

DOCUMENTO Nº 1

MEMORIA

TÍTULO	INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA AISLADA EN VIVIENDA RURAL UNIFAMILIAR		
AUTOR	CRISTIAN TERAN MEANA		
DIRECTOR / PONENTE	D. JESUS MIRAPEIX SERRANO		
TITULACION	I.T.I. MECÁNICA	FECHA	SEPTIEMBRE - 2015

ÍNDICE:

1. OBJETO DEL PROYECTO.....	4
2. ANTECEDENTES.....	4
3. INTRODUCCIÓN A LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA.....	11
3.1. Aportaciones de la energía solar.....	13
3.2. Importancia de la energía solar dentro de las energías renovables.....	14
3.3. El efecto fotoeléctrico.....	16
3.4. La radiación solar.....	18
3.5. El panel fotovoltaico.....	21
3.6. Ventajas e inconvenientes de las instalaciones fotovoltaicas.....	26
3.7. Mantenimiento.....	28
3.8. Tipos de instalaciones.....	30
3.9. Introducción a los sistemas fotovoltaicos aislados.....	30
3.10. Actualidad y futuro de la energía solar fotovoltaica.....	32
4. NORMAS Y REGLAMENTOS APLICABLES.....	35
5. EL DESARROLLO FOTOVOLTAICO EN ESPAÑA.....	36
6. DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACIÓN Y SUS COMPONENTES.....	42
7. PRESUPUESTO.....	58
8. ORIENTACIÓN E INCLINACIÓN.....	59
9. BIBLIOGRAFÍA.....	68

1. OBJETO

El presente proyecto recoge la realización de una instalación solar fotovoltaica aislada en una vivienda rural unifamiliar situada en el Barrio de Periedo, en Casar de Periedo, Municipio de Cabezón de la Sal (Cantabria). Se realizará un estudio técnico de viabilidad orientado hacia el autoconsumo, para una hipotética desconexión de la red y con la intención de suministrar energía a la vivienda procedente de una fuente de energía renovable.

Los paneles solares fotovoltaicos se colocarán sobre el tejado de la vivienda (cubierta inclinada), solidarios con él mismo y con la inclinación real del tejado. Se requerirá máximo aprovechamiento de la energía solar, con lo que los paneles solares serán de silicio mono-cristalino.

Inicialmente se expondrán los conceptos básicos del efecto fotoeléctrico, esto es, la forma en la que se realiza la conversión de la energía solar en electricidad a partir de células solares. Seguidamente, se analizará el funcionamiento de los sistemas fotovoltaicos aislados, sus principales componentes y las recomendaciones que deben de tenerse en cuenta a la hora de realizar su dimensionamiento; y, finalmente, se estimará el nivel de radiación promedio en la zona de interés, y se expondrán los conceptos de orientación e inclinación (y ángulos relacionados), para posteriormente entrar en el cálculo de los diferentes parámetros del sistema.

2. ANTECEDENTES

La constante búsqueda de nuevos recursos energéticos para satisfacer nuestra demanda, se ha convertido a día de hoy en una exigencia debido al aumento constante del consumo energético en el mundo, derivado de la aparición de economías emergentes con una fuerte demanda en este sentido, además de un crecimiento de la población mundial, lo que conlleva un aumento del consumo “per cápita” de estos recursos. Pese a existir muchas energías renovables o “alternativas”, algunas de ellas, ya sea por motivos técnicos o económicos, no han conseguido desarrollarse por completo, esto es, alcanzar una madurez tecnológica que permite una penetración en el mercado notable.

De hecho, la mayor parte de la energía se obtiene a partir de los llamados combustibles fósiles, compuestos principalmente por el petróleo y sus derivados (gasolina, gasoil, keroseno, fueloil, etc.), el gas natural y el carbón.

Al inicio de la era industrial, cuando dichos combustibles fósiles se consideraron una nueva fuente de energía, se creía que serían fuentes ilimitadas y de impacto ambiental despreciable, pero debido al aumento progresivo de la demanda energética, cada vez resulta más difícil encontrar yacimientos de estos combustibles.

Además hay que tener en cuenta el daño que dichos combustibles, junto a otros factores, están haciendo a nuestro entorno. Uno de estos factores es el consumo elevadísimo de hidrocarburos que debido a sus emisiones nocivas, son los causantes de la denominada lluvia ácida, la cual produce efectos negativos en el suelo y en consecuencia en la flora y fauna. También hay que tener en cuenta los efectos que debido a la combinación de las emisiones de gases de combustión con algunos otros fenómenos naturales, como puede ser el *smog* (forma de contaminación originada a partir de la combinación del aire con contaminantes), que puede haber en la grandes ciudades).

Desde un punto de vista genérico se puede afirmar que los recursos energéticos son usados por el hombre para satisfacer algunas de sus necesidades básicas en forma de calor y trabajo. Así pues, estas dos necesidades son realmente importantes en la vida diaria de una persona media, por lo que se deduce que el uso combinado de la tecnología y la naturaleza es necesario y por lo tanto desarrollar fuentes energéticas que sean menos agresivas con el medio que nos rodea es casi una tarea obligatoria.

De entre las posibles alternativas nos vamos a centrar en este proyecto en la energía obtenida directamente del Sol, y que permite convertir la radiación luminosa del mismo en energía eléctrica: la energía fotovoltaica.

El Sol, desde un punto de vista energético, es una inmensa esfera de gases a muy alta temperatura, donde tienen lugar reacciones nucleares que dan lugar a dicha radiación.

El Sol tiene un diámetro de $1,39 \times 10^9$ m. y está situado a una distancia media de $1,5 \times 10^{11}$ m., respecto de la Tierra. Las reacciones nucleares que tienen lugar en el interior del Sol dan lugar a la formación de átomos de Helio debido a la fusión entre átomos de Hidrógeno, y que es lo que hace del Sol una gran fuente de energía, parte de la cual nos transmite. Estas reacciones hacen que una pequeña cantidad de materia se convierta en energía de acuerdo con la ecuación $E=mc^2$, donde E es la cantidad de energía liberada cuando desaparece la masa m , y c es la velocidad de la Luz. La cantidad de energía que transmite el Sol en un segundo es del orden de 4×10^{26} Julios (esta cantidad de energía sería suficiente para satisfacer las necesidades energéticas de la Tierra durante 1 año).

Se estima que la temperatura en el interior del Sol alcanza los 15×10^6 °K, pero en su superficie externa la temperatura “efectiva de cuerpo negro” es de unos 5900 °K. Esto quiere decir que la emisión de radiación de un cuerpo negro ideal a 5900 °K sería muy similar a la del Sol. Un alto porcentaje de las ondas electromagnéticas (Fotones) emitidas por el Sol tiene una longitud de onda comprendida entre 0.3 μm y 3 μm , aunque solamente las que van desde 0.4 a 0.7 μm son las que el ojo humano es capaz de captar, formando lo que se conoce como luz visible.

El valor aproximado de esta intensidad a la distancia que se encuentra nuestro planeta del Sol se conoce como constante solar y tiene un valor de aproximadamente 1400 W/m². Dicho valor, que indica la radiación antes de atravesar la atmósfera terrestre, sufre ligeras variaciones debido a que la distancia entre la Tierra y el Sol no es constante, ya que la órbita de la Tierra no es circular, sino elíptica. La radiación que llega a la superficie se ve afectada aparte de por la distancia, por la capa atmosférica, dentro de la cual cabe destacar el fenómeno de reflexión en la parte superior de las nubes, y el fenómeno de absorción parcial por las diferentes moléculas del aire. Esto hace que la intensidad que llega a la superficie, incluso en días claros y atmósfera muy limpia, rara vez supera los 1000 W/m².

También es de destacar que, aunque los rayos solares se trasladen en línea recta, los fotones al llegar a la atmósfera sufren difusiones y dispersiones, esta luz difundida llega finalmente a la superficie, y al haber cambiado muchas veces de dirección al atravesar la atmósfera, lo hace

como si proviniese de toda la bóveda celeste. A esta radiación se la conoce con el nombre de radiación difusa, la cual hace que un cuerpo esté siempre recibiendo una cierta cantidad de energía por todas sus partes, incluso por aquellas que no reciben la luz del Sol directamente.

Para nuestro caso particular deberemos considerar la suma de la radiación difusa y la radiación directa, formando así la radiación total. La radiación difusa supone aproximadamente un tercio de la radiación total que se recibe a lo largo del año.

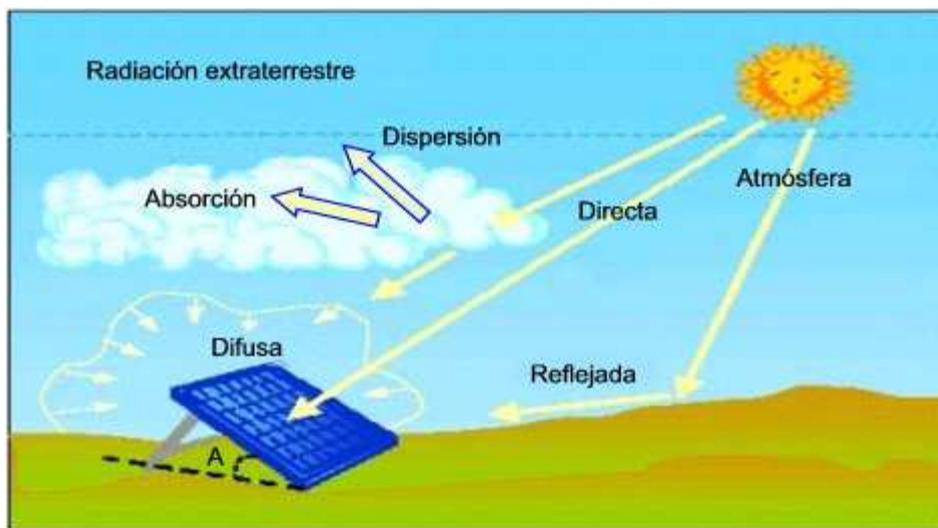


Figura 1. Esquema indicando los diferentes tipos de radiación

Aunque en un día despejado la radiación directa es mucho mayor que la difusa, ésta última será, evidentemente, la única forma posible de radiación en los días cubiertos, filtrándose más o menos homogéneamente por toda la bóveda celeste a través de la capa nubosa.

Condiciones climatológicas	Radiación Global	Radiación difusa
Cielo claro	600 – 1000 W/m ²	10 – 20 %
Cielo parcialmente nublado	200 – 400 W/m ²	20 – 80%
Cielo totalmente nublado	50 – 100 W/m ²	80 – 100%

Tabla 2.1. Radiación global dependiente de las condiciones climatológicas

POSICIÓN DE LA TIERRA RESPECTO DEL SOL

No hay que dejar de lado que la inclinación con que las ondas de radiación inciden sobre una superficie es tan o más importante que la cantidad de energía absoluta recibida, ya que esto hará que la energía se reparta en un área más o menos extensa, disminuyendo o aumentando su intensidad.

Debido a la inclinación del eje de traslación de la Tierra con respecto al plano de su órbita alrededor del Sol y su forma esférica, un mismo punto de la superficie terrestre recibe los rayos con una inclinación diferente, según la época del año, y por tanto, la energía efectiva que incide en un metro cuadrado de superficie horizontal varía considerablemente.

En invierno los rayos del Sol caen con un ángulo pequeño respecto a la horizontal, lo contrario que en verano, en que el ángulo es mucho mayor, llegando a alcanzar la perpendicular en las zonas cercanas al ecuador y en los momentos centrales del día. Por esa razón, la energía total incidente en un determinado periodo de tiempo, también es mucho mayor en las horas centrales del día que en las horas cercanas al amanecer o a la puesta de Sol. Aunque todos sabemos que es la Tierra la que gira alrededor del Sol y no al revés, a efectos prácticos todavía resulta útil, y conduce a los mismos resultados, suponer que es el Sol que gira alrededor de nuestro planeta, describiendo una órbita aproximadamente circular.

Con este modelo ficticio, el Sol se comporta como una luminaria que se eleva todos los días desde el Este y hacia el Oeste, describiendo en el Cielo un arco más o menos amplio, según la época del año. En primavera y verano el arco de la trayectoria solar es más grande, el Sol se eleva más sobre el horizonte y permanece más tiempo brillando en el Cielo. Por el contrario, en invierno los puntos del horizonte por donde sale y se oculta están más próximos entre sí, la trayectoria es más corta y menos elevada, y el tiempo que transcurre entre el amanecer y la puesta de Sol es mucho menor.

Lógicamente, cuanto mayor es la duración del día solar, más cantidad de energía se podrá recoger a lo largo del día:

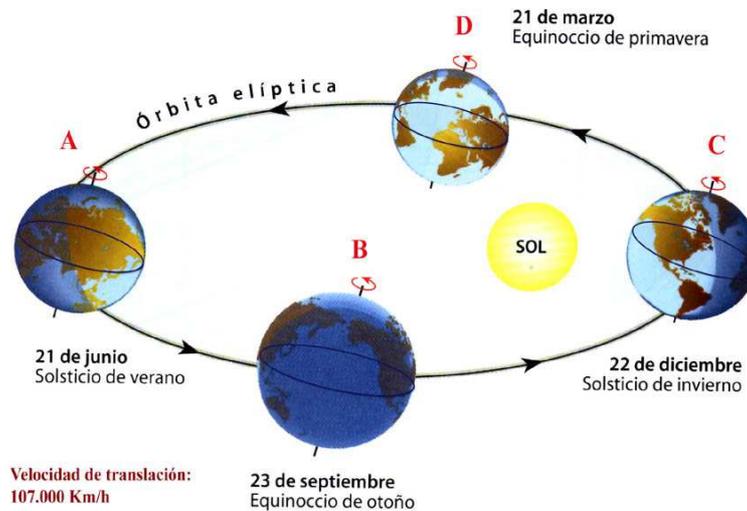


Figura 2. Posiciones de la Tierra respecto al Sol a lo largo de 1 año.

Además, otro factor incluso más importante que el de la duración del día, es el hecho de que cuanto menos elevada sea la trayectoria solar, con menor ángulo incidirán los rayos con respecto al suelo horizontal y, según se ha dicho, la intensidad será menor, al tenerse que repartir la energía en un área mayor.

El plano en el que está contenida la órbita celeste, a través de la cual se mueve alrededor del Sol, se llama plano de Eclíptica. El eje de rotación de la Tierra, es decir, la recta que une los polos Norte y Sur, forma un ángulo de 23,5 grados con la normal al plano de la Eclíptica, siendo este el hecho de una especial relevancia, ya que es el responsable de la diferente duración del día según la época del año, dando lugar al fenómeno de las estaciones.

Los dos momentos del año en que la duración del día es igual a la de la noche (12 horas) se denominan Equinoccios y suceden aproximadamente el 21 de Marzo (Equinoccio de Primavera) y el 21 de Septiembre (Equinoccio de otoño). El día de más duración del año coincide con el Solsticio de verano (21 de Junio en el Hemisferio Norte) y el de menor duración con el de invierno (21 de diciembre en el Hemisferio Norte). Las estaciones son, de esta manera, los cuatro períodos del año delimitados por los dos Equinoccios y los dos Solsticios.

LA IRRADIACIÓN SOBRE UNA SUPERFICIE

La Irradiación, E , se define como la cantidad de energía radiante que llega a una superficie dada en un tiempo determinado. La Intensidad Radiante, I , es la energía incidente por unidad de tiempo y superficie. La relación existente entre ellos es:

$$I = \frac{E}{S \cdot t} \quad (1)$$

La cantidad de energía debida a la radiación directa que una superficie expuesta a los rayos solares puede interceptar dependerá del ángulo formado por los rayos y la superficie en cuestión. Si la superficie es perpendicular a los rayos, este valor es máximo, disminuyendo a medida que lo hace dicho ángulo.

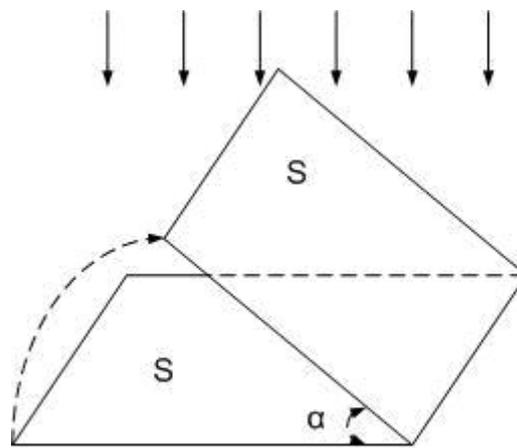


Figura 3. Energía directa sobre una superficie

Es evidente que la intensidad sobre la superficie varía en la misma proporción que lo hace la energía E , por lo que, si llamamos I_D a la intensidad directa sobre la superficie inclinada, e I_0 a la intensidad directa sobre la horizontal, obtenemos:

$$I_D = I_D \times \cos\alpha \quad (2)$$

Este efecto de inclinación es la causa por la que los rayos solares calientan mucho más al mediodía que en las primeras horas de la mañana, ya que en estos últimos casos el ángulo que forma el rayo con la normal a la superficie es grande, y por tanto, el factor $\cos\alpha$ hace que la intensidad sea pequeña. La diferente inclinación de los rayos solares es asimismo la causa por la que las regiones de latitudes altas (más cercanas a los polos) reciban mucha menos energía que las más cercanas al ecuador.

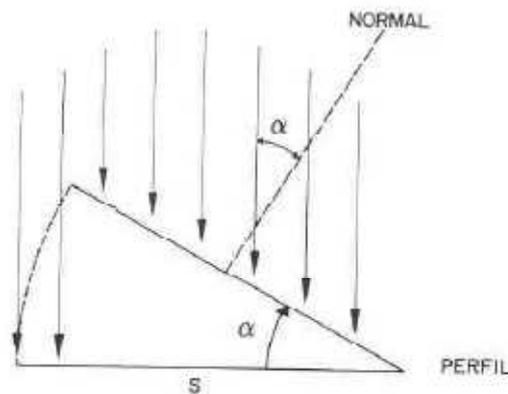


Figura 4. Incidencia de los rayos en función de la inclinación de la superficie

Desde el punto de vista del aprovechamiento de la energía solar, si tenemos una placa como cuerpo negro a determinada inclinación sobre la horizontal, ésta absorberá radiación difusa, directa y también la reflejada.

3. INTRODUCCIÓN A LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

Sabiendo cómo aprovechar de forma racional toda la luz que el Sol emite continuamente sobre el Planeta, Éste podría satisfacer todas nuestras necesidades puesto que ha sido y será la fuente de vida y el origen del resto de formas de energía que el ser humano ha utilizado desde los orígenes de la historia.

El potencial solar de España es el más alto de Europa debido a su privilegiada situación y climatología. En este sentido, hacer una instalación para obtener este tipo de energía puede ser mucho más barato y rentable de lo que inicialmente puede suponerse. La energía solar es una de las fuentes de energía renovable que más desarrollo está experimentando en los últimos años y con mayores expectativas de cara al futuro.

Cada año, el Sol arroja sobre la Tierra cuatro mil veces más energía de la que vamos a consumir, lo que demuestra que esta fuente energética está aún infravalorada y, sobre todo, poco explotada en relación a sus posibilidades. El aprovechamiento de la energía solar consiste en captar por medio de diferentes tecnologías la radiación del Sol que llega a la Tierra con el fin de emplear esa energía para distintas aplicaciones como calentar agua, generar electricidad, etc.

El uso del Sol como fuente de energía no es algo nuevo: muchas culturas de la antigüedad en todo el mundo construían sus edificios basándose en la posición del astro para obtener mejores rendimientos. Sin embargo, el aprovechamiento del Sol no es exclusivo de zonas de alta radiación solar. Alemania, por ejemplo, a pesar de contar con poca radiación solar, es el país con más instalaciones solares de toda Europa, con alrededor del 62% de toda la potencia solar instalada en el continente.

Como consecuencia de lo anteriormente comentado, es lógico intentar aprovechar por todas las vías posibles dicha energía gratuita, limpia e inagotable, que puede liberarnos definitivamente de la dependencia del petróleo o de otras alternativas poco seguras, contaminantes o, simplemente, agotables.

Por otro lado hay que hacer un inciso e indicar que también existen otros problemas que debemos afrontar y superar. A parte de las dificultades que una política energética solar avanzada conllevaría por sí misma, hay que tener en cuenta que esta energía está sometida a continuas fluctuaciones. Como, por ejemplo, la radiación solar es menor en invierno, precisamente cuando más podemos necesitarla.

Es de vital importancia proseguir con el desarrollo y perfeccionamiento de la todavía incipiente tecnología de captación, acumulación y distribución

de la energía solar, para conseguir las condiciones que la hagan definitivamente competitiva, a escala planetaria.

3.1. APORTACIONES DE LA ENERGÍA SOLAR

Básicamente, recogiendo de forma adecuada la radiación solar, podemos obtener calor y electricidad. El calor se logra mediante los captadores o colectores térmicos, y la electricidad, a través de los llamados módulos fotovoltaicos. Ambos procesos nada tienen que ver entre sí, ni en cuanto a su tecnología ni en su aplicación.

En lo referente a los sistemas de aprovechamiento térmico, en lo que se conoce como Energía Solar Térmica, el calor obtenido puede destinarse a diferentes ámbitos, como por ejemplo para obtener agua caliente para consumo doméstico o industrial, o bien para dar calefacción a nuestros hogares, hoteles, colegios, fábricas, etc., incluso podemos climatizar las piscinas y permitir el baño durante gran parte del año.

Por otro lado, y aunque pueda parecer contradictorio, otro uso que le podemos dar a los sistemas de aprovechamiento térmico es la refrigeración durante las épocas cálidas, precisamente cuando más soleamiento hay. En efecto, para obtener frío hace falta disponer de una fuente cálida, la cual puede perfectamente tener su origen en unos colectores solares instalados en el tejado o azotea. En ciertos países árabes ya funcionan a pleno rendimiento muchos acondicionadores de aire que utilizan eficazmente la energía solar. Con respecto a la energía solar fotovoltaica, las células solares dispuestas en paneles, ya producían electricidad en los primeros satélites espaciales. Actualmente podrían ser la solución al problema de la electrificación rural, ya que los paneles al no poseer partes móviles son inalterables con el paso de los años, no contaminan y no producen ningún ruido. A todo esto hay que añadirle que tampoco consumen combustible y que necesitan poco mantenimiento. Además, y aunque con menos rendimiento, funcionan también en días nublados, puesto que captan la luz que se filtra a través de las nubes.

La electricidad que así se obtiene puede usarse de manera directa (por ejemplo para sacar agua de un pozo o para regar, mediante un motor

eléctrico), o bien ser almacenada en acumuladores para usarse en las horas nocturnas. La electricidad generada también se puede inyectar en la red general, obteniendo una buena rentabilidad económica, ya que cada vez más países priman tanto a los pequeños como a los grandes productores de electricidad fotovoltaica, dado el beneficio que aporta para el medio ambiente.

La energía solar puede complementarse con otras energías convencionales para evitar la necesidad de grandes y costosos sistemas de acumulación. Así, un edificio bien aislado puede disponer de agua caliente y calefacción solares, con el apoyo de un sistema convencional a gas o eléctrico que únicamente funcionaría en los periodos sin Sol. El coste de la energía convencional sería sólo una fracción del que alcanzaría sin la existencia de la instalación solar.

3.2. IMPORTANCIA DE LA ENERGÍA SOLAR DENTRO DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES

Como ya se ha comentado, el Sol produce energía en mucha mayor cantidad de la que podemos usar. Con una expectativa de vida de varios miles de millones de años, se trata, además, de la fuente energética de mayor duración que podamos desear. El Sol es un factor con el que también puede contarse en el centro de Europa. Incluso con las condiciones de insolación europeas, para cubrir hoy el conjunto de la demanda eléctrica mundial con energía fotovoltaica sería suficiente con una superficie de 145000 km².

Muchas de las fuentes energéticas renovables tienen su origen, directa o indirectamente en el Sol. Comparada con las fuentes energéticas renovables de origen no solar, la energía solar manifiesta una serie de ventajas nada despreciables:

- Con 1000 W/m², la densidad máxima de potencia de la radiación global sobre la superficie de la Tierra supone un múltiplo de la de fuentes energéticas comparables, tales como, la energía geotérmica (0.063 W/m²).

- Todo el mundo tiene acceso a la radiación solar. Los costes de la explotación son nulos o mínimos. Una vez “enchufada”, la energía fluye con costes de funcionamiento nulo o extremadamente bajos.
- La presencia de la radiación solar sobre nuestro Planeta se corresponde, en gran medida, con las regiones de asentamiento humano, lo que favorece la organización de una industria energética descentralizada.
- La evolución cronológica de la radiación solar puede planificarse bien y la media anual es muy constante.
- El tiempo de amortización energética de las modernas plantas de energía solar y plantas solares térmicas está muy por debajo de su vida operativa prevista, de más de 25 años. Representan por tanto verdaderas fuentes energéticas y a lo largo de su vida generan ya, con el actual nivel técnico, mucha más energía de la que se precisa para su construcción.
- La explotación de la energía solar no está asociada a ninguna clase de riesgos medioambientales. Quedan pues descartados los accidentes de petroleros, por ejemplo, los reactores siniestrados u otras catástrofes causadas por el hombre.
- El aprovechamiento de la energía solar favorece la distensión internacional. Contribuye a evitar en todo el mundo los conflictos militares por recursos fósiles y a reducir la pobreza.

3.3. EL EFECTO FOTOELÉCTRICO

El efecto fotoeléctrico es la base del proceso mediante el cual una célula FV convierte la luz solar en electricidad. La luz solar está compuesta por fotones, o partículas energéticas.

Dependiendo de las longitudes de onda del espectro solar, los fotones tienen diferentes energía asociadas. Cuando la luz solar incide sobre una célula fotovoltaica, los fotones suelen ser reflejados o absorbidos (o incluso atravesar el laminado FV sin generar ninguna interacción), produciendo electricidad únicamente aquellos que han sido absorbidos. Cuando un fotón es absorbido, la energía del fotón se transfiere a un electrón de un átomo de la célula, siendo así capaz de pasar a formar parte de un circuito eléctrico.

Las partes más importantes de una célula solar son las capas de semiconductores, ya que es donde se crea la corriente de electrones. Estos semiconductores son especialmente tratados para formar dos capas diferentes dopadas (tipo P y tipo N) para formar un campo eléctrico, positivo en una parte y negativo en otra.

Las células se fabrican con materiales que actúan como aislantes a baja temperatura y como conductores cuando aumenta la temperatura con la finalidad de formar una corriente eléctrica cuando los electrones liberados al incidir los rayos del Sol sobre la célula queden atrapados por el campo eléctrico. Por desgracia, no existe un material apropiado para todos los tipos de células y aplicaciones. Además de por los semiconductores, las células solares están formadas por una malla metálica cuya función es captar los electrones del semiconductor y transferirlos a la carga externa y crear un contacto posterior para completar el circuito eléctrico. También en la parte superior de la célula hay un vidrio para sellarla y protegerla de las condiciones ambientales, y una capa anti reflexiva para aumentar el número de fotones absorbidos.

El rendimiento de las células fotovoltaicas se mide por la proporción de luz solar que la célula convierte en energía eléctrica, en función de la energía asociada a la radiación incidente. Cuanto mayor rendimiento tengan las células, más competitiva será la energía fotovoltaica en comparación con

otras fuentes. El conjunto de células conectadas, encapsuladas y dispuestas sobre un soporte, recibe el nombre de *módulo* o *panel fotovoltaico*. Éstos están diseñados para suministrar electricidad a un determinado voltaje siendo normalmente de 12 o 24 V.

La estructura del módulo protege a las células del medio ambiente y son muy durables y fiables. Aunque un módulo puede ser suficiente para muchas aplicaciones, dos o más módulos pueden ser conectados para formar un *generador fotovoltaico*. Los generadores producen corriente continua (DC) y pueden ser conectados en serie o en paralelo para poder producir diferentes combinaciones de corriente y tensión. Un módulo o generador fotovoltaico por sí mismo no es capaz de suministrar electricidad como para bombear agua o iluminar una casa durante la noche. Para ello, es necesario contar con más componentes asociados al resto del sistema, y que es a lo que denominamos sistema fotovoltaico, incluyendo el subsistema de acumulación, la etapa de conversión DC-AC, cableado eléctrico, etc. Los sistemas fotovoltaicos se pueden clasificar como autónomos (aislados) o conectados a la red eléctrica.

3.4. LA RADIACIÓN SOLAR

Las condiciones de funcionamiento de un módulo fotovoltaico dependen de variables externas tales como la radiación solar y la temperatura de funcionamiento.

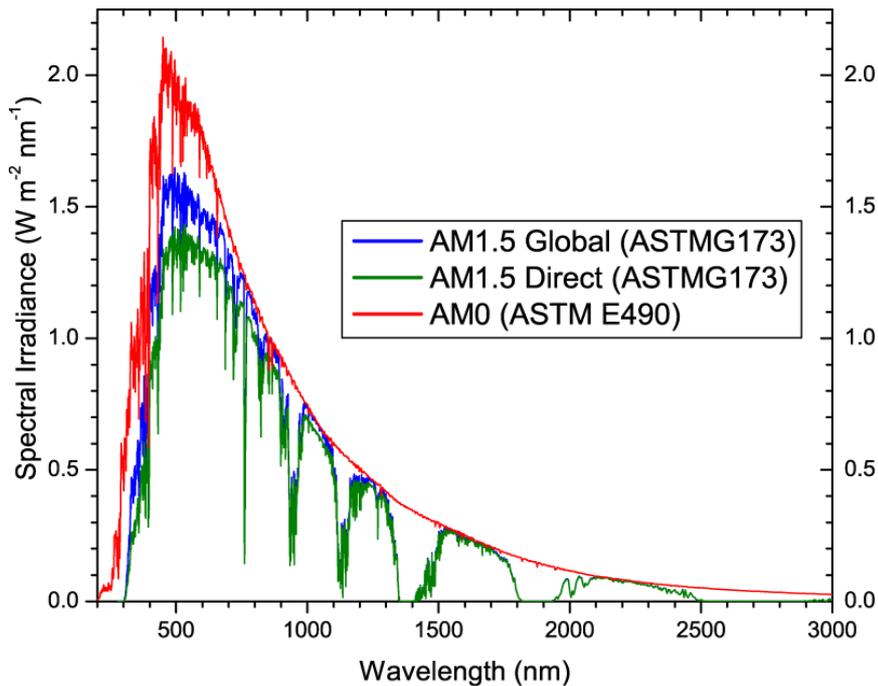


Figura 5. Espectro de la irradiación solar

Se conoce por radiación solar al conjunto de radiaciones electromagnéticas emitidas por el Sol Según la “Ley de Planck”, el Sol actúa como un cuerpo negro emitiendo energía a unos 6000 K de temperatura. La radiación solar se distribuye desde el infrarrojo cercano hasta el ultravioleta. No toda la radiación alcanza la superficie de la Tierra, pues las ondas ultravioletas, más cortas, son absorbidas por los gases de la atmósfera fundamentalmente por el ozono.

La magnitud que mide la radiación solar que llega a la Tierra es la Irradiación solar (W/m^2), que mide la energía que por unidad de tiempo y área alcanza a la Tierra.

Para poder efectuar el diseño de una instalación fotovoltaica se necesita saber la irradiación asociada al emplazamiento geográfico. Para ello deberemos de disponer de las tablas de radiación solar actualizadas del entorno.

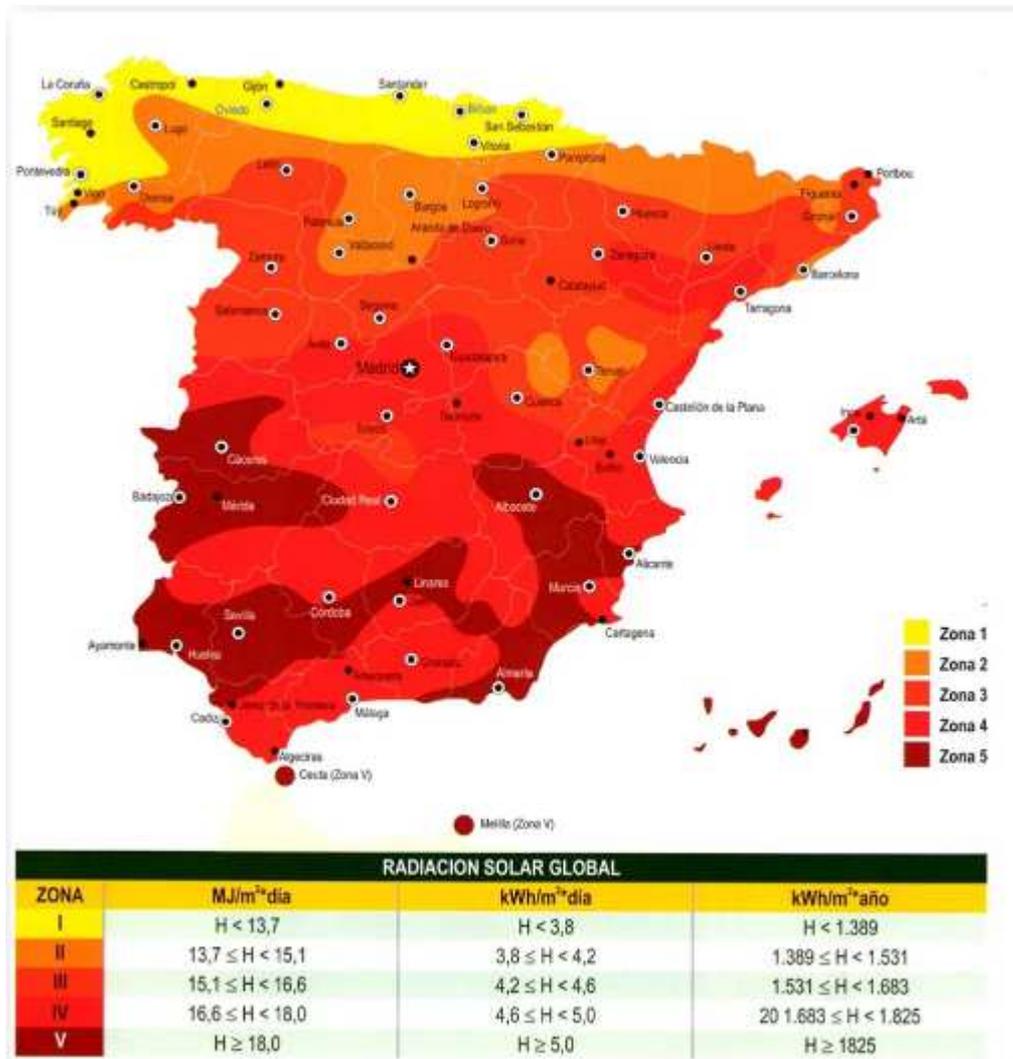


Figura 6. Radiación solar en España

Los factores que marcarán el diseño de los sistemas fotovoltaicos serán tanto la radiación solar como la demanda diaria de energía. Esta energía nos será en W ó KW.

La elección de los datos de radiación solar dependerá directamente de la situación de la instalación, así como de las condiciones meteorológicas predominantes y particulares de cada lugar. Para cada provincia se utilizará una tabla de radiación solar mensual interceptada por una superficie inclinada.

GENERACIÓN DE LA RADIACIÓN SOLAR:

El Sol es la estrella más cercana a la Tierra. Es imposible acceder a Él y observar directamente su interior, pero es allí donde se generan las temperaturas de unos 20 millones de grados necesarios para producir las reacciones nucleares que generan energía. Es en la capa exterior donde se produce la mayor parte de la radiación, llamada fotosfera y poseyendo en torno a 6000K. Tiene una anchura entre 200 y 300 km. Por encima de ella está la cromosfera con una anchura de unos 15000 km. Más exterior es aún la corona solar una parte muy tenue y caliente que se extiende varios millones de km y que sólo es visible durante los eclipses solares totales.

La fotosfera está formada por un elevado número de gránulos brillantes, causados por las células de convección. Por otra parte existen también unos fenómenos cíclicos que conforman la actividad solar como son las manchas solares, fáculas, protuberancias solares, etc. Estos procesos que tienen lugar a diferentes profundidades también emiten una energía que se superpone a la principal emisión de la fotosfera y que hace que el Sol se aleje ligeramente en su emisión de energía del cuerpo negro a longitudes de onda inferiores por la emisión de Rayos X y a largas longitudes por los fenómenos nombrados destacando que la emisión no es igual cuando está en calma que cuando está activo. Además la cromosfera y la corona absorben y emiten radiación que se superpone a la principal fuente que es la fotosfera.

DISTRIBUCIÓN ESPECTRAL DE LA RADIACIÓN SOLAR:

La aplicación de la “Ley de Planck” al Sol con una temperatura superficial de unos 6000 K nos lleva a que el 99% de la radiación emitida esté entre l

Longitudes de onda de 0,15 micrómetros o micras y 4 micras Como 1 Angstrom= 10^{-10} m = 10^{-6} micras resulta que el Sol emite un rango de 1500 A hasta 4000 A a 7000 A. La radiación ultravioleta u ondas cortas iría desde los 1500 A a los 4000 A y la radiación infrarroja u ondas largas desde las 0,74 micras a 4 micras.

La atmósfera de la Tierra constituye un importante filtro que hace inobservable radiaciones de longitud de onda inferior a 0,29 micras por la fuerte absorción del ozono y del oxígeno. Esto hace que la radiación ultravioleta, la más peligrosa para la salud, no llegue en su plena magnitud a la superficie terrestre. La atmósfera no permite el paso de radiaciones infrarrojas con longitud de onda por encima de 24 micras, lo cual no involucra a la radiación solar, pero sí a la energía emitida por la Tierra que llega a las 40 micras y que es absorbida. A este efecto se le conoce como el efecto invernadero. Pero la emisión solar difiere de la de un cuerpo negro sobre todo en el ultravioleta. En el infrarrojo se corresponde mejor con la temperatura de un cuerpo negro de 5779 °C y en el visible.

Ello quiere decir que la radiación solar depende de la distancia entre la Tierra y el Sol, lo que conlleva una variación de temperaturas y una energía diferente en cada lugar. Ello nos habla de que la radiación solar no se produce en las mismas capas y estamos observando la temperatura de cada una de ellas donde se produce la energía.

3.5. EL PANEL FOTOVOLTAICO

El panel solar fotovoltaico (o módulo fotovoltaico) es un dispositivo que produce electricidad a partir de la luz solar que incide sobre ellos. Las placas fotovoltaicas se dividen en:

- Mono-cristalinas: En este caso el silicio que compone las celdas es un único cristal. La red cristalina es la misma en todo el material y tiene muy pocas imperfecciones. A partir de una colada de silicio ultra puro se hacen crecer los llamados mono cristales. Se obtienen así bloques de silicio de sección circular que se cortan en discos de sección muy fina. Estos discos de brillo plateado constituyen la base de la célula solar mono-cristalina. Debido a la forma circular de las células, se produce un espacio

intersticial desaprovechado y dispuesto uno junto a otro en el módulo. Así pues para poder integrar más células en el módulo, éstas son recortadas hasta darle una forma más o menos cuadrada. Completan el proceso otros procedimientos químicos. 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.

- Poli-cristalinas: 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 obtiene rendimientos ligeramente inferiores. Para la fabricación de este silicio lo más habitual es recurrir al procedimiento de bloque fundido. En éste, el silicio en bruto se calienta intensamente y se enfría en molde de forma controlada. Al solidificarse la colada, los cristales se orientan de forma irregular. Los bloques de sección cuadrada son rebanados en discos de 0,3 mm de espesor.

- Amorfas: 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.

En la tabla siguiente se pueden observar los rendimientos actuales de las diferentes tecnologías de módulos solares en fase de comercialización:

Tipo de célula	Eficiencia
Silicio mono-cristalino	13 – 15%
Silicio poli-cristalino	11%
Silicio amorfo	7%

Tabla 3.1. Rendimientos según tecnologías

ESTRUCTURA Y MODO DE OPERACIÓN DE UNA CÉLULA SOLAR:

Como ya hemos visto, las células solares se obtienen mayormente a partir de silicio ultra puro, aunque el material de partida es la arena de cuarzo (SiO_2).

- Funcionamiento de una célula solar mono-cristalina:

Con una adecuada incorporación de átomos generalmente de boro y fósforo, se generan en la célula dos capas con diferentes propiedades eléctricas (positiva y negativa). En la inter-fase entre estas dos capas se forma un campo eléctrico, que es la llamada zona de carga espacial. Al incidir la luz sobre la célula, las cargas eléctricas foto-generadas de la zona de carga espacial se separan. En las conexiones eléctricas se origina así una tensión continua, en gran medida independiente de la radiación incidente de aproximadamente 0.5 voltios.

- Los parámetros característicos son:

Máxima potencia: la corriente y, por tanto, la potencia eléctrica de una célula dependen directamente de la radiación incidente. La potencia de una célula solar, para las condiciones estándar de medida (C.E.M ó en Inglés: S.T.C.) se define sobre una intensidad de irradiación de 1000 W/m^2 con una temperatura de célula de 25°C . A este parámetro se le denomina "*potencia pico*", y su valor es directamente proporcional al tamaño de la célula.

Corriente de cortocircuito y tensión o voltaje de circuito abierto: El voltaje de una célula solar apenas varía con una u otra radiación. Así pues, ésta es específico del material y para el silicio es de aproximadamente 0.5V-0.6V.

De este modo solo puede lograrse un aumento de voltaje mediante la conexión en serie de varias células.

Ha de distinguirse entre corriente de cortocircuito (I_{SC}), tensión o voltaje de circuito abierto (U_{OC}) y punto de máxima potencia (U_{MMP} e I_{MMP})

Estos parámetros se hallan bajo las Condiciones Estándar de Medida (SMC: *Standard Measurement Conditions*), es decir, con una radiación de 1000 W/m^2 , una temperatura de célula de $25 \text{ }^\circ\text{C}$, y un determinado espectro de luz solar (el asociado al centro de Europa), con un factor de masa de aire de 1.5. El voltaje y la intensidad de corriente dependen de la irradiación, tal y como se indica en las siguientes figuras:

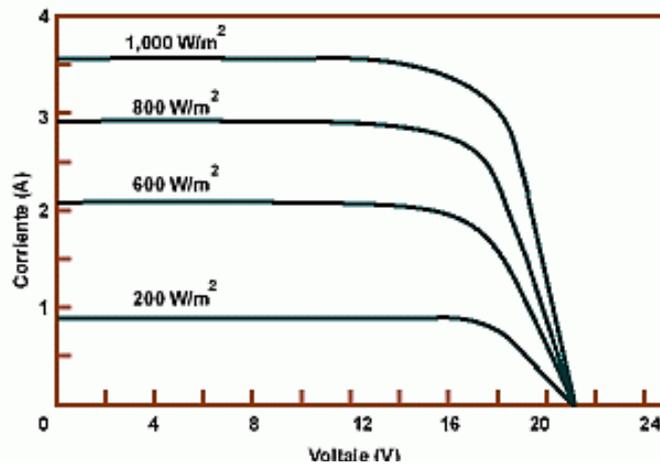


Figura 7. La potencia y la intensidad de corriente de una célula dependen directamente de la radiación incidente. En tal sentido, el voltaje apenas varía.

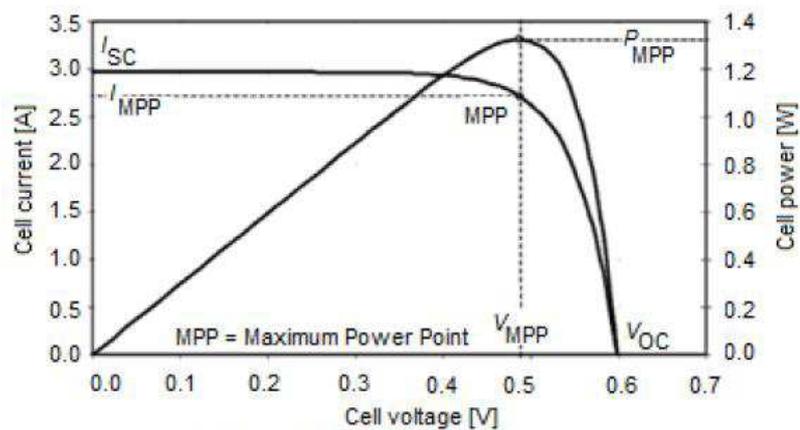


Figura 8. Curva característica de una célula de silicio cristalina

Temperatura frente a potencia: El calentamiento de una célula solar provoca directamente una disminución de su grado de eficiencia. En tal sentido, las células de capa fina son menos sensibles que las células solares cristalinas.

Al aumentar la temperatura, la potencia de una célula cristalina se reduce alrededor de un 0.5% por grado Celsius. Así pues, debe evitarse todo calentamiento innecesario por lo que hay que considerar la refrigeración por el viento y emplazamiento.

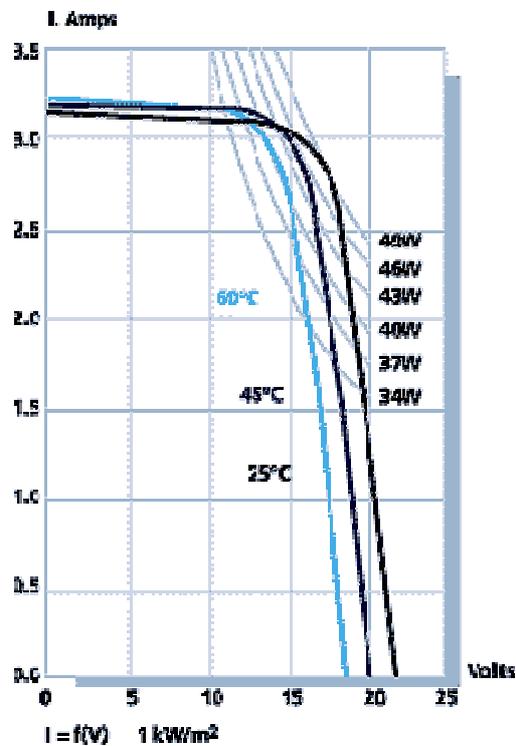


Figura 9. Efecto de la temperatura sobre la potencia.
Al aumentar las temperaturas, la potencia de una célula cristalina se reduce alrededor de un 0.5% por grado Celsius

3.6. VENTAJAS E INCONVENIENTES DE LAS INSTALACIONES FOTOVOLTAICAS

La energía solar fotovoltaica es una de las fuentes más prometedoras de las energías renovables en el mundo. Comparada con las fuentes no renovables, las ventajas son claras:

- La energía fotovoltaica es un negocio seguro y sin apenas riesgos. La inversión y la producción son manejables y calculables a largo plazo.
- Los sistemas fotovoltaicos se instalan fácil y rápidamente.
- La producción eléctrica fotovoltaica ocurre sin combustión, y a un nivel de temperatura comparativamente bajo.
- Es no contaminante, por lo que contribuyen a la reducción de emisiones de dióxido de carbono (CO₂) al utilizarse como alternativa a otros sistemas generadores de energía eléctrica más contaminantes.
- No requiere mucho mantenimiento. El mantenimiento es escaso, y no solo es conveniente hacerlo en las horas nocturnas para tener una disponibilidad diurna máxima, sino que es necesario, para evitar que existan tensiones en los generadores
- No requiere de una extensa instalación para operar. Los generadores de energía pueden ser instalados de una forma distribuida en la cual los edificios ya construidos, pueden generar su propia energía de forma segura y silenciosa.
- No consume combustibles fósiles.
- No genera residuos.
- No produce ruidos, es totalmente silenciosa.
- Es una fuente inagotable.
- Ofrece una elevada fiabilidad y disponibilidad operativa excelente.
- Los módulos solares son reutilizables.
- La instalación de una planta fotovoltaica incrementa el valor del edificio.

En resumen, la energía fotovoltaica es generada directamente del Sol. Los sistemas fotovoltaicos no tienen partes móviles (salvo en el caso de emplear seguidores solares), por lo tanto no requieren mantenimiento y sus celdas pueden durar décadas.

Además de las ventajas ambientales también debemos tener en cuenta las socio-económicas:

- Instalación simple. Tienen una vida larga (Los paneles solares duran aproximadamente 30 años).
- Resisten condiciones climáticas extremas: granizo, viento, temperatura, humedad.
- No existe una dependencia de los países productores de combustibles.
- Puede instalarse en zonas rurales desarrollo de tecnologías propias. Se puede utilizar en lugares de bajo consumo y en casas ubicadas en parajes rurales donde no llega la red eléctrica general.
- Puede venderse el excedente de electricidad a una compañía eléctrica.
- Puede aumentarse la potencia mediante la incorporación de nuevos módulos fotovoltaicos.

Los inconvenientes de este sistema de generación de energía, no es tanto el origen de dicha energía, que tiene reservas que exceden de nuestras necesidades, ni tampoco la materia prima de donde se extrae el silicio, que consiste en arena común muy abundante en la naturaleza.

Se trata de la técnica de construcción y fabricación de los módulos fotovoltaicos que es complejo y caro.

- Requiere una importante inversión inicial.
- Es una energía de difícil almacenamiento.
- No es económicamente competitiva con otras energías actuales.
- Producción variable según climatología del lugar y época del año.
- Otro inconveniente es el rendimiento obtenido y el espacio de terreno ocupado por los elementos captadores: el rendimiento final a día de hoy se estima en solo un 13%.

3.7. MANTENIMIENTO

Mantenimiento a cargo del usuario

En términos generales, las instalaciones fotovoltaicas suelen ser sencillas de mantener, pero si no prestamos atención y el mantenimiento no es adecuado, antes o después surgirían problemas, que pueden llegar a ser desde una disminución del rendimiento de la instalación, hasta el deterioro de algunos elementos o la reducción de su vida útil.

Por todo lo anterior, existen tareas que pueden ser realizadas por el usuario para alargar la vida útil de estos sistemas.

- El mantenimiento básico del panel solar fotovoltaico comprende las acciones siguientes:
 - Limpiar la superficie frontal de vidrio del panel solar fotovoltaico (se recomienda que el tiempo entre una limpieza y otra se realice teniendo en cuenta el nivel de suciedad ambiental). La limpieza debe efectuarse con agua jabonosa y un paño suave, si se requiere, se puede usar detergente.
 - Comprobar que no haya terminales flojos ni rotos, que las conexiones estén bien apretadas y que los conductores se encuentren en buenas condiciones. En caso de detectar anomalías, contactar al personal especializado.
 - Verificar que la estructura de soporte esté en buenas condiciones, y que se encuentre protegida contra la intemperie (es decir, que no sea de aluminio, acero inoxidable o galvanizado), si no es así, aplicar un tratamiento con pintura anti-óxido.
 - Podar sistemáticamente los árboles que puedan provocar sombra en el panel solar fotovoltaico. No ponga objetos

cercanos que puedan dar sombra, como los tanques de agua y las antenas. En el caso de los árboles se debe prever su poda cuando sea necesario.

- Mantenimiento al inversor o convertidor CC/CA:
 - Comprobar que el área de ubicación del inversor se mantenga limpia, seca y bien ventilada.
 - Comprobar que el inversor no esté expuesto al Sol y se encuentre protegido de los rayos solares.
 - Verificar que el inversor funciona adecuadamente y que no se producen ruidos extraños dentro de él. En caso de que la
 - operación sea defectuosa o no funcione, contactar con el personal especializado.

Mantenimiento a cargo del servicio técnico

Con un contrato de mantenimiento, el operador consigue la mayor seguridad posible para obtener el máximo de su instalación.

El mantenimiento in situ debe efectuarse una vez al año, preferentemente antes de los meses de mayor producción, o bien, cuando se produzca un descenso o una total parada de la producción eléctrica, o la aparición de defectos en la estructura de fijación del campo solar. En estos casos se realizará un mantenimiento correctivo, que detecte el origen de la avería y la repare.

En estas revisiones se debe incluir:

- Comprobación del funcionamiento del inversor mediante pantalla o LED.
- Limpieza de los orificios del inversor.
- Comprobación del funcionamiento de los dispositivos de seguridad.
- Revisión del bastidor de montaje.

- Comprobación de tensión e intensidad para cada serie de placas fotovoltaicas (todas las series deberían dar valores idénticos o muy similares). Se pueden detectar fallos en las placas, como diodos fundidos o problemas de cableado y conexiones.
- Caracterización de la onda, frecuencia y tensión de salida en corriente alterna del inversor.
- Comprobación de las protecciones, fusibles y diferenciales.
- Verificación de las conexiones del cableado en la caja de conexiones.

3.8. TIPOS DE INSTALACIONES

La energía generada a raíz del efecto fotovoltaico, puede ser utilizada de dos formas.

La primera es mediante instalaciones aisladas de la red eléctrica, caracterizadas porque la energía generada se almacena en baterías para poder disponer de su uso cuando sea preciso. Estos sistemas son utilizados sobre todo en aquellos lugares en los que no se tiene acceso a la red eléctrica, o éste es muy complicado, y resulta más económico instalar un sistema fotovoltaico que tender una línea entre la red y el punto de consumo.

En segundo lugar, encontramos las instalaciones conectadas a la red eléctrica convencional, en las que toda la energía generada se envía a la red eléctrica para su distribución donde sea demandada.

Debido a que la instalación fotovoltaica objeto del presente proyecto corresponde a esta primera tipología, en adelante se presentaran en detalle los sistemas solares fotovoltaicos aislados.

3.9. INTRODUCCIÓN A LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS AISLADOS

Funcionamiento de la instalación fotovoltaica:

Como bien hemos explicado anteriormente, la utilización de una instalación de energía solar fotovoltaica capacita la producción directa de energía eléctrica a partir de la energía solar.

Dicha instalación estará compuesta por un conjunto de elementos que garantizarán el correcto funcionamiento y una elevada fiabilidad de suministro y durabilidad.

Los elementos típicos que componen una instalación solar fotovoltaica aislada son:

- *GENERADOR FOTOVOLTAICO* (Subsistema de Generación): está formado por un grupo de paneles solares fotovoltaicos interconectados para el aprovechamiento de la radiación solar del lugar.

- *SUBSISTEMA DE ACUMULACIÓN*: está formado por un regulador de carga y un grupo de baterías. El regulador de carga se encarga, principalmente de evitar la descarga profunda de las baterías o la sobrecarga de las mismas, alargando de esta forma su vida útil. Las baterías acumulan la energía producida por el sistema de generación para que la vivienda disponga de suministro en los momentos en que ninguno de los generadores de la instalación esté produciendo energía por falta de Sol. Y también en los momentos en que la demanda energética de la misma es superior a la generada en esos instantes por los paneles FV.

- *SUBSISTEMA DE ACOMODACIÓN* de energía a las cargas: Convertidor CC-CC o seguidor de potencia. Cuando no todos los receptores de continua tienen la misma tensión nominal. Convertidor CC-CA. Dado que la vivienda dispone de equipos a alimentar con CA, sí que será preciso incluir en el sistema un convertidor CC-CA.

En los sistemas fotovoltaicos aislados es necesario almacenar la energía eléctrica para garantizar la continuidad de la erogación incluso en los momentos en los que no es producida por el generador fotovoltaico. La energía se acumula en una serie de acumuladores recargables (baterías), dimensionados de la manera que garanticen una suficiente autonomía para los periodos en los que el sistema fotovoltaico no produce electricidad.

La tecnología actual permite usar baterías de plomo ácido de larga duración con exigencias de mantenimiento casi nulas.

En los sistemas aislados también hace falta instalar también un regulador de carga, que fundamentalmente sirve para preservar las baterías de un exceso de carga del generador fotovoltaico y de un exceso de carga debido a la utilización. Ambas condiciones son nocivas para la correcta funcionalidad y la duración de los acumuladores.

En los sistemas aislados es necesario que el generador fotovoltaico esté dimensionado de la manera que permita, durante las horas de irradiación solar, tanto la alimentación de la cantidad de energía necesaria, como la recarga de las baterías de acumulación.

3.10. ACTUALIDAD Y FUTURO DE LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

Actualidad:

A día de hoy, Alemania, a la sombra de la potencia japonesa, se define como el segundo fabricante de carácter mundial de paneles fotovoltaicos, rondando los 5 millones de metros cuadrados de paneles solares, pese a su bajo porcentaje en la producción energética total. La venta de paneles fotovoltaicos se ha incrementado en todo el mundo a un ritmo anual del 40% en la última década. En la UE, el crecimiento medio anual ronda el 30%.

La ausencia de recursos o materia prima en el mercado como consecuencia de la retención de las fuentes actuales, ha condicionado y restringido el crecimiento de estas instalaciones solares. A mediados del 2008, la intervención de nuevas entidades emergentes en el mercado fotovoltaico, ha permitido que ciertas materias primas de este sector vean reducido su precio considerablemente; teniendo como claro ejemplo al silicio.

Actualmente en España, el obtener acceso a la red eléctrica viene condicionado por una serie de atribuciones por parte de la administración y por el consentimiento de la compañía eléctrica, encargada de distribuir dicha red en la zona. Esta compañía tiene el deber de establecer la conexión a la red eléctrica, no obstante, puestos en la práctica, los

trámites llevados a cabo por estas empresas, contienen el avance de las energías renovables.

Esta situación genera una fuerte contradicción entre los objetivos que persigue la Unión Europea para activar las energías limpias y la realidad de una leve liberalización dentro del sector energético español, lo que obstaculiza el impulso y la libertad competitiva de las energías renovables.

Futuro:

Hasta hace unos años el suministro eléctrico se basaba en la producción eléctrica en grandes centrales cuya energía debía distribuirse por tierra a lo largo de grandes distancias y en gran medida a la vista, a través de líneas de alta tensión.

Con la intensa difusión de las energías renovables y de las centrales combinadas de calor y energía (CHP) la realidad ha cambiado ya drásticamente. Ahora existen amplios programas para una producción totalmente descentralizada de la electricidad, *“Cien mil centrales pequeñas mejor que una grande”*, es el nuevo lema. Las centrales pequeñas y descentralizadas tienen pérdidas de distribución notablemente menores que las grandes. Además, admiten regulación rápida y según las necesidades exactas.

Las previsiones al año 2020 estiman que en el mundo habrá 82 millones de hogares que generarán su electricidad mediante energía solar fotovoltaica, 35 de los cuales estarán en Europa consiguiendo unas reducciones de emisiones de 700 millones de toneladas de CO₂ anuales, así como la de otros gases también del efecto invernadero.

Pero por donde va a venir la contribución más importante sin duda, de la energía solar a la humanidad, va a ser en el ámbito de la electrificación rural en países en vías de desarrollo. Se espera que mil millones de hogares dispongan en el año 2020 de electricidad generada mediante sencillas instalaciones que las permitan acceder a un mínimo umbral de confort proporcionado por el simple hecho de disponer de una pequeña cantidad de energía eléctrica para iluminación o bombeo de agua.

El verdadero reto de la energía fotovoltaica es incrementar su mercado y su demanda por los usuarios de todo el mundo.

En la medida que aumente la potencia instalada sus costes se reducirán y será una tecnología altamente competitiva. La ilimitada disponibilidad del recurso y sus múltiples aplicaciones la hacen capaz de aproximarse más al consumidor final, por lo que su desarrollo en los próximos años marcará el termómetro del cambio de cultura energética que necesita urgentemente la sociedad mundial.

El desarrollo de la energía fotovoltaica dependerá de que la inversión privada se dirija hacia ese tipo de proyectos y para eso es necesario que desde la política energética y económica se envíen las señales adecuadas para que ese mercado se desarrolle. El RD 436 para la fotovoltaica tuvo esa virtud y además empezó a movilizar muchos recursos financieros hacia las tecnologías renovables.

Una retribución suficiente y un marco estable a largo plazo, que no cambie las reglas de juego para todos cada tres años y que dé seguridad a la financiación de proyectos, sería una buena noticia para la energía solar fotovoltaica.

España está muy bien situada con cada vez más fabricantes de módulos que representan ya más del 30% de la producción europea y el 18% mundial.

Pero está mejor situada en los nuevos procesos tecnológicos que van a marcar el futuro de la energía solar. La conclusión es clara, la energía solar va a desarrollarse de forma espectacular en los próximos años en todo el mundo y España puede ser líder en ese mercado mundial.

4. NORMAS Y REGLAMENTOS APLICABLES

Para la realización del presente proyecto se han tenido en cuenta las siguientes disposiciones:

Es de aplicación toda normativa vigente en España que hace referencia de forma directa a los Sistemas Fotovoltaicos Aislados de Red:

- Ley 54/1997 se establece la posibilidad de que un productor destine su producción no a su venta a red (para terceros) sino a su consumo propio, ya sea autoconsumo total (consumo de 100% de la energía generada) o parcial. Esta definición del productor es la dada en la
- Ley tras la modificación por Real Decreto-Ley 7/2006, mediante la cual se incluye el concepto de auto productor en la definición de productor.
- Ley 38/1992 de impuestos especiales, el artículo 64 quinto sobre exenciones establece que la energía eléctrica destinada al autoconsumo de los titulares de las instalaciones no está sujeta al régimen de impuestos especiales, así como al autoconsumo en instalaciones de producción, transporte o distribución.
- Reglamento Electrotécnico de B.T. (Real Decreto 842/2002 de 2 de Agosto), e Instrucciones técnicas Complementarias:
 - ITC - BT 06, Redes Aéreas para la Distribución en Baja Tensión.
 - ITC - BT 07, Redes Subterráneas para la Distribución en Baja tensión.
 - ITC - BT 29, Instalaciones en locales de Características Especiales. (Locales Mojados)
 - ITC - BT 18, Instalaciones de Puesta a Tierra.
 - ITC - BT 24, Protección Contra los Contactos Directos e Indirectos.
 - ITC - BT 36, Instalaciones a Muy Baja Tensión.
 - ITC - BT 40, Instalaciones Generadoras de BT

- ITC - BT 17, Instalaciones de enlace. Dispositivos Generales e Individuales de mando y protección
 - IEC 60364-7-712 Electrical installations of buildings - Part 7-712: Requirements for special installations of buildings - Solar photovoltaic (PV) power supply systems.
-
- REAL DECRETO 1627/1997, de 24 de Octubre, por el que se establecen disposiciones mínimas de seguridad y salud en las obras de construcción.

 - REAL DECRETO 1955/2000, obtención de licencias de obras municipal.

 - Normas UNE

 - Plan General de Ordenación Urbana o Normas Subsidiarias del Municipio.

 - Ley 31/1995 sobre Prevención de Riesgos Laborales.

5. DESARROLLO DE LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

5.1. EL DESARROLLO FOTOVOLTAICO

El impulso global de la energía fotovoltaica ha conseguido unos ritmos de crecimiento que en la actualidad rondan el 40%. A pesar de este avance, las necesidades a cubrir por parte de las instalaciones eléctricas de carácter fotovoltaico siguen siendo insignificantes, a día de hoy y con vistas de futuro.

Esta insistencia nos llevaría a cumplir las predicciones establecidas tiempo atrás por muchos modelos económicos de entidades de gran índole; como por ejemplo Shell.

Es razonable, a la hora de diversificar las diferentes opciones energéticas, considerar cualquier alternativa a fin de que demuestre su potencial. Bajo esta base, la energía solar fotovoltaica intenta abrirse hueco dentro de los esfuerzos globales con el fin de aclimatar su modelo energético, puesto que su propia naturaleza la hace adecuada para hacer frente a los problemas medioambientales del modelo actual y porque el coste para respaldar su desarrollo es fácil de asumir.

El apoyo de la energía solar fotovoltaica en España, según el modelo de cálculo del ASIF (Asociación de industria fotovoltaica) con los datos de entrada que proporciona el Plan de Energías Renovables aprobado, supondría en el mes más desfavorable del período que cumple el Plan una

aportación de menos de medio euro en cada recibo de la luz de las familias españolas.

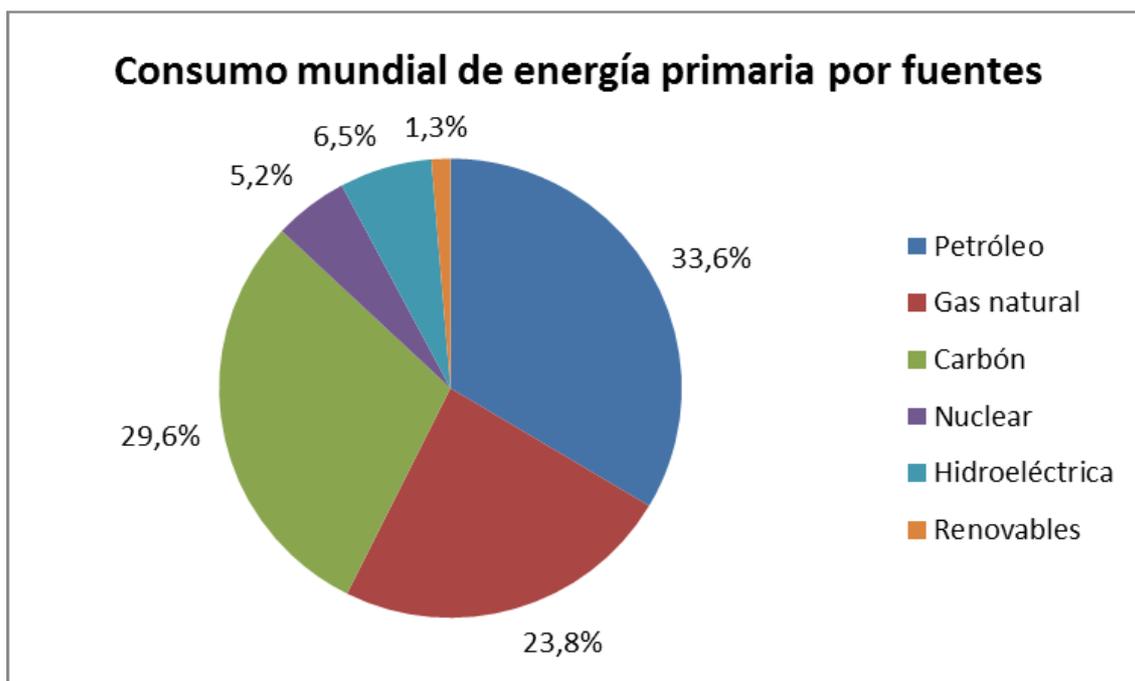


Figura 10. Previsión de la energía primaria mundial consumida por fuentes

Dentro de un periodo corto de tiempo no serán necesarias contribuciones de esta índole, tras conseguir el objetivo de que el coste de generar

electricidad en nuestra propia instalación fotovoltaica sea equivalente al precio que nos cobra la compañía eléctrica comercializadora.

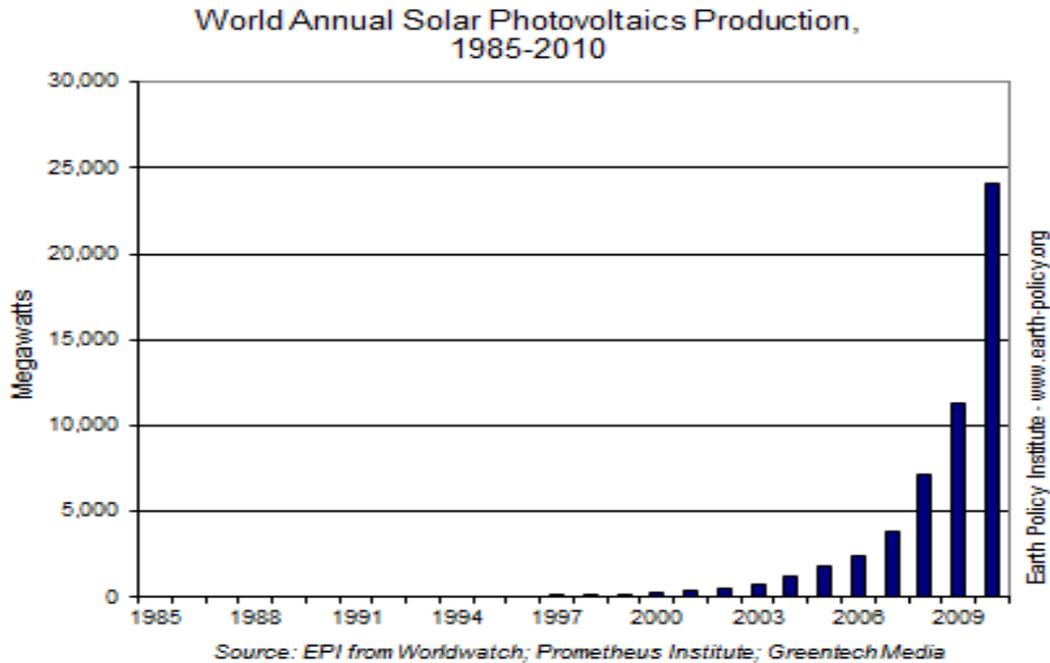


Figura 11. Instalado en el mundo (MW por año)

EL DESARROLLO FOTOVOLTAICO EN ESPAÑA

Se ha llevado a cabo una modificación considerable en el desarrollo fotovoltaico en España, con la aprobación de una metodología basada en la actualización y sistematización del régimen jurídico y económico de la actividad enfocada a la producción de energía eléctrica. Esta actuación ha dejado constancia en diferentes ámbitos.

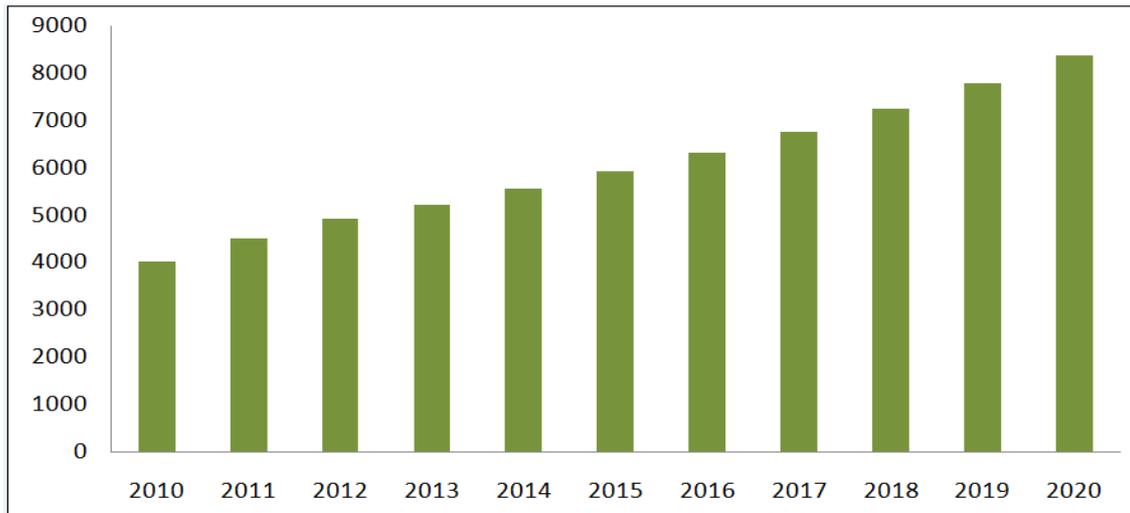


Figura 12. Previsión de energía solar fotovoltaica instalada en España (MW)

En el aspecto fiscal:

Se puede seguir cuestionando. Incluso con el mayor tamaño de las instalaciones fotovoltaicas que conlleva el nuevo contexto, su inscripción en el Registro Territorial como fábrica de electricidad (LEY38/92, LEY69/97, RD 1165/95 etc.). Así como la autorización, declaración, etc. correspondiente.

Es cierto que al ser instalaciones de baja potencia, la aplicación de este impuesto supone el pago de este impuesto especial, pero la burocracia mencionada sigue sin estar justificada para instalaciones hasta un cierto tamaño.

En el aspecto de la planificación:

El Plan de Energías Renovables (PER) aprobado en el Consejo de Ministros en Agosto del 2011, pone el objetivo de 400 MW. De instalaciones fotovoltaicas a finales de 2010, partiendo de los 37 MW instalados a finales del Año 2004. La planificación, que conviene que abarque el mayor número de años posibles para permitir un amplio horizonte, juega un papel muy importante, en especial en sectores como el fotovoltaico que requiere de muchas voluntades actuando coordinadamente.

En estos casos es especialmente oportuno disponer de una meta clara y común para que la Administración del Estado, Comunidades Autónomas, industria fotovoltaica, compañías eléctricas, banca privada, etc. sepan hacia dónde van. El PER plantea un objetivo que podía haber sido superior, ASIF proponía 1.000 MW al pensar que era factible (crecimiento del 100% anual), y que nos acercaría rápidamente a nuestro objetivo último de ser líderes en esta tecnología, pero el objetivo del Plan de 400 MW es suficiente para ser un reto por lo que no procede a estas alturas.

En el aspecto I+D+i:

España sigue siendo un país con un gran patrimonio de científicos y técnicos según el informe de RENOVALIA: existen más de 170 investigadores en las tecnologías fotovoltaicas. Estos investigadores no siempre están respaldados por un apoyo económico que permita desarrollar sus ideas y trabajo con plenitud. Existe además la duda de si ese amplio patrimonio está lo suficientemente coordinado para evitar duplicaciones o pérdida de sinergias. España está investigando en varios campos, en tecnología de células y módulos (purificación y crecimiento de silicio, generadores de alta eficiencia, de lámina delgada, de tercera generación, etc.) en electrónica, en integración arquitectónica, etc.

Sin embargo no todos los campos pueden abordarse con la intensidad necesaria y coherente con la industria. Uno de ellos, el de la purificación y crecimiento del silicio, se ha mostrado clave, pues quien tenga la tecnología más eficiente en estos procesos podrá dominar el desarrollo fotovoltaico en los próximos años. Los distintos esfuerzos que se han iniciado en este campo en España deben coordinarse y ser apoyados económicamente por la administración.

El desarrollo fotovoltaico en el mundo:

El silicio solar la producción de paneles solares fotovoltaicos sigue estando dominada por las células de silicio cristalino las cuales presentan “una madurez tecnológica total en nuestros días” como indica el informe de la Fundación COTEC. La producción española es toda ella de silicio cristalino.

Los generadores fotovoltaicos fabricados el año pasado supusieron un incremento respecto al año anterior del 60%. Esta es una de las razones

por las que se está observando una escasez de módulos respecto a la demanda. La razón última de estas tensiones de demanda-oferta hay que buscarlas en la insuficiente capacidad coyuntural de purificación del silicio.

La forma de hacerlo es mediante una transformación del silicio metalúrgico sólido en gas silano o triclorosilano del cual se extrae el silicio sólido con la pureza adecuada. La escasez de silicio de grado solar es coyuntural porque no hay limitaciones de silicio, ni silicio metalúrgico- las necesidades actuales de silicio solar son menos del 2% de la producción del silicio metalúrgico, ni del capital dispuesto a invertir en una industria como es la de la purificación que tiene un gran futuro y es rentable.

Esta rentabilidad la proporciona, entre otras razones, el hecho que, por la escasez actual, el silicio de grado solar haya subido de precio y haga las inversiones atractivas. El aumento de un 100% del precio de esta materia prima, dependiendo de las tecnologías, repercute en un 10% aproximadamente en el módulo, y si el coste del módulo es del 50% del precio final del sistema llave en mano, la subida de la materia prima supone un incremento del 5% en el sistema fotovoltaico.

Como se verá más adelante, esa subida, en los sistemas fotovoltaicos vendidos en el mercado español, están siendo compensadas por la bajada de precios que supone el mayor volumen y maduración del mercado en nuestro país.

Esta situación coyuntural va a medio plazo hacia un resultado positivo: en un sector fotovoltaico con una producción importante de materia prima y por tanto en un sector más maduro, fuerte y más independiente del sector electrónico.

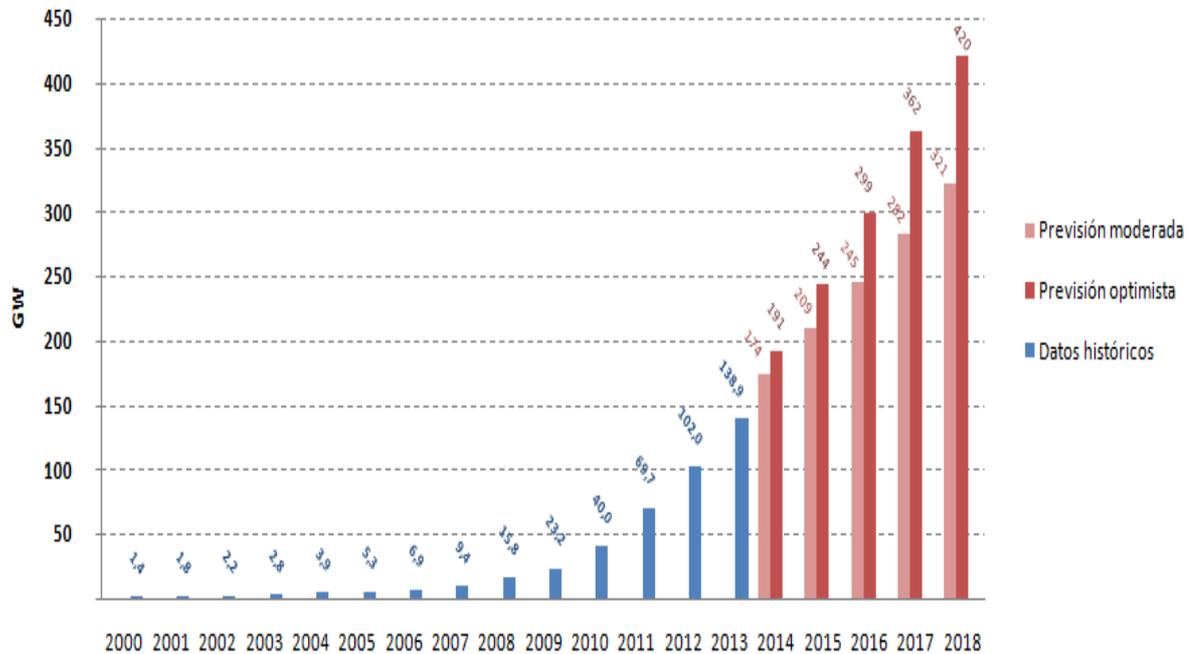


Figura 13. Potencia fotovoltaica instalada en el mundo (GW)

6. DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACIÓN Y SUS COMPONENTES

6.1. DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACIÓN

El presente proyecto recoge un estudio técnico de viabilidad orientado hacia el autoconsumo de una instalación solar fotovoltaica aislada en una vivienda rural unifamiliar, sita en el municipio de Cabezón de la Sal, en Casar de Periedo (Cantabria), para ser exactos.

La instalación será sobre una parte del tejado de dicha vivienda, con el fin de que suministre energía eléctrica procedente del Sol a la vivienda para su autoconsumo.

6.2. CARACTERÍSTICAS DE LA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA

- *Potencia nominal de la instalación (KW): 4.32 Kw*
- *Superficie del campo de paneles (m²): 27.9 m²*
- *Seguimiento solar (si/no): NO*

6.2.1. EL GENERADOR FOTOVOLTAICO

Está formado por la interconexión en serie y paralelo de un determinado número de módulos fotovoltaicos, encargados de captar la luz del Sol y transformar la energía eléctrica generando una corriente continua proporcional a la radiación recibida.

En nuestro caso el grupo generador está formado por un total de 16 módulos fotovoltaicos de silicio mono-cristalino, de 270 Wp de potencia máxima, distribuidos en 4 ramas en paralelo de 4 módulos en serie cada rama. Un total de 16 paneles formarán el generador fotovoltaico.

El panel solar seleccionado es el modelo **ATERSA A - 270M GSE mono-cristalino**. La garantía del fabricante es de 10 años contra defectos de fabricación y de 25 años en rendimiento.

LAS CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS (EN STC) SON:

TIPO		MONOCRISTALINO
MARCA		ATERSA
VOLTAJE A CIRCUITO ABIERTO	<u>Voc</u>	39,12 V
VOLTAJE A POTENCIA MAXIMA	<u>Vmp</u>	32,31 V
CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO	<u>Isc</u>	8,88 A
CORRIENTE A POTENCIA MAXIMA	<u>Imp</u>	8,36 A
POTENCIA MAXIMA	<u>Pmax</u>	270 Wp
COEF. DE TEMPERATURA DE P _{MAX}	%/°C	- 0,41%/°C
POTENCIA REAL A Tª MEDIA MAXIMA	P _{RMAX}	271,025 W

Tabla 6.1. Características módulo fotovoltaico

STC: Standard Test Conditions (condiciones estándar de medida)

En cumplimiento de los requisitos técnicos indicados en el Pliego de Condiciones Técnicas emitido por el IDAE los módulos seleccionados cumplen las siguientes características:

- Satisfacen las especificaciones indicadas por la norma UNE-EN 61215.
- Identificación visible e indeleble del modelo y nombre ó logotipo del fabricante.
- Diodos de derivación para evitar posibles averías de las células y sus circuitos por sombreados parciales.
- Potencia máxima y corriente de cortocircuito reales referidas a condiciones estándar comprendidas en el margen del ± 5 %.

6.2.2. EL REGULADOR DE CARGA

Es el dispositivo encargado de proteger a la batería de sobrecargas y descargas profundas. Controla constantemente el estado de carga de las baterías y regula la intensidad de carga de las mismas para alargar su vida útil. También genera alarmas en función del estado de dicha carga.

Los reguladores actuales introducen micro-controladores para la correcta gestión de un sistema fotovoltaico. Su programación elaborada permite un control capaz de adaptarse a las distintas situaciones de forma automática, permitiendo la modificación manual de sus parámetros de funcionamiento para instalaciones especiales. Para ello, consideran los valores de tensión, temperatura, intensidad de carga y descarga, y capacidad del acumulador.

SISTEMA DE REGULACIÓN, ¿CÓMO TRABAJAN LOS REGULADORES DE CARGA?

- REGULACIÓN DE LA INTENSIDAD DE CARGA DE LAS BATERÍAS:
IGUALACIÓN, CARGA PROFUNDA, FLOTACIÓN:

IGUALACIÓN:

Esta respuesta del regulador permite la realización automática de cargas de igualación de los acumuladores tras un período de tiempo en el que el

estado de carga ha sido bajo, reduciendo al máximo el gaseo en caso contrario.

CARGA PROFUNDA:

Tras la igualación, el sistema de regulación permite la entrada de corriente de carga a los acumuladores sin interrupción hasta alcanzar el punto de tensión final de carga. Alcanzado dicho punto el sistema de regulación interrumpe la carga y el sistema de control pasa a la segunda fase, la flotación.

Cuando se alcanza la tensión final de carga, la batería ha alcanzado un nivel de carga próximo al 90% de su capacidad, en la siguiente fase se completará la carga.

CARGA FINAL Y FLOTACIÓN:

La carga final del acumulador se realiza estableciendo una zona de actuación del sistema de regulación dentro de lo que denominamos "Banda de Flotación Dinámica". La BFD es un rango de tensión cuyo valor

máximo y mínimo se fijan entre la tensión final de carga y la tensión nominal +10% aproximadamente. Una vez alcanzado el valor de voltaje de plena carga de la batería, el regulador inyecta una corriente pequeña para mantenerla a plena carga, esto es, inyecta la corriente de flotación. Esta corriente se encarga por tanto de mantener la batería a plena carga y

cuando no se consuma energía se emplea en compensar la auto descarga de las baterías.

- INDICADORES DE ESTADO: DESCONEXIÓN DEL CONSUMO POR BAJA TENSIÓN DE BATERÍAS, ALARMAS DE SEÑALIZACIÓN:

DESCONEXIÓN DEL CONSUMO POR BAJA TENSIÓN DE BATERÍA:

La desconexión de la salida de consumo por baja tensión de batería indica una situación de descarga del acumulador próxima al 70% de su capacidad nominal.

Si la tensión de la batería disminuye por debajo del valor de tensión de maniobra de desconexión de consumo durante más de un tiempo establecido, se desconecta el consumo.

Tensión de desconexión del consumo: tensión de la batería a partir de la cual se desconectan las cargas de consumo.

ALARMA POR BAJA TENSIÓN DE BATERÍA:

La alarma por baja tensión de batería indica una situación de descarga considerable. A partir de este nivel de descarga las condiciones del acumulador comienzan a ser comprometidas desde el punto de vista de la descarga y del mantenimiento de la tensión de salida frente a intensidades elevadas.

Esta alarma está en función del valor de la tensión de desconexión de consumo (siempre se encontrará 0,05 volt/elem. por encima). En el regulador DSD, Si la tensión de la batería disminuye por debajo del valor de la alarma durante más de 10segundos aprox. se desconecta el consumo. El regulador entra entonces en la fase de igualación y el consumo no se restaurará hasta que la batería no alcance media carga. Además, incluye una señal acústica para señalar la batería baja.

- PROTECCIONES TÍPICAS:

- Contra sobrecarga temporizada en consumo.
- Contra sobretensiones en paneles, baterías y consumo.
- Contra desconexión de batería.

- INDICADORES DE ESTADO/SEÑALIZADORES HABITUALES:

- Indicadores de tensión en batería.
- Indicadores de fase de carga.
- Indicadores de sobrecarga/cortocircuito.

PARÁMETROS IMPORTANTES QUE DETERMINAN SU OPERACIÓN:

- Intensidad máxima de carga ó de generación: Máxima intensidad de corriente procedente del campo de paneles que el regulador es capaz de admitir.
- Intensidad máxima de consumo: Máxima corriente que puede pasar del sistema de regulación y control al consumo.
- Voltaje final de carga: Voltaje de la batería por encima del cual se interrumpe la conexión entre el generador batería, o reduce gradualmente la corriente
- media entregada por el generador fotovoltaico.

- El regulador de carga de esta instalación es:

MIDNITE SOLAR CLASSIC LITE

Model	Classic Lite 200
Series	Classic LITE
Manufacturer	Midnite Solar

Más adelante se expondrán sus características de un modo más detallado.

6.2.3. BATERÍAS

La función prioritaria de las baterías en un sistema de generación fotovoltaico es la de acumular la energía que se produce durante las horas de luminosidad para poder ser utilizada en la noche o durante periodos prolongados de mal tiempo.

Entre las propiedades fundamentales de una batería solar destacan la capacidad de acumulación eléctrica de la batería, medida en amperios-hora (Ah) y la profundidad de la descarga.

La capacidad de acumulación de una batería medida en amperios-hora son el número de amperios que proporciona la batería solar por el número de horas, durante las cuales está aportando corriente de carga. Conocer este parámetro es fundamental antes de realizar la compra de una batería para un sistema solar, ya que en función del mismo sabremos la autonomía que tendrá la instalación en el caso de que la radiación solar sea nula o baja durante un período amplio de tiempo.

Existen algunos factores que pueden afectar la capacidad de una batería solar como son la temperatura ambiente o el ritmo de carga-descarga al que se la somete.

La profundidad de descarga es el porcentaje de la capacidad total que la batería utiliza durante un ciclo de carga y descarga. La profundidad de la descarga puede definir que encontremos baterías de ciclo “poco profundo”, diseñadas para descargas del 10% al 25%; y de “ciclo profundo”, diseñadas para descargas de hasta un 80%. Estas últimas son las baterías más empleadas en sistemas de energía solar para autoconsumo.

Cuantas menos descargas profundas tiene una batería su durabilidad y vida útil será mayor.

- Interacción entre módulos fotovoltaicos y baterías:

Normalmente el banco de baterías y los módulos fotovoltaicos trabajan conjuntamente para alimentar las cargas. Durante la noche toda la energía demandada por la carga la provee el banco de baterías. En horas tempranas de la mañana los módulos comienzan a generar, pero si la corriente que entregan es menor que la que la carga exige, la batería deberá contribuir en el aporte. A partir de una determinada hora de la mañana la energía generada por los módulos fotovoltaicos superará la energía promedio demandada, los módulos no sólo atenderán la demanda sino que además todo exceso se almacenará en la batería que empezará a cargarse y a recuperarse de su descarga de la noche anterior.

Finalmente durante la tarde, la corriente generada decrece y cualquier diferencia con la demanda la entrega a la batería. En la noche la generación es nula y todo el consumo lo afronta la batería.

TIPOS DE BATERÍAS:

- Baterías de plomo-ácido de electrolito líquido:

Las baterías de plomo ácido se aplican frecuentemente en los sistemas de generación fotovoltaicos. Dentro de la categoría plomo-ácido, las de plomo-antimonio, plomo-selenio y plomo-calcio son las más comunes. La unidad de construcción básica de una batería es la celda de 2 voltios. Dentro de la celda, la tensión real de la batería depende de su estado de carga, si está cargando, descargando o en circuito abierto.

Cuando las celdas de 2 voltios se conectan en serie (POSITIVO a NEGATIVO) las tensiones de las celdas se suman, obteniéndose de esta manera baterías de 4, 6, 12 voltios, etc.

Si las baterías están conectadas en paralelo (POSITIVO a POSITIVO y NEGATIVO a NEGATIVO) las tensiones no cambian, pero se sumarán sus capacidades de corriente. Sólo se deben conectar en paralelo baterías de igual tensión y capacidad.

Se puede hacer una clasificación de las baterías en base a su capacidad de almacenamiento de energía (medido en Ah a la tensión nominal) y a su ciclo de vida (número de veces en que la batería puede ser descargada y cargada a fondo antes de que se agote su vida útil).

La capacidad de almacenaje de energía de una batería depende de la velocidad de descarga. La capacidad nominal que la caracteriza corresponde a un tiempo de descarga de 10 horas. Cuanto mayor es el tiempo de descarga, mayor es la cantidad de energía que la batería entrega. Un tiempo de descarga típico en sistemas fotovoltaicos es 100 horas. Por ejemplo, una batería que posee una capacidad de 80 Ah en 10 hs (capacidad nominal) tendrá 100 Ah de capacidad en 100 hs. Dentro de las baterías de plomo-ácido, las denominadas de estacionarias de bajo contenido de antimonio son una buena opción en sistemas fotovoltaicos.

Elas poseen unos 2500 ciclos de vida cuando la profundidad de descarga es de un 20% y unos 1200 ciclos cuando la profundidad de descarga es del 50%. Las baterías estacionarias poseen además una baja auto-descarga y un reducido mantenimiento.

- *Baterías selladas gelificadas:*

Estas baterías incorporan un electrolito del tipo gel con consistencia que puede variar desde un estado muy denso al de consistencia similar a una jalea. No se derraman, pueden montarse en casi cualquier posición y no admiten descargas profundas.

- Electrolito absorbido:

El electrolito se encuentra absorbido en una fibra de vidrio micro poroso o en un entramado de fibra polimérica.

Al igual que las anteriores no se derraman, admiten cualquier posición y admiten descargas moderadas.

Tanto estas baterías como las gelificadas no requieren mantenimiento en forma de agregado de agua y no desarrollan gases evitando el riesgo de explosión.

Las principales características son:

- 1) El electrolito es alcalino.
- 2) Admiten descargas profundas de hasta el 90% de la capacidad nominal.
- 3) Bajo coeficiente de auto-descarga.
- 4) Alto rendimiento ante variaciones extremas de temperatura.
- 5) La tensión nominal por elemento es de 1,2 Volts.
- 6) Alto rendimiento de absorción de carga (mayor al 80 %).
- 7) Muy alto costo comparado con el de las baterías ácidas.

Las baterías de esta instalación son:

BATERÍA HAWKER (ECOSAFE) TYS-8 8 OPzS

Más adelante se expondrán sus características de un modo más detallado.

6.2.4. EL INVERSOR

Es un dispositivo electrónico cuya función es la de convertir la CC de la instalación fotovoltaica en CA para la alimentación de los receptores que trabajan en CA. Permite por tanto:

- Utilizar receptores de CA en instalaciones aisladas de red.
- Conectar los sistemas fotovoltaicos a la red de distribución eléctrica.

TIPOS DE INVERSORES:

- Inversores de conmutación natural, o inversores conmutados por la red, por ser ésta la que determina el fin del estado de conducción en los dispositivos electrónicos. Su aplicación es para sistemas fotovoltaicos conectados a la red. Actualmente están siendo desplazados por los inversores de conmutación forzada tipo PWM, conforme se desarrollan los transistores de tipo IGBT para mayores tipos de tensión y corriente.
- Inversores de conmutación forzada o auto-conmutados. Son para los sistemas fotovoltaicos aislados, nuestro caso. Permiten generar corriente alterna mediante conmutación forzada, que se refiere a la apertura y cierre forzados por el sistema de control. Pueden ser de salida escalonada (onda cuadrada) o de modulación por anchura de pulsos (PWM), con los que se pueden conseguir salidas prácticamente senoidales y por tanto con poco contenido de armónicos. Se consiguen rendimientos por encima del 90%, incluso con bajos niveles de carga.

La eficiencia de un inversor no es constante y depende del régimen de carga al que esté sometido. Para regímenes de carga próximos a la potencia nominal, la eficiencia es mayor que para regímenes de carga bajos.

Durante los períodos nocturnos el inversor permanece parado vigilando los valores de tensión del bus DC del generador fotovoltaico. Al amanecer,

la tensión del generador fotovoltaico aumenta, lo que pone en funcionamiento el inversor que comienza a inyectar corriente en la red si la potencia disponible en paneles supera un valor umbral o mínimo.

Las principales características vienen determinadas por la tensión de entrada del inversor, que se debe adaptar a la del sistema, la potencia máxima que puede proporcionar la forma de onda en la salida (sinusoidal pura o modificada, etc.), la frecuencia de trabajo y la eficiencia, próxima al 85%.

A continuación se describe el funcionamiento del equipo frente a situaciones particulares:

- Fallo en el suministro:

En el caso en que se interrumpa el suministro en la red eléctrica, el inversor se encuentra en situación de circuito abierto, en este caso el inversor se desconecta por completo y espera que se restablezca la tensión en la red para iniciar de nuevo su funcionamiento.

- Temperatura elevada:

El inversor dispone de un sistema de refrigeración por convección. Está calculado para un rango de temperaturas similar al que puede haber en el interior de una vivienda. En el caso de que la temperatura ambiente se incremente excesivamente o accidentalmente se tapen los canales de ventilación, el equipo seguirá funcionando pero reducirá la potencia de trabajo a fin de no sobrepasar internamente los 75°C. Esta situación se indica con el led de temperatura intermitente. Si internamente se llega a 80°C, se parará y el intermitente quedará fijo iluminado.

- Tensión del generador fotovoltaico baja:

En este caso, el inversor no puede funcionar. Es la situación en la que se encuentra durante la noche, en días muy nublados o si se desconecta el generador solar. El led de paneles estará fijo apagado.

- Intensidad de generador fotovoltaico insuficiente:

Los generadores fotovoltaicos alcanzan el nivel de tensión de trabajo a partir de un valor de radiación solar muy bajo. Cuando el inversor detecta que se dispone de tensión suficiente para iniciar el funcionamiento, el sistema se pone en marcha solicitando potencia del generador fotovoltaico. Si el generador no dispone de suficiente potencia debido a que la radiación solar es muy baja, el valor de intensidad mínima de funcionamiento no se verifica, lo que genera una orden de parada del equipo. Y posteriormente se inicia un nuevo intento de conexión. El intervalo entre intentos es aproximadamente de 3 minutos.

El inversor elegido es el siguiente:

INVERSOR/CARGADOR VICTRON MULTIPLUS

48/5000/70 - 100

Modelo: PR. 0284



Figura 14. Inversor

MultiPlus	12 voltios 24 voltios 48 voltios	C 12/800/35 C 24/800/16	C 12/1200/50 C 24/1200/25	C 12/1600/70 C 24/1600/40	C 12/2000/80 C 24/2000/50	12/3000/120 24/3000/70 48/3000/35	24/5000/120 48/5000/70
PowerControl		SI	SI	SI	SI	SI	SI
PowerAssist		SI	SI	SI	SI	SI	SI
Conmutador de transferencia (A)		16	16	16	30	16 ó 50	50
Funcionamiento en paralelo y en trifásico		SI	SI	SI	SI	SI	SI
INVERSOR							
Rango de tensión de entrada (V CC)		9,5 – 17 V		19 – 33 V	38 – 66 V		
Salida		Tensión de salida: 230 VAC ± 2%			Frecuencia: 50 Hz ± 0,1% (1)		
Potencia cont. de salida a 25 °C (VA) (3)		800	1200	1600	2000	3000	5000
Potencia cont. de salida a 25 °C (W)		700	1000	1300	1600	2500	4500
Potencia cont. de salida a 40 °C (W)		650	900	1200	1450	2200	4000
Pico de potencia (W)		1600	2400	3000	4000	6000	10.000
Eficacia máxima (%)		92 / 94	93 / 94	93 / 94	93 / 94	93 / 94 / 95	94 / 95
Consumo en vacío (W)		8 / 10	8 / 10	8 / 10	9 / 11	15 / 15 / 16	25 / 25
Consumo en vacío en modo de ahorro (W)		5 / 8	5 / 8	5 / 8	7 / 9	10 / 10 / 12	20 / 20
Consumo en vacío en modo de búsqueda (W)		2 / 3	2 / 3	2 / 3	3 / 4	4 / 5 / 5	5 / 6
CARGADOR							
Entrada CA		Rango de tensión de entrada: 187-265 V CA			Frecuencia de entrada: 45 – 65 Hz	Factor de potencia: 1	
Tensión de carga de 'absorción' (V CC)		14,4 / 28,8 / 57,6					
Tensión de carga de flotación (V CC)		13,8 / 27,6 / 55,2					
Modo de almacenamiento (V CC)		13,2 / 26,4 / 52,8					
Corriente de carga batería casa (A) (4)		35 / 16	50 / 25	70 / 40	80 / 50	120 / 70 / 35	120 / 70
Corriente de carga batería de arranque (A)		4 (solo modelos de 12 y 24V)					
Sensor de temperatura de la batería		sí					
GENERAL							

Tabla 6.2. Características inversor

- El inversor cumple con las directivas comunitarias de Seguridad Eléctrica y compatibilidad incorporando protecciones frente a:

- Cortocircuitos en alterna.
- Tensión de red fuera de rango.
- Frecuencia de red fuera de rango.
- Sobretensiones mediante varistores o similares.
- Perturbaciones presentes en la red como microcortes, pulsos, defectos de ciclos, ausencia y retorno de la red, etc.

- En cuanto a las características eléctricas, el inversor cumple los requisitos indicados en el pliego de Condiciones Técnicas de IDAE:

- El inversor seguirá entregando a la red potencia de forma continuada en condiciones de irradiancia solar de un 10% superiores a las CEM. Además soportará picos de un 30% superior a las CEM durante periodos de hasta 10 segundos.
- Los valores de eficiencia al 25 y 100% de la potencia de salida nominal son del 90 al 92%.

- En el "stand-by" o "modo nocturno" deberá ser inferior al 2% de su potencia de salida nominal.
- Los inversores estarán garantizados para operación en las siguientes condiciones ambientales: entre 0 °C y 40 °C de temperatura y 0% a 85% de humedad relativa.

6.2.5. GRUPO ELECTRÓGENO

Como grupo auxiliar de la instalación, el grupo electrógeno a gasóleo se encarga de generar electricidad cuando no hay radiación solar, o cuando se gasta la batería.

Grupo electrógeno elegido para esta instalación:



6.2.6. PROTECCIONES

El sistema consta, además, de las necesarias protecciones y correspondiente instalación de puesta a tierra.

Así pues, la instalación queda estructurada como sigue:

- Módulos fotovoltaicos
- Estructura soporte
- Inversor
- Líneas eléctricas de alimentación
- Cuadro general de distribución
- Puesta a tierra

6.2.7. LÍNEAS ELÉCTRICAS DE ALIMENTACIÓN

El tipo de conductor a emplear será unipolar no propagador de incendio y con emisión de humos y opacidad reducida, de acuerdo con la Norma UNE 21 123, Parte 2., especificación RV-k Cu con tensión asignada 0.6/1 Kv.

La caída de tensión que deben soportar los cables debe ser menor al 1,5%, según las directrices del IDAE, tanto en el tramo de corriente continua (DC) como en el tramo de corriente alterna (AC).

El conductor elegido para la instalación es:

REVIFLEX RV-k 0.6/1 Kv

unipolar, cuyas características son:

INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA AISLADA EN VIVIENDA RURAL UNIFAMILIAR
UNIVERSIDAD DE CANTABRIA

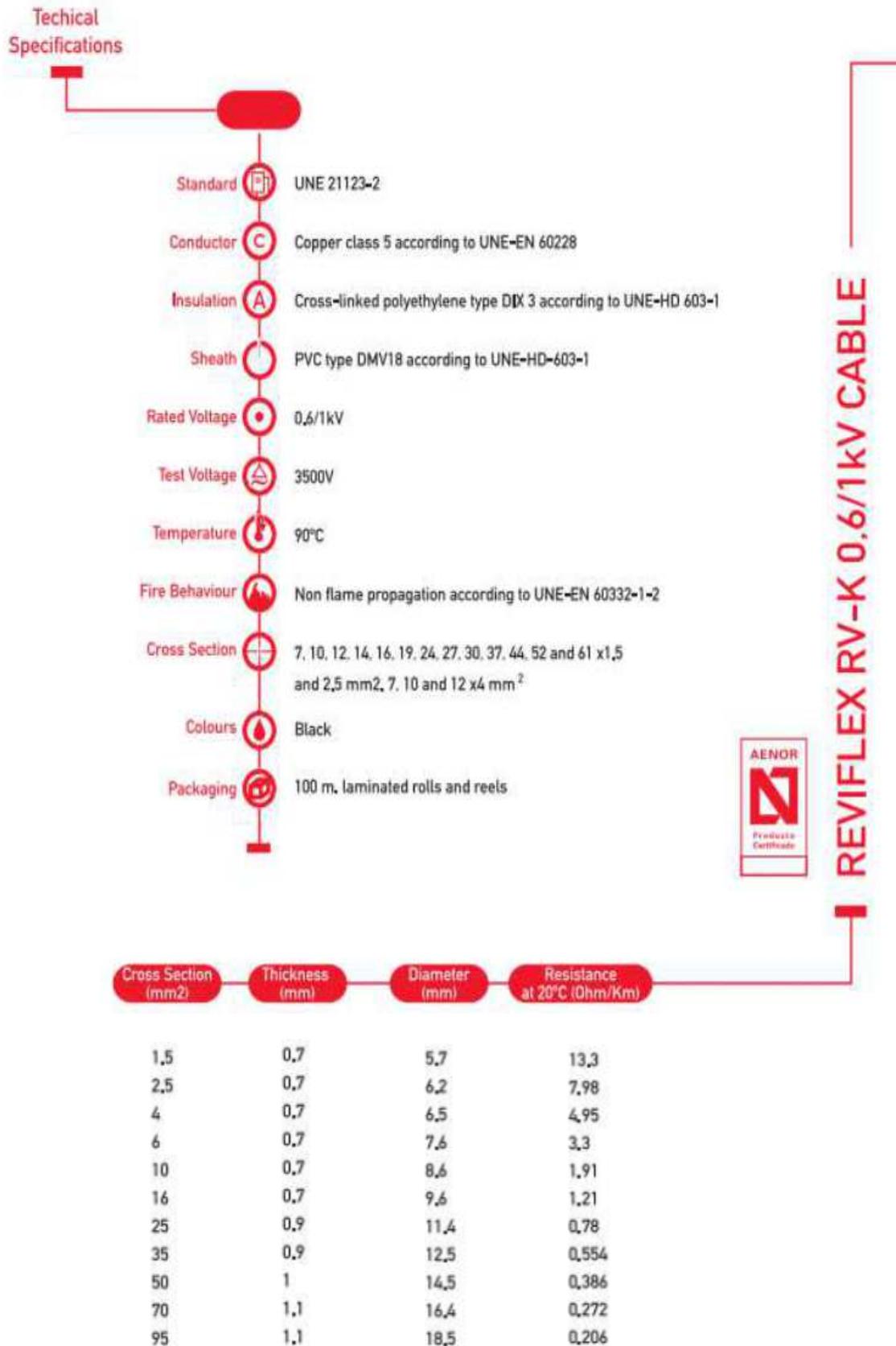


Figura 15. Características conductor instalación fotovoltaica

7. PRESUPUESTO

El presupuesto total de la instalación solar fotovoltaica asciende a: 33.586,89 €.

"Treinta y tres mil quinientos ochenta y seis euros coma ochenta y nueve céntimos"

AMORTIZACIÓN:

Si tomamos que los equipos pueden producir energía durante 7 horas a un rendimiento medio diario de un 75,15% (teniendo en cuenta el rendimiento de los aparatos, la media anual tomando en consideración el porcentaje de días nublados, la media de horas de captación entre verano e invierno, y que con las horas cambia el ángulo de incidencia de los rayos solares), se generarían:

$$N_{\text{nominal inversor}} = 5000 \text{ W}$$

$$W_{\text{h (generados)}} = 5000 \text{ W} \times 7 \text{ h.} \times 0,7515 = 26.302,5 \text{ Wh}$$

Lo que supondría un ahorro de 26,302 KW por día de funcionamiento. Si calculamos lo correspondiente a un año:

$$26.302,5 \text{ Wh} \times 365 \text{ días} = 9.600 \text{ KWh}$$

Teniendo en cuenta que la media del KWh actual es de 0,15 €, y añadiendo además el 21% de I.V.A., esta producción representaría un ahorro de:

$$9.600 \text{ KWh} \times 0,15 \text{ €/KWh} \times 1.21 \text{ (IVA)} = 1742,4 \text{ € de ahorro anual.}$$

Nuestro presupuesto asciende a 33.586,89 €, por lo que el tiempo estimado en recuperar la inversión será:

$$33.586,89 \text{ €} / 1742,4 \text{ €} \approx 19 \text{ años}$$

8. ORIENTACION E INCLINACION

Influencia del Sol:

Como regla general hay que decidir la posición del sol respecto del colector, puesto que hay que instalarlo en un lugar donde reciba la mayor cantidad de sol posible. Ello nos lleva a tener en cuenta dos factores básicos:

- La orientación
- La inclinación

La energía solar en forma de radiación es la energía renovable más abundante y bien distribuida. Pero a pesar de su abundancia, esta energía presenta dos grandes inconvenientes:

- Es bastante difusa (de baja concentración).
- Está sometida a movimientos de traslación y rotación de la tierra.

Debido a estos dos movimientos, uno realizando una órbita elíptica y otro girando al mismo tiempo sobre su propio eje, hace que dependiendo de la época del año, un punto terrestre ve movimientos del sol variables sobre el horizonte: el sol saldrá antes o después, o la altura de éste al mediodía será mayor o menor.

Por lo tanto, la energía que llega a la superficie terrestre a través de la radiación solar depende básicamente del lugar (latitud), de la declinación solar y de la inclinación y orientación de la superficie colectora.

Es por esto por lo que en el estudio y en lo referente al cálculo de la instalación, la información utilizada siempre irá referida al promedio de los factores anteriormente citados. Dichos factores también engloban consigo la situación geográfica y la climatología, a través de datos medios de insolación tomados en el lugar elegido.

Los datos más característicos de nuestra comunidad autónoma proporcionados por la base de datos de la NASA, son:

	Air temperature	Relative humidity	Daily solar radiation - horizontal	Atmospheric pressure	Wind speed	Earth temperature	Heating degree-days	Cooling degree-days
	°C	%	kWh/m ² /d	kPa	m/s	°C	°C-d	°C-d
January	8.1	71.9%	1.61	97.9	6.7	8.5	301	10
February	8.3	71.5%	2.43	97.9	6.2	9.0	267	14
March	10.0	66.6%	3.77	97.8	6.0	10.9	242	37
April	11.2	66.4%	4.87	97.4	5.9	12.4	204	53
May	14.4	65.1%	5.78	97.5	4.9	15.8	119	137
June	17.5	63.6%	6.19	97.8	4.5	19.5	45	224
July	19.7	63.7%	6.22	97.8	4.8	21.7	12	299
August	20.3	64.0%	5.42	97.7	4.6	22.2	6	320
September	18.6	63.5%	4.32	97.7	4.7	20.0	23	260
October	15.6	65.8%	2.79	97.6	5.5	16.2	80	177
November	11.6	70.3%	1.75	97.6	6.1	12.0	188	64
December	9.3	72.8%	1.34	97.8	6.3	9.5	266	22
Annual	13.7	67.1%	3.87	97.7	5.5	14.8	1753	1617
Measured at (m)					10.0	0.0		

Tabla 8.1. Datos de insolación para Cantabria

Podemos decir que debido a la Corriente del Golfo, Cantabria, al igual que el resto de la región Cantábrica, tiene unas temperaturas mucho más suaves que las que les correspondería por su latitud, similar a la de Nueva Escocia en Norteamérica. La región está afectada por un clima templado oceánico húmedo, con veranos e inviernos suaves. Las precipitaciones se sitúan en torno a 1200 mm anuales en la costa, aumentando los valores en las zonas montañosas hasta los 1.600 mm, lo que la sitúa en la denominada España húmeda.

La temperatura media se sitúa alrededor de los 14°C. La nieve es frecuente en las partes altas de Cantabria entre los meses de octubre y marzo.

Los meses más secos son julio y agosto, aunque generalmente no existe sequía propiamente dicha, ya que por una parte siempre existe un mínimo de precipitación, y por otra las temperaturas no son muy elevadas.

La influencia del relieve montañoso de Cantabria es destacable sobre su clima, siendo la causa principal de fenómenos atmosféricos peculiares como son las llamadas suradas, propiciadas por el efecto Foehn. El viento del sur sopla fuerte y seco, aumentando la temperatura a medida que nos acercamos a la costa. Esto provoca una llamativa disminución de la humedad relativa del aire y la ausencia de precipitaciones. Condiciones que contrastan con las de la vertiente sur de la cordillera donde el viento es más fresco y húmedo y puede estar lloviendo. Estas situaciones son más frecuentes en otoño e invierno, registrándose unas temperaturas anormalmente altas de más de 28 °C. No son inusuales los incendios avivados por este viento, como el que arrasó la ciudad de Santander en el invierno de 1941.

Por otro lado, las zonas costeras suelen estar sometidas a vientos constantes provenientes del Océano Atlántico, que frecuentemente llegan a ser fuertes. En condiciones muy particulares, más propicias en los meses de abril-mayo y septiembre-octubre, los vientos del Oeste pueden alcanzar magnitudes de galerna.

Orientación:

Nuestro objetivo es conseguir el máximo aprovechamiento que posee la radiación solar, y para ello es necesario que los paneles estén orientados en una posición lo más perpendicular posible a los rayos solares.

La posición de los paneles no variará con el movimiento del Sol, dado que no se realizará la instalación de ningún sistema de seguimiento solar, debido a lo caro y costoso de la instalación, por lo que los paneles solares se montarán orientados al Sur. Esta orientación nos proporcionará la mayor intensidad de radiación manteniendo los paneles en una posición estática.

Inclinación:

La inclinación del panel viene dada en función del emplazamiento, latitud del lugar, y demanda de energía prevista. Para una latitud determinada y un azimut de 0° (orientación hacia el sur), la radiación global (directa o difusa) incidente, varía a lo largo del año, según sea la inclinación de la superficie.

También junto al cálculo de la inclinación y orientación óptimas calcularemos las Horas Solar Pico (HSP) que nos servirá para definir la potencia del campo fotovoltaico y el cálculo del número de paneles solares a instalar.

Previamente comenzaremos a describir una serie de conceptos básicos, conceptos básicos para la ejecución de estos cálculos.

- Ángulo de inclinación β : ángulo que forma la superficie de los módulos fotovoltaicos con el plano horizontal. Su valor es 0° para módulos horizontales y 90° para módulos verticales.

- Ángulo de azimut α : 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 $+90^\circ$ para módulos orientados al oeste.

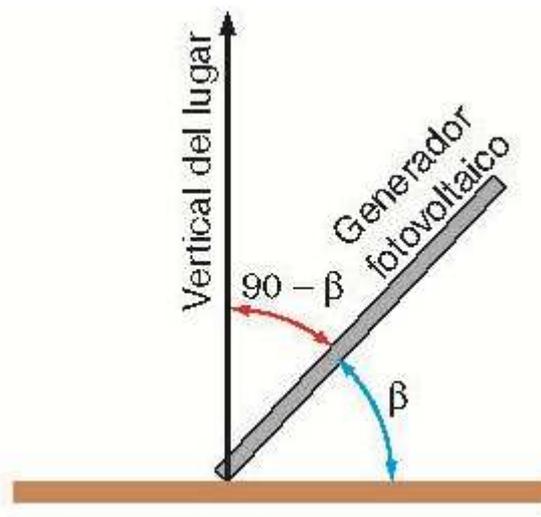


Figura 16. Ángulo de inclinación

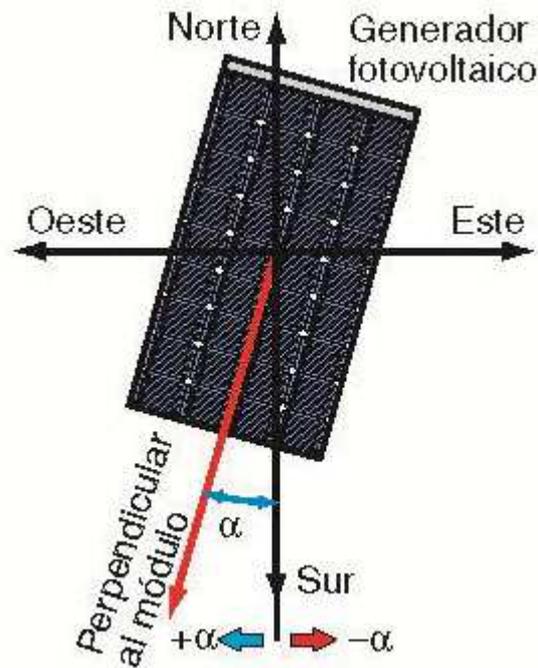


Figura 17

- Declinación δ : el ángulo que forma el plano del Ecuador de la Tierra con la línea situada en el plano de la eclíptica, que une los centros del Sol y de la Tierra. Este ángulo varía a lo largo de la órbita de la Tierra alrededor del Sol, alcanzando valores máximos en los solsticios de verano (declinación máxima positiva, $\delta= 23.45$) e invierno (declinación máxima negativa, $\delta= -23.45$) y valores nulos en los equinoccios (declinación nula, $\delta=0$) Aunque la declinación varía se puede suponer constante a lo largo de un día.

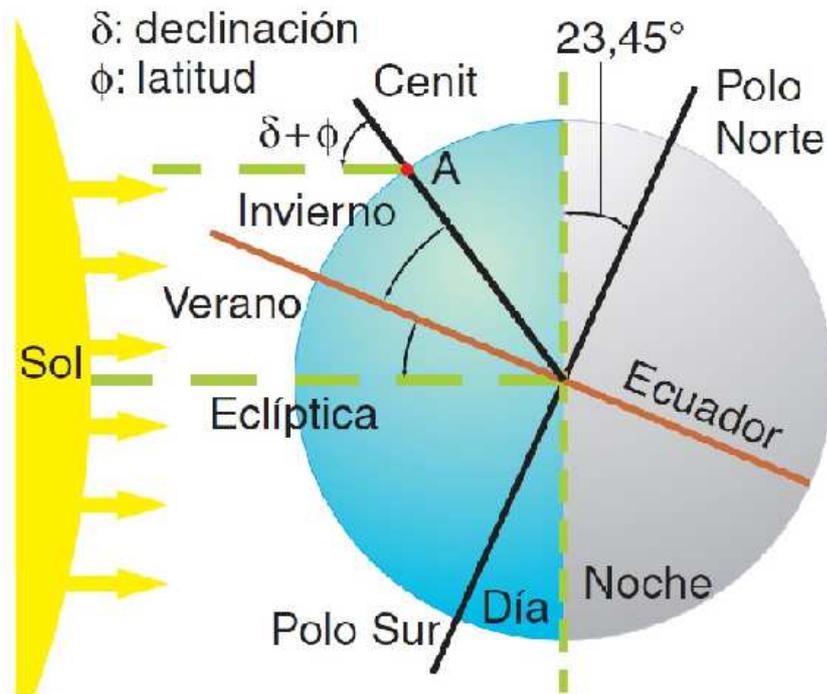


Figura 18. Declinación solar

La expresión de la declinación para un determinado día se calcula con la expresión:

$$\delta = 23,45 \times \text{sen} \left(360 \times \frac{284 + \delta n}{365} \right) \quad (3)$$

δ = Declinación (grados)

δn = Día del año (1,365), tomando 1 como el primer día de Enero

- Elevación Solar γ_s : es el ángulo que forman los rayos solares con la horizontal. Toma valores que van de $(90^\circ - \varphi - \delta)$ en el solsticio de invierno a $(90 - \varphi + \delta)$ en el solsticio de verano, siendo φ la latitud del lugar y δ la declinación.

- Acimut solar Ψ_s : ángulo formado por el meridiano del Sol y el meridiano del lugar, tomando como referencia el Sur en el hemisferio norte y el norte en el hemisferio sur. Tiene valores positivos de 0 a 180° hacia el Oeste y negativos de 0 a -180° hacia el Este.
- Ángulo o distancia cenital θ_{zs} : ángulo formado por la dirección del Sol y la vertical. Es el ángulo complementario de la elevación solar. (Figuras 20 y 21)

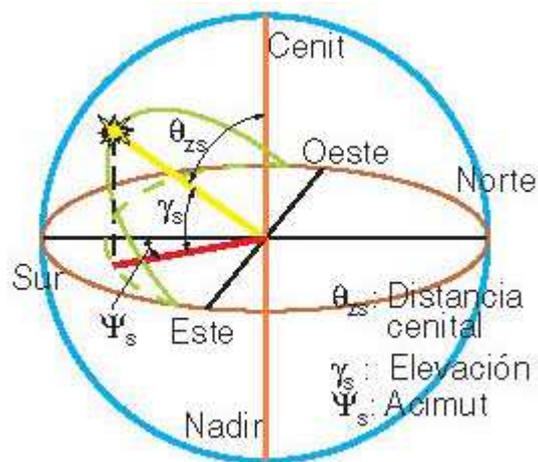


Figura 19.

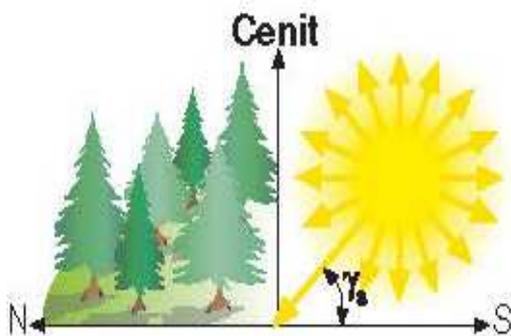


Figura 20

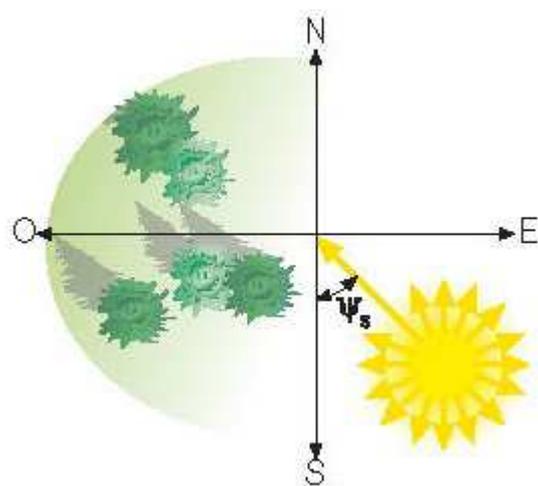


Figura 21

Una vez descritas las coordenadas que nos permiten situar el Sol en el cielo, hay que situar la superficie del generador fotovoltaico de manera que reciba la mayor cantidad posible de energía solar. Esto depende de varios factores:

- La orientación de la superficie del generador fotovoltaico.
- La inclinación de dicha superficie.
- Los consumos a lo largo del año.

La orientación de un generador fotovoltaico se define mediante coordenadas angulares, similares a las utilizadas para definir la posición del Sol:

- Ángulo de acimut (α)
- Ángulo de inclinación (β)

Hemos definido la declinación como el ángulo variable que forma el ecuador con el plano de la eclíptica. Por lo tanto la dirección de la radiación solar incidente sobre la Tierra varía en función de la declinación. La latitud de un lugar indica el ángulo que forma la vertical de ese lugar con el Ecuador.

Por lo tanto, para que una superficie reciba la radiación solar perpendicularmente tendremos que inclinar la superficie un ángulo β con la horizontal igual al que forma la vertical del lugar con la radiación solar. Tendremos que variar el ángulo de inclinación desde $\beta = \varphi - \delta$ en el solsticio de verano, a $\beta = \varphi + \delta$ en el solsticio de invierno, pasando por el valor $\beta = \varphi$ en los equinoccios. (Figura 22. a) b) y c))

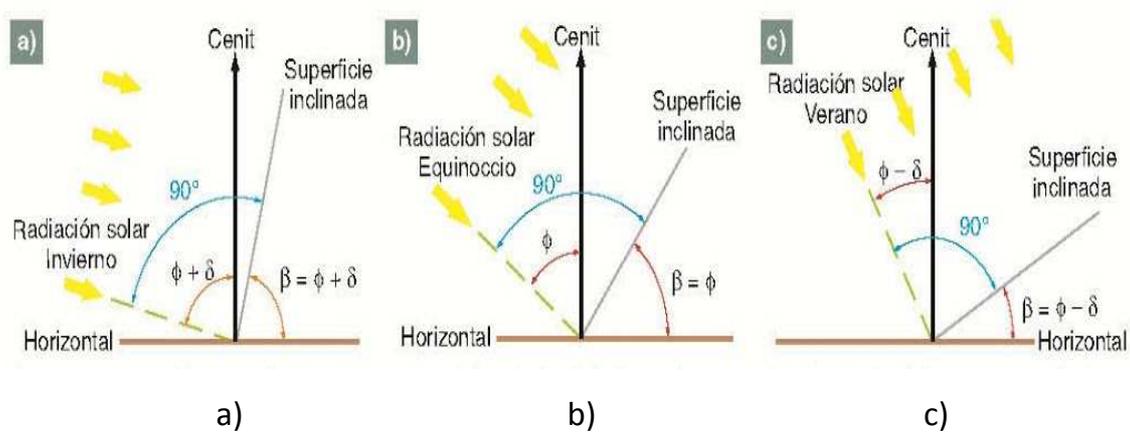


Figura 22

Para determinar la inclinación óptima de una superficie fija se puede usar una fórmula basada en análisis estadísticos de radiación solar anual sobre superficies con diferentes inclinaciones situadas en lugares con diferentes latitudes, que proporciona la inclinación óptima en función de la latitud del lugar:

$$\beta_{\text{OPT}} = 3,7 + 0,69 \times |\varphi| \quad (4)$$

La fórmula es válida para aplicaciones de utilización anual que busquen la máxima captación de energía solar a lo largo del año, aunque para esta instalación se colocarán los paneles solares con un ángulo de inclinación que corresponde al de la cubierta del tejado.

9. BIBLIOGRAFÍA

Se han consultado los siguientes proyectos de la Universidad de Cantabria:

- Instalación fotovoltaica para una casa rural en Lastrilla (Palencia) (Autor: Sergio Álvarez Fernández).
- Análisis de viabilidad para diferentes tipologías de instalaciones solares fotovoltaicas (Autor: Daniel Rodríguez Villegas).

Los libros consultados para la realización del proyecto han sido:

TÍTULO	AUTOR	EDICIÓN
Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión 2002		<u>McGraw Hill</u> 2002
Energía Solar Fotovoltaica	Javier María Méndez Muñiz	Madrid: <u>Fundación Confemetal</u> 2008
Estudio y Diseño en la Optimización de una Instalación Fotovoltaica para Vivienda Aislada	Juan Antonio miguel Parada	2009
Energía Solar	Javier Meana <u>Rodríguez</u>	2002

Las páginas web consultadas y de las que se ha sacado información son:

- www.idae.es
- www.atersa.com
- www.calculationsolar.com
- www.solarweb.com
- www.victronenergy.com
- www.cablesrct.com
- www.abb.es
- www.pvsyst.com
- www.censolar.es

GLOSARIO:

Figura 1: www.pce-iberica.es

Figura 2: www.escolares.net

Figura 3: www.opex-energy.com

Figura 4: www.opex-energy.com

Figura 5: www.sites.google.com

Figura 6: www.minicipalservicesproject.org

Figura 7: www.cleanergysolar.com

Figura 8: www.jmirez.wordpress.com

Figura 10: www.antonionarejos.wordpress.com/redeléctrica

Figura 12: EPIA Global Market Outlook for Photovoltaics

Figura 16: www.calculation solar.com

Figura 17: www.calculationsolar.com

Figura 18: www.calculationsolar.com

Figura 19: www.calculationsolar.com

Figura 20, 21 y 22: www.calculationsolar.com