneles se realizará con materiales de alta calidad para que se asegure la durabilidad y la fiabilidad del sistema a la intemperie. El cableado evidentemente tendrá que cumplir con el reglamento técnico de

baja tensión. Las conexiones, cables, equipos y demás elementos tendrán que tener el grado de protección IP.535, concepto que se define en la norma UNE 20-234.

Los cables utilizados tendrán una última capa de protección con un material resistente a la intemperie y la humedad, de tal forma que no le afecten internamente los agentes atmosféricos. Entre las conexiones eléctricas entre paneles usaremos siempre terminales. Los terminales de los paneles pueden ser bornas en la parte de detrás del panel o estar situados en una caja de terminales a la caja espalda del mismo. En el primer caso tendremos capuchones de goma para la protección de los terminales contra los agentes atmosféricos. La caja de terminales es una buena solución en el caso de que cumpla con el grado de protección IP.535. En instalaciones donde se monten paneles en serie y la tensión sea igual o mayor a 24V instalaremos diodos de derivación.

La sección del cable de conexión no debe de ser superior a 6mm. Es necesario también cuidar los sistemas de paso de los cables por muros y techos para evitar la entrada de agua en el interior. Las técnica y tendido para la fijación de los cables han de ser las habituales en una instalación convencional. Los conductor pueden ir bajo tubo al aire, en el primer caso puede ir empotrado o no. La sujeción se efectuará mediante bridas de sujeción, procurando no someter una excesiva doblez a los radios de curvatura. Los empalmes se realizarán con accesorios a tal efecto, usando cajas de derivación siempre que sea posible.

### **Acometida eléctrica.**

Es la parte de la instalación de red de distribución, que alimenta la caja general de protección o unidad funcional equivalente (CGP). Los conductores serán de cobre o aluminio. Esta línea está regulada por la ITC-BT-11. Atendiendo su trazado, al sistema de instalación y a las características de la red, la acometida será subterránea. Los cables serán aislados, de tensión asignada 0,6/1 KV, y podrán instalarse directamente enterrados o enterrados bajo tubo.

Se remarca que la acometida será parte de la instalación constituida por la Empresa Suministradora, por lo tanto el diseño y trazado se basará en las normas propias y particulares de la misma. El centro de transformación al que se conectará la instalación es objeto de un proyecto totalmente diferenciado y que se ajustará a las mejores condiciones de servicio propuestas por la Empresa Distribuidora.

### **Instalación de enlace.**

La instalación de enlace la podemos subdividir en:

➤ *Caja de protección y medida.*

Por tratarse de un suministro a un único usuario, se colocará en un único conjunto la caja general de protección y el equipo de medida. El fusible de seguridad situado antes del contador coincidirá con el fusible que incluye una CGP.

Las cajas de protección y medida se instalarán en lugares de libre y permanente acceso. La situación se fijará de común acuerdo entre la propiedad y la empresa suministradora. Se instalará un nicho de pared, que se cerrará con una puerta metálica, con un grado de protección IP10 según UNE-EN 50.102, revestida exteriormente de acuerdo con las características del entorno y estará protegida contra la corrosión, disponiendo de una cerradura normalizada por la empresa suministradora.

Los dispositivos de lectura de los Equipos se situarán en una altura comprendida entre 0,70 y 1,80 m. Se dejarán previstos los orificios necesarios para alojar los conductos de entrada a la acometida.

Las cajas de protección y medida a utilizar corresponderán a uno de los tipos recogidos en las especificaciones técnicas de la empresa suministradora. Dentro de los mismos se instalarán cortacircuitos fusibles en los conductores de fase, con poder de corte igual o superior a la corriente de cortocircuito previsto en el punto de instalación.

Las cajas de protección y medida cumplirán todo lo que indica en la Norma UNE-EN 60.349-1, y tendrán un grado de protección IP43 según UNE 20.324 Y IK 09 según UNE-EN 50.102 y serán precintables. La envolvente deberá disponer de la ventilación interna necesaria que garantice la no formación de condensaciones. El material transparente para la lectura será resistente a la acción de los rayos ultravioleta. Las disposiciones generales de este tipo de caja quedan recogidas en la ITC-BT-13. El contador será de cuatro cuadrantes y dispondrá de un código de barras que será proporcionado por la compañía eléctrica.

➤ *Dispositivos generales e individuales de comando y protección.*

Los dispositivos generales de mando y protección se situarán lo más cerca posible del punto de entrada de la derivación individual. Se colocará una caja para el interruptor de control de potencia inmediatamente antes de los otros dispositivos, en compartimiento independiente y precintable. Esta caja se podrá colocar en el mismo cuadro donde se coloquen los dispositivos generales de comando y protección.

La altura a la que se situarán los dispositivos generales e individuales de comando y protección de los circuitos, medida desde el nivel del suelo, estará comprendida entre 1 y 2 metros. Los envoltentes de los cuadros se ajustarán a las normas UNE 20.451 Y UNE-EN 50493-3, con un grado de protección mínimo de IP 30 según UNE 20.324 y IK07 según UNE-EN 50.102. El envoltente para el interruptor del control de potencia será precintable y sus dimensiones estarán de acuerdo con el tipo de suministro y tarifa a aplicar. Sus características y tipo serán de un modelo aprobado oficialmente.

El instalador fijará de forma permanente sobre el cuadro de distribución una placa, impresa con caracteres indelebles, en la cual conste su nombre o marca comercial, fecha de realización de la instalación, así como la intensidad asignada del interruptor general automático.

Los dispositivos generales e individuales de comando y protección serán, como mínimo:

Un interruptor general automático de corte omnipolar, de intensidad nominal 160 A que permite su accionamiento manual y dotado de elementos de protección contra sobrecarga y cortocircuitos según (ITC-BT-22). Tendrá poder de corte suficiente para la intensidad de corto circuito que pueda producirse en cualquier punto de la instalación.

Un relé diferencial general, con transformador toroidal asociado al interruptor general, destinado a la protección contra contactos indirectos de todos los circuitos (según ITC-BT-24).

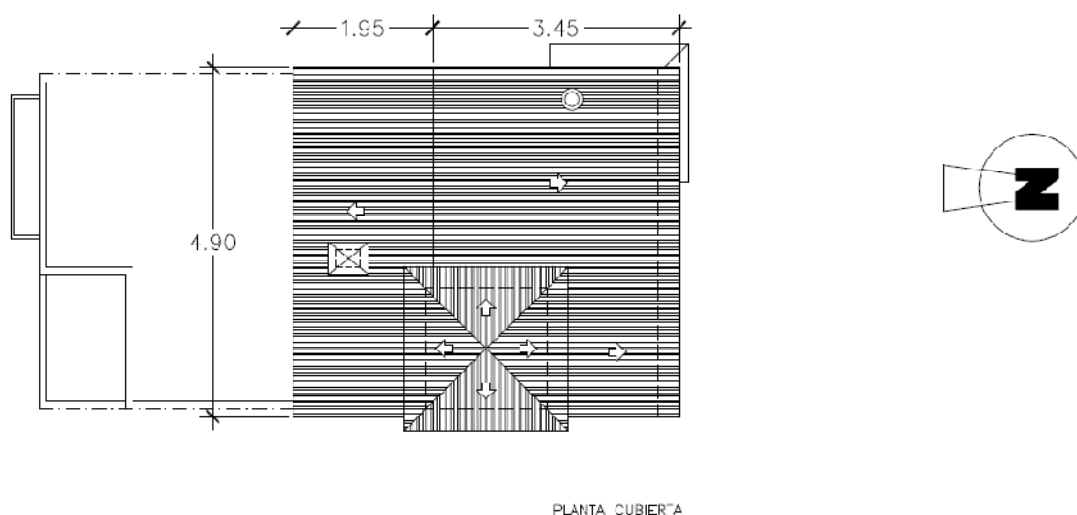
### 6.3. DIMENSIONADO DE LA INSTALACION FOTOVOLTAICA.

#### 6.3.1. OBJETIVO DE LA INSTALACIÓN

Nuestro objetivo es intentar colocar los módulos fotovoltaicos sobre la cubierta inclinada de la vivienda, sin necesidad de ocupar la terraza de planta 1ª ni la superficie de parcela ajardinada en la parte posterior que posee la vivienda, ya que no se nos permite la colocación de los paneles en planta baja. La distribución de los módulos sobre la cubierta se ha de realizar con el fin de maximizar la producción anual de energía. Los principales parámetros que afectan al rendimiento de una instalación solar son:

- Orientación.
- Inclinación.
- Sombras sobre los módulos fotovoltaicos.
- Pérdidas eléctricas.
- Ventilación de los módulos fotovoltaicos.

La vivienda donde se situarán los módulos fotovoltaicos, tiene una orientación Sur, siendo esta la orientación óptima, para un mayor rendimiento.



**Figura 6.7.** Detalle de las dimensiones y orientación de los faldones de cubierta.

La inclinación de la placa es la misma que la de la cubierta. En este caso es de unos  $30^\circ$ , con respecto a la horizontal.

Dada la forma de la cubierta a dos aguas, intentaremos usar únicamente el faldón orientado al Sur para obtener el mayor rendimiento y evitar sombras únicamente. Con lo que obtenemos una superficie total de  $11,50 \text{ m}^2$ , para colocar nuestros paneles.

Se trata de una instalación solar fotovoltaica de 7 kw de potencia nominal de conexión a la red eléctrica.

### 6.3.2. RADIACIÓN INCIDENTE.

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

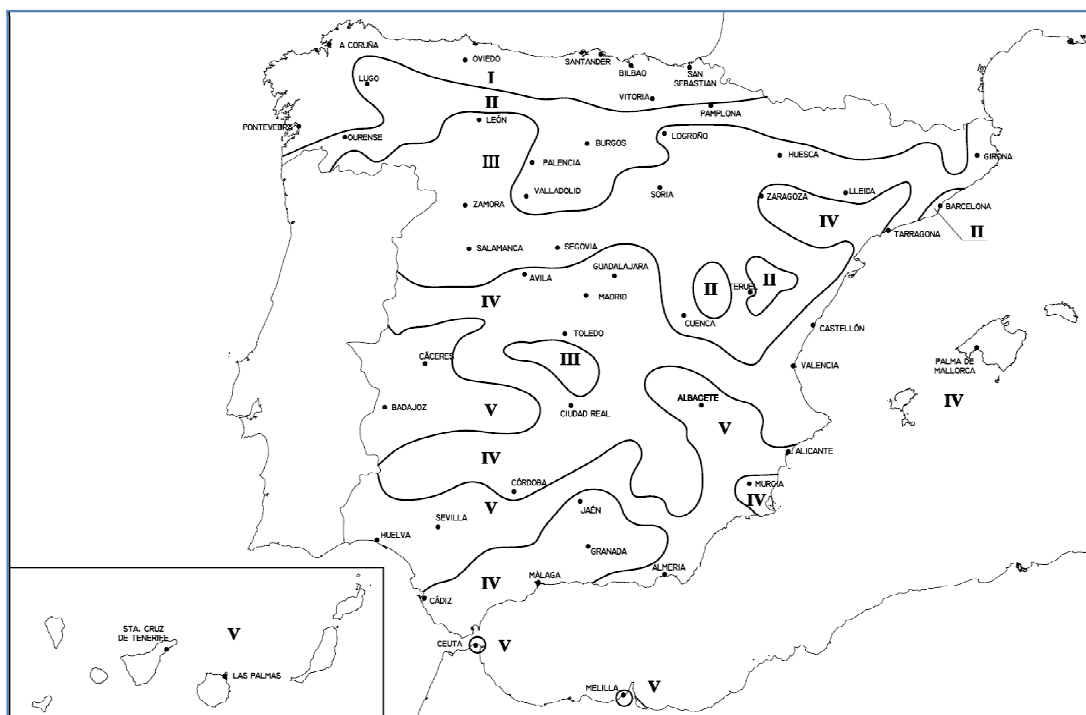
condiciones de irradiación el valor es de aproximadamente  $1000 \text{ W/m}^2$  en la superficie terrestre. A esta potencia se la conoce como irradiancia.

Para calcular la radiación incidente, se utilizarán las tablas de radiación que determinan la radiación incidente, el lugar, la inclinación y la orientación determinada.

Si nos acogemos las zonas climáticas indicadas en la Sección 5 del CTE (Contribución mínima de energía eléctrica), obtenemos que:

ALICANTE	Alcoy	IV
	Alicante	V
	Benidorm	IV
	Crevillent	V
	<b>Denia</b>	<b>IV</b>

**Figura 6.8.** Tabla zonas climáticas CTE-HE5



**Figura 6.9.** Mapa zonas climáticas CTE-HE5

Para el cálculo de la radiación incidente usaremos las tablas referidas a la zona IV, ya que es donde se encuentra nuestra vivienda. Por lo que obtenemos la siguiente tabla:

Radiación HSP (KWh/m <sup>2</sup> .día)														
Ang	En.	Fe.	Ma.	Ab.	Ma.	Ju.	Jl.	Ag.	Se.	Ob.	No.	Di.	R. Anual	Inviern
20,00	3,58	4,08	5,25	5,89	6,14	6,44	6,67	6,19	5,64	4,56	3,67	3,06	1833,89	728,89
25,00	3,81	4,25	5,36	5,89	6,06	6,28	6,53	6,17	5,69	4,72	3,89	3,28	1859,44	763,89
30,00	4,03	4,42	5,47	5,86	5,92	6,11	6,36	6,08	5,75	4,86	4,08	3,47	1874,44	793,89
35,00	4,22	4,56	5,53	5,81	5,75	5,92	6,17	5,97	5,78	5,00	4,28	3,67	1878,61	818,89
40,00	4,39	4,64	5,56	5,72	5,58	5,69	5,94	5,83	5,75	5,08	4,42	3,81	1872,22	838,89
45,00	4,53	4,72	5,53	5,58	5,36	5,42	5,69	5,67	5,69	5,14	4,53	3,94	1855,28	853,33
50,00	4,64	4,78	5,50	5,42	5,14	5,14	5,42	5,47	5,61	5,17	4,61	4,06	1827,78	862,50
55,00	4,69	4,78	5,42	5,22	4,89	4,86	5,14	5,25	5,47	5,14	4,69	4,11	1790,00	866,39
60,00	4,75	4,78	5,31	5,03	4,58	4,53	4,81	5,00	5,33	5,11	4,72	4,17	1742,22	864,44
65,00	4,75	4,72	5,17	4,78	4,31	4,19	4,47	4,69	5,14	5,03	4,72	4,19	1684,72	857,22
70,00	4,75	4,64	5,00	4,50	3,97	3,86	4,11	4,42	4,92	4,94	4,67	4,17	1618,61	844,44

**Tabla 6.1.** HPS relación Angulo/ Radiación incidente.(AVEN)

Escogernos la tercera fila de la tabla, ya que el ángulo de inclinación se estima en 30°.

Observamos que el mes más desfavorable es el de Diciembre con un hps de 3,47 kWh/m<sup>2</sup>.dia y el de mayor radiación es el de Julio con 6,36 kWh/m<sup>2</sup>.dia.

### 6.3.3. TIPO Y NÚMERO DE MÓDULOS NECESARIOS.

Para elegir el tipo de módulo fotovoltaico, tenemos que tener en cuenta que deseamos obtener el rendimiento suficiente como mínimo para abastecer la vivienda en su totalidad, es decir que en su conjunto nos produzcan una potencia nominal máxima de 7 kW. Que es la potencia nominal que debe de tener contratada una vivienda de estas características.

Dentro del amplio mercado existente hemos optado por tomar como referencia el módulo fotovoltaico de A-230P de la casa ATERSA con las siguientes características:

MÓDULO FV ATERSA 230P	
Potencia pico nominal	230W
Tipo de célula	Célula de policristalino de alta eficiencia
Tensión en el punto de máxima P	30,2V
Intensidad en el punto de máxima P	7,62 A
Peso	19 kg
Tensión de circuito Abierto (Voc)	37,40 V
Corriente de cortocircuito (Isc)	8,12A
Condiciones de las medidas	Irradiancia de 1.000 W/m <sup>2</sup> con un espectro solar de AM 1.5G (25°C)
Dimensiones (L x A x a)	1639x 984 x32mm
Tensión máxima admisible	1.000 V

**Tabla 6.2.** Características del módulo FV ATERSA 230P

Por lo tanto para obtener una potencia de 7kW con este tipo de módulo fotovoltaico nos harán falta 30 paneles fotovoltaicos. Con los 30 módulos obtendríamos 6,90 kW, con lo que nos aproximamos a la demanda energética deseada.

Módulo	
Potencia modulo	230 Wp
Numero de módulos por inversor	15 unidades
Número de inversores	2 unidades
TOTAL módulos	30 unidades

**Tabla 6.3.** Cálculo de módulos.

Llegados a este punto podemos observar que en nuestra cubierta no se podrían colocar las 30 unidades necesarias para poder alcanzar los 7kW de potencia deseada para abastecer a la vivienda. Necesitaríamos una superficie mínima de 47,04 m<sup>2</sup> mientras nosotros únicamente contamos con una superficie de 11,05 m<sup>2</sup>.

Aun así vamos a suponer que contamos con esta superficie, ya sea en la parcela como en la cubierta, y así poder valorar la instalación completa de energía fotovoltaica.

#### 6.3.4. CARACTERÍSTICAS DE LA INSTALACIÓN.

Las características de los principales elementos de la instalación serían:

➤ **Módulos fotovoltaicos.**

Las conexiones de módulos fotovoltaicos siguen, evidentemente, las reglas básicas de la electricidad. Se pueden conectar módulos fotovoltaicos en serie, en paralelo y combinando las anteriores por tal de conseguir sumar la potencia de los módulos conectados y a la vez adaptar el funcionamiento al voltaje del circuito.

Por lo tanto la instalación constaría de 3 conjuntos en paralelo de 10 módulos en serie. Cada rama en serie se dimensionará para una intensidad de 7,62 A y la rama general para  $10 \times 7,62 \text{ A} = 76,20 \text{ A}$ .

➤ **Inversores.**

Dentro del amplio mercado de inversores nos hemos decantado por utilizar 2 inversores de la casa SMA modelo SUNNY BOY 4000TL, con una potencia nominal 4KW cada uno.

Inversor	
Potencia Nominal	4,2 kW
Potencia pico máxima	8 kWp
Numero de inversores	2 unidades
Potencia Nominal instalada	8,4 kW

**Tabla 6.4.** Cálculo de inversores.

El inversor SMA SUNNY BOY 4000TL es un equipo diseñado para inyectar en la red eléctrica convencional la energía producida por un generador fotovoltaico. Su principal misión es garantizar la calidad de la energía vertida en la red, así como aglutinar una serie de protecciones tanto para los operarios del mantenimiento de las redes como para el titular de la instalación.

➤ **Estructura de apoyo.**

A menudo, cuando se proyecta una instalación solar fotovoltaica se presta toda la atención a la dimensión y al elegir los módulos fotovoltaicos, y se descuida el diseño y/o selección de los elementos que se encargan de soportar o de fijar estos módulos al suelo, al techo o a la fachada del edificio.

Para el dimensionado del apoyo, tendremos en cuenta las siguientes características:

- Usaremos para la estructura acero inoxidable o de aluminio, ya que es un material estable frente a las agresiones atmosféricas.
- Usaremos tornillos y los elementos de fijación en acero inoxidable. Los tornillos que pongan en contacto físico metales diferentes, tendrán que incorporar casquillos de plástico para evitar corrosiones galvánicas.
- En caso de utilizar soportes de mucha volada o palos cilíndricos los sujetaremos mediante cables de acero para evitar los efectos del viento.
- Además deberemos conectar la estructura a una toma de tierra, que se ajuste a las especificaciones del Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión REBT (Instrucción Técnica MI.BT.039).

#### 6.4. ANÁLISIS ENERGÉTICO.

La potencia pico de la instalación fotovoltaica es de 6,90 kWp. Esta potencia se refiere a unas condiciones estándar de referencia. Para calcular la energía producida es necesario tener en cuenta la inclinación y orientación de los paneles así como otros factores, temperatura, pérdidas por cableado, suciedad, pérdidas del inversor, etc., que se engloban en el Performance Ratio (PR).

Para valorar el Performance Ratio tendremos en cuenta:

- ❖ *Las pérdidas por sombra (FS)*

Para el presente proyecto consideramos que la pérdida por sombras es nulo, ya que no tenemos ningún objeto que nos obstaculice la luz incidente solar sobre los paneles.

- ❖ *Las pérdidas por polución (Fpol)*

Existen pérdidas originadas por los efectos de la actividad humana como pueden ser la industria, el uso de automóviles, etc, que pueden disminuir e influir en la radiación recibida por los módulos solares. En nuestro caso consideraremos un 3% por este efecto.

- ❖ *Las pérdidas en el cableado en corriente continua (FCcc)*

- ❖ *Las pérdidas en cableado de corriente alterna (FCca)*

Ambas pérdidas son por causas que afectan a la conductividad de los materiales eléctricos usados en la instalación, principalmente la disipación de calor por el llamado efecto Joule. Estas pérdidas se pueden valorar entorno a un 2%.

❖ *Las pérdidas por disipación de los módulos (FD)*

La potencia de los módulos no es exactamente la misma y por lo tanto no lo es su intensidad ni su tensión de máxima potencia. Esto trae consigo que al ponerlos en serie se produzcan una pérdida de potencia, en concreto, la intensidad de paso de una cadena en serie de paneles será la menor de todos los paneles que componen la serie. Para minimizar este efecto los módulos se clasifican por su intensidad, lo cual viene indicado con una letra grabada en un adhesivo adherido al marco de un panel, de manera que se puede escoger los paneles similares a la hora de armar las series durante la instalación. Como el fabricante de nuestros paneles garantiza que su potencia está siempre dentro de un rango de  $\pm 3\%$  y teniendo en cuenta la clasificación descrita anteriormente, estimaremos las posibles pérdidas por dispersión de potencia en un 3%.

❖ *Las pérdidas en el inversor (Finv).*

Son las pérdidas causadas por el rendimiento del inversor. Vienen indicadas por el fabricante, en nuestro caso el rendimiento máximo es del 97% por lo que consideramos un 3% en pérdidas.

❖ *Las pérdidas por temperatura (FT)*

El rendimiento de los módulos fotovoltaicos disminuye con el incremento de la temperatura de trabajo a la que están sometidos. Al ser un elemento expuesto a la radiación solar de manera continuada es necesario que exista una buena ventilación tanto por la superficie expuesta como por la parte posterior. Todo y teniendo en cuenta esta premisa el incremento de temperatura que produce puede ser importante. Para el cálculo del factor que considera las pérdidas medias mensuales debidas a la temperatura, "Ltem", se hace uso de la siguiente expresión:

$$L_{tem}=g \times (T_c-25^{\circ}\text{C})$$

Siendo:

g: Coeficiente de temperatura de la potencia, en  $1/^{\circ}\text{C}$ . Este valor viene dado por el fabricante de la placa, si no por defecto se puede coger el valor  $0,0035 / ^{\circ}\text{C}$ .

$T_c$ : Temperatura de trabajo mensual de las placas fotovoltaicas.

Para encontrar la  $T_c$  se utiliza la siguiente expresión

$$T_c=T_{amb} + [ (T_{onc}-20^{\circ}\text{C}) \times E/800 ]$$

Donde:

$T_{amb}$ : Temperatura ambiente media mensual de la localidad donde se instalarán las placas fotovoltaicas

$T_{onc}$ : Temperatura de operación nominal del módulo. Temperatura que cogen las células solares cuando se somete la placa a una irradiación de  $800 \text{ W/m}^2$  con una AM de 1.5, una temperatura ambiente de  $20^{\circ}\text{C}$  y una velocidad de viento de  $1 \text{ m/s}$ . Este dato será suministrado por el fabricante

E: Radiación media en un día soleado, en este caso  $800 \text{ W/m}^2$ .

Por lo que una vez conocido las pérdidas pasamos a calcular Performance Ratio, obteniendo los siguientes datos:

CALCULO DE LA EFICIENCIA Y PERDIDA POR DIVERSOS FACTORES										
Mes	Nº Dias	FS	Fpol	FCcc	FCca	FD	Finv	FT	PR	PR Global
Ene	31	1,000	0,970	0,980	0,980	0,970	0,970	0,920	0,831	0,806
Feb	28	1,000	0,970	0,980	0,980	0,970	0,970	0,923	0,834	0,809
Mar	31	1,000	0,970	0,980	0,980	0,970	0,970	0,909	0,821	0,797
Abr	30	1,000	0,970	0,980	0,980	0,970	0,970	0,909	0,821	0,797
May	31	1,000	0,970	0,980	0,980	0,970	0,970	0,900	0,813	0,789
Jun	30	1,000	0,970	0,980	0,980	0,970	0,970	0,896	0,809	0,785
Jul	31	1,000	0,970	0,980	0,980	0,970	0,970	0,888	0,803	0,779
Ago	31	1,000	0,970	0,980	0,980	0,970	0,970	0,882	0,797	0,773
Sep	30	1,000	0,970	0,980	0,980	0,970	0,970	0,883	0,798	0,774
Oct	31	1,000	0,970	0,980	0,980	0,970	0,970	0,902	0,815	0,790
Nov	30	1,000	0,970	0,980	0,980	0,970	0,970	0,921	0,832	0,807
Dic	31	1,000	0,970	0,980	0,980	0,970	0,970	0,923	0,834	0,809
Promedio	365	1,000	0,970	0,980	0,980	0,970	0,970	0,905	0,817	0,793

**Tabla 6.5.** Cálculo de la eficiencia y pérdidas por diversos factores

Donde:

<b>FS</b>	Perdidas por sombra
<b>Fpol</b>	Perdidas por polución
<b>FCcc</b>	Perdidas en cc
<b>FCca</b>	Perdidas en ca
<b>FD</b>	Perdidas por disipación en los módulos
<b>Finv</b>	Perdidas en el inversor
<b>FT</b>	Perdidas por temperatura
<b>PR</b>	Performance ratio
<b>PR Global</b>	Performance ratio Global

Para calcular la producción anual esperada utilizaremos la ecuación que es la propuesta por el I.D.A.E. en su Pliego de Condiciones Técnicas.

$$Ep = \frac{G_{dm}(\alpha, \beta) \times P_{mp} \times PR}{G_{cem}} \quad (\text{kWh/día})$$

Donde:

$Ep$  : Energía inyectada a la red (kWh/día).

$G_{dm}(\alpha, \beta)$  : Valor medio anual de la irradiación diaria sobre el plano del generador (kWh/m<sup>2</sup>.día), siendo  $\alpha$  el azimut de la instalación, en nuestro

caso al estar orientado al sur es  $0^\circ$ , y  $\beta$  la inclinación de los paneles que en nuestro caso es de  $30^\circ$ .

Pmp : Potencia del generador fotovoltaico (kW).

PR: Performance Ratio.

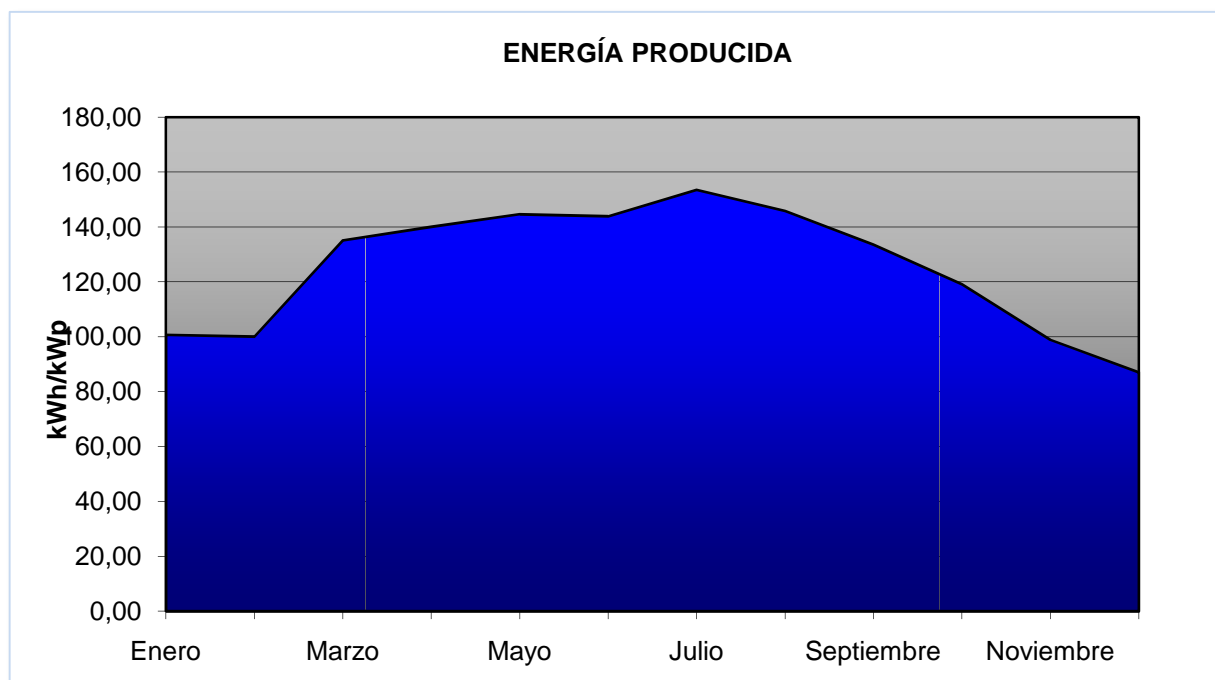
Gcem : Constante de irradiación que tiene valor  $1(\text{kW}/\text{m}^2)$ .

En la siguiente tabla se puede observar la energía estimada para cada mes y la producción anual total.

		Radiación en kWh/m <sup>2</sup> [Agencia Valenciana de la Energía]		Energía producida		
Mes	Nº Dias	Gdm ( $0^\circ, 30^\circ$ ) [kWh/(m <sup>2</sup> ·día)]	PR Global	Ep [kWh/día]	Ep mensual [kWh/mes]	Ep mensual [kWh/kWp-mes]
Enero	31	4,03	0,81	22,41	694,78	100,69
Febrero	28	4,42	0,81	24,66	690,43	100,06
Marzo	31	5,47	0,80	30,08	932,44	135,14
Abril	30	5,86	0,80	32,22	966,49	140,07
Mayo	31	5,92	0,79	32,19	997,98	144,64
Junio	30	6,11	0,78	33,10	993,01	143,91
Julio	31	6,36	0,78	34,18	1059,57	153,56
Agosto	31	6,08	0,77	32,46	1006,32	145,84
Septiembre	30	5,75	0,77	30,72	921,56	133,56
Octubre	31	4,86	0,79	26,51	821,80	119,10
Noviembre	30	4,08	0,81	22,75	682,40	98,90
Diciembre	31	3,47	0,81	19,39	600,94	87,09
Promedio	365	5,20	0,79	28,46	863,98	125,21
				Ep Total anual [kWh/anual]	10.367,72	

**Tabla 6.6.** Energía producida por los módulos fotovoltaicos.

Gráficamente podríamos reflejar la energía producida por meses con la siguiente gráfica:



**Figura 6.10.** Gráfica de la producción mensual producida en kWh/kWp.

