

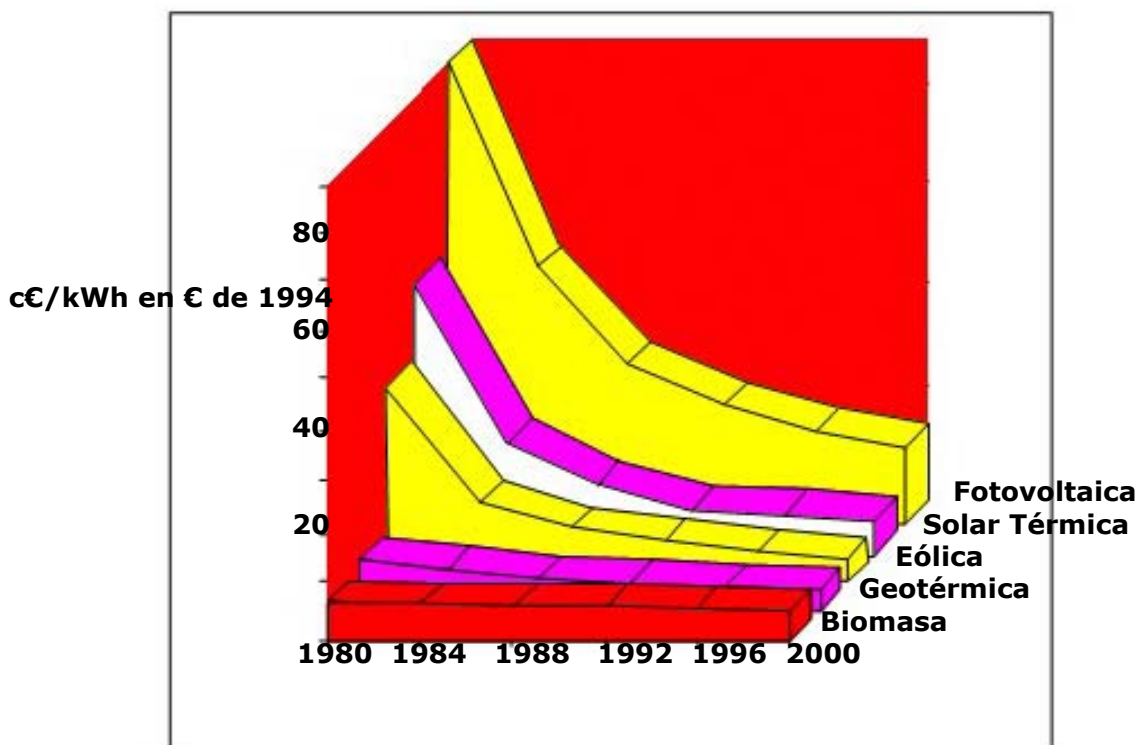
CAPÍTULO 1. ASPECTOS GENERALES

1.0. Introducción

Algunos vislumbran un modelo energético con base a la energía nuclear, otros, un futuro basado en el vector hidrógeno, otros, en los combustibles sintéticos procedentes del carbón, etc. Es de destacar que en todas las hipótesis aparecen las energías renovables, y el debate en este tema surge sobre el alcance y la importancia que tendrán estas energías en el futuro. En efecto: frente a los que piensan que es improbable que las renovables alcancen una cuota significativa del mercado energético, tenemos por ejemplo, las conclusiones de la Conferencia de Bonn del pasado junio, donde los ministros de medioambiente de los gobiernos de todo el mundo han declarado que las renovables jugarán un papel preponderante.

En el centro de la selva o en una pequeña isla remota, la tecnología fotovoltaica puede ser la única solución, por lo que si la tecnología fotovoltaica tuviera un coste del kWh equivalente a otras soluciones,

Figura 1.0.1. COSTES DE LAS E. RENOVABLES. Fuente: Banco Mundial



parte del Tercer mundo sentiría más cerca la salida del subdesarrollo. El apoyo de los países desarrollados para que bajen los costes de la tecnología está propiciando un aumento en el número de aplicaciones, lo que conlleva una reducción de los costes de las energías renovables muy apreciable como indica la Figura 1.0.1, **reducción que en el caso de la solar fotovoltaica ha sido sostenida en los últimos años en un orden de magnitud del 5% anual**: se está superando la barrera para que la energía solar fotovoltaica llegue a todos.

Las expectativas tecnológicas hacen que se barajen como objetivo alcanzable, **hipótesis de reducción de costes del 20%, o superiores, cada vez que se duplica la producción.**

La producción mundial de generadores solares en el año 2003 fue la siguiente

⁴:

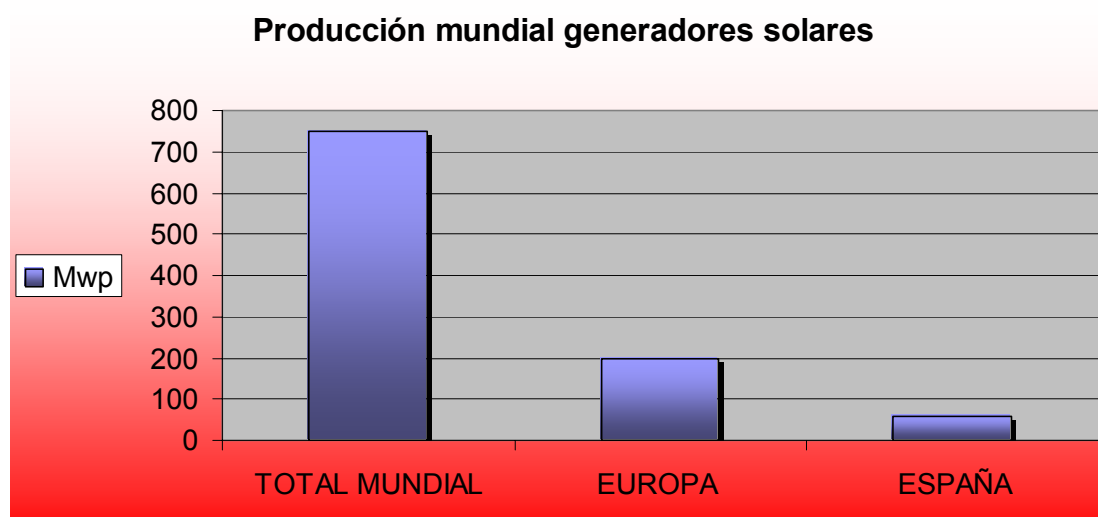
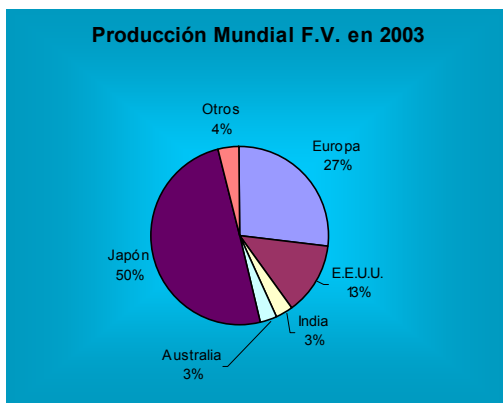


Figura 1.0.2. Fuente: elaboración propia con datos de ASIF

Existen países europeos, e incluso mediterráneos, que tienen mercados fotovoltaicos menos desarrollados que el español, pero España debe tener siempre como referencia en el tema solar a los

⁴ Fuente: Informe del 2004 de ASIF (Asociación de la Industria Fotovoltaica)

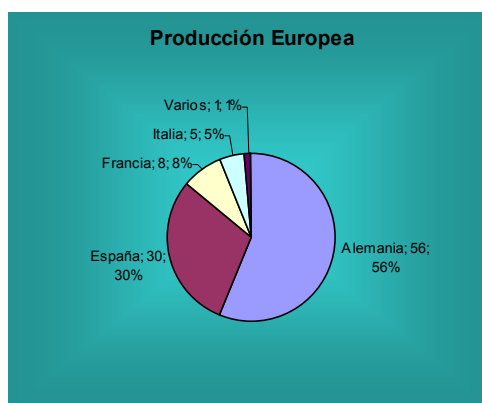
líderes, porque así nos corresponde como país con una situación geográfica envidiable en el aspecto de irradiación solar, como economía con recursos para desarrollar con decisión las energías renovables, y como corresponde a la industria fotovoltaica que hemos sido capaces de crear.



Sin embargo, podemos comprobar en la figura 1.0.4 que España en tres años ha pasado de producir 36 MW en el 2001 a producir 60 MW en el 2003, un

Figuras 1.0.3. Fuente: Elaboración propia con datos de ASIF

crecimiento de más del 25% anual ; sin embargo, comparando estas producciones con las alemanas, España ha pasado de producir el 50% más que Alemania en el año 2001, a producir en el año 2003 sólo la mitad de lo fabricado en este país centroeuropeo:



Producción F.V. española respecto a la de Alemania

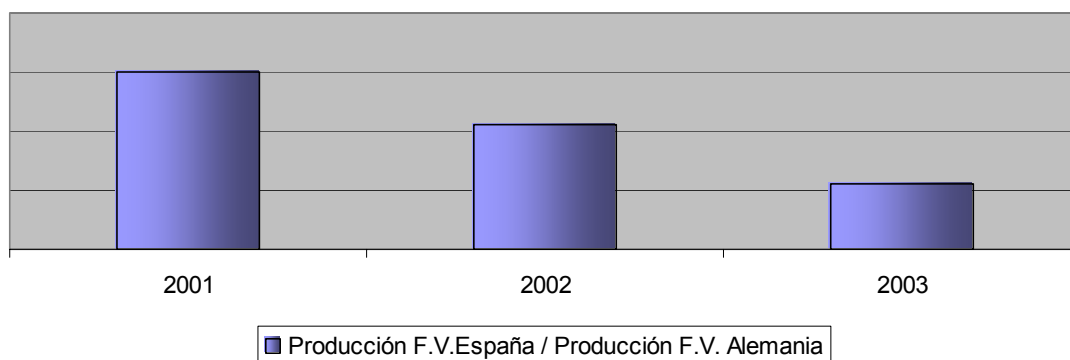


Figura 1.0.4. Fuente: Elaboración propia con datos de ASIF

Los sistemas fotovoltaicos requieren una importante inversión de capital inicial, aunque tienen unos gastos de mantenimiento bajos. Se pide a los ciudadanos que se conviertan en los protagonistas del desarrollo de la energía solar fotovoltaica, y vemos que la sociedad está respondiendo a esa llamada, pero se percibe que es necesario que el retorno de la inversión sea razonable para que ese particular o esa empresa realice una instalación y la haga funcionar durante una serie de años. Así como que la rentabilidad de la instalación en términos del TIR de la inversión (capital propio más préstamo habiendo deducido la desgravación fiscal) debería ser también , un valor razonable. Esta rentabilidad se debería conseguir en las instalaciones conectadas a red con una tarifa al kWh inyectado y desgravación fiscal, evitando la subvención salvo casos especiales.

Según un informe de ASIF (Asociación de la Industria Fotovoltaica), "con una tarifa y una desgravación fiscal a la inversión, las instalaciones conectadas estándar deberían cumplir los requisitos de rentabilidad deseados (periodo de retorno de la inversión total como máximo de 10 años, así como el valor TIR a 20 años de no menos del 9 %)..."

El análisis de todos los aspectos económicos relativos a un sistema fotovoltaico es complejo. Cada aplicación tiene que ser contemplada en su contexto particular, evaluando condiciones locales como, por ejemplo, la normativa, la radiación solar, el espacio disponible, etc. **Se plantearán unos escenarios de partida y se justificarán unos rangos de parámetros iniciales** en ese sentido.

Por otro lado, para realizar una comparación correcta es necesario hablar de valor de la energía producida y no de coste de la energía. Esto es así porque la calidad de la energía producida por una

fuente fotovoltaica no es la misma que la de las fuentes tradicionales (por el impacto ambiental, la intermitencia de la energía, etc.

En muchas ocasiones, un sistema fotovoltaico presenta un coste por kWh producido notablemente superior al coste del kWh comprado de la red eléctrica. Por ello, la rentabilidad de la instalación de un sistema fotovoltaico depende mucho de las ayudas e incentivos por parte de las administraciones públicas y para poder obtener un coste por kWh producido por un sistema fotovoltaico comparable al kWh comprado de la red, es necesario contar con la financiación de subvenciones en porcentaje muy elevado (superiores al 70-80% de la inversión total).



1.1. Cuestiones Técnicas

Se esbozan en éste apartado algunas cuestiones técnicas sobre las instalaciones fotovoltaicas conectadas a la red, con el ánimo de facilitar la comprensión del estudio de viabilidad posterior. Sin embargo, excede profundizar más a los objetivos de éste proyecto, y se remite al lector interesado al anexo "PLIEGO DE CONDICIONES TÉCNICAS PARA INSTALACIONES CONECTADAS A LA RED" ya que dichas condiciones son las que deben tomarse en consideración en la Convocatoria de Ayudas para la promoción de instalaciones de energía solar fotovoltaica en el ámbito del Plan de Fomento de las Energías Renovables.

De acuerdo con la legislación vigente, se adjunta un **resumen**⁵ de los aspectos técnicos que hay que cumplir:

- ✚ Las instalaciones fotovoltaicas no podrán diseñarse con acumulación y/o equipos de consumo de energía intermedios entre el campo de módulos fotovoltaicos y la red de distribución de la compañía.
- ✚ Si la suma de la potencia nominal de los inversores es superior a 5kW la conexión será trifásica.
- ✚ La variación de tensión provocada por la conexión y desconexión de la instalación a la red no podrá superar el 5%.
- ✚ El factor de potencia será lo más próximo a la unidad.
- ✚ Se dispondrá de un contador de energía de salida y otro de entrada de energía, o uno bidireccional. Todos ellos, de clase 2 y precintados. La corriente nominal de salida del inversor/es estará comprendida entre el 50% de la corriente nominal y la corriente máxima de precisión del contador.

⁵ Extraído de "Instalaciones F.V. Manual para uso de instaladores, fabricantes, proyectistas, ingenieros y arquitectos, instituciones de enseñanza y de investigación" Dirección General de Industria, Energía y Minas. CONSERJERÍA DE EMPLEO Y DESARROLLO TECNOLÓGICO

- La instalación debe realizarse de acuerdo al siguiente esquema unifilar:

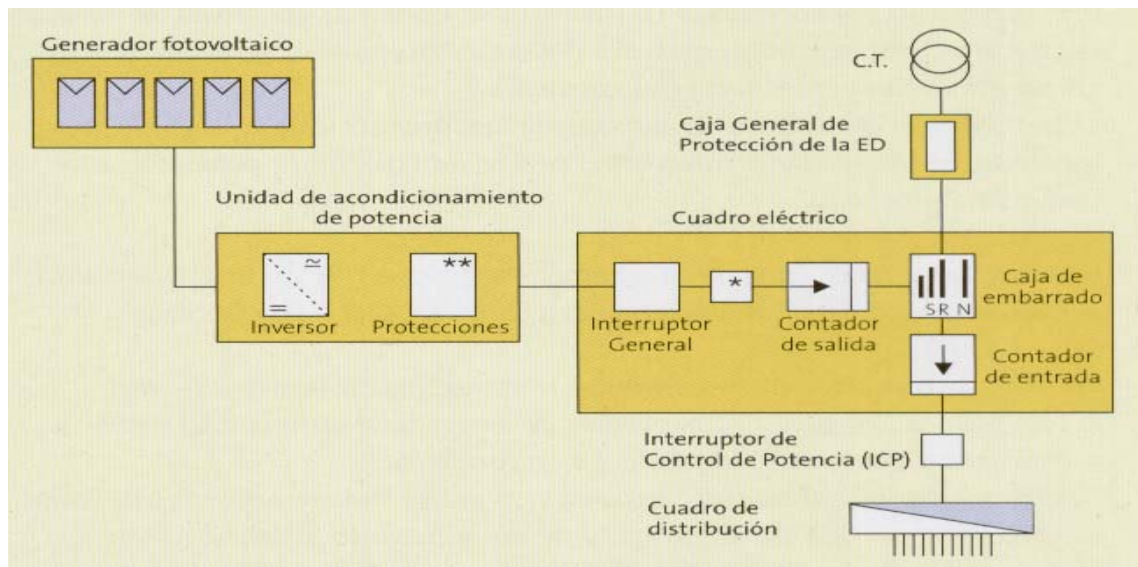


Figura 1.1.1 Esquema unifilar tipo de una instalación de conexión a red, según la normativa vigente en España. Fuente: Instalaciones F.V. Manual para uso de instaladores, fabricantes, proyectistas, ingenieros y arquitectos, instituciones de enseñanza y de investigación. Dirección General de Industria, Energía y Minas.

* Dispositivo que impida la entrada de energía o en su defecto, contador de entrada o un nuevo contador que mida en los dos sentidos

**Las protecciones podrán estar integradas en el inversor

- Las protecciones a instalar entre el inversor y la red de la compañía son las siguientes:
 - Interruptor magneto térmico en el punto de conexión, accesible a la E.D.
 - Interruptor automático de la interconexión con relé de enclavamiento. Accionado por variación de tensión ($0,85 \cdot U_n - 1,1 \cdot U_n$) y frecuencia (49—51 Hz)
 - El rearme de la conexión instalación fotovoltaica-red debe ser automático.
 - El inversor debe cumplir los niveles de emisión e inmunidad frente a armónicos y compatibilidad electromagnética de acuerdo a la legislación vigente.

-Las tomas de tierra de la instalación fotovoltaica serán independientes de la del neutro de la E.D. y de las masas de la edificación.

-Debe existir separación galvánica o transformador de aislamiento entre la red de distribución y la instalación fotovoltaica.

También es aconsejable, aunque **no obligatorio**, disponer de las siguientes medidas:

- ✚ Pensar en la posibilidad de retirar el inversor para su reparación, para lo cual deben de existir cajas de conexiones, interruptores o terminales clase II que cuando se retire el inversor no mantenga tensión, ni en la parte de continua ni en la parte de alterna. Esta misión la puede cumplir el interruptor frontera en la parte de alterna, y un interruptor general o seccionador fusible terminal clase II en la parte de continua.
- ✚ Pensar en la posibilidad de reparar o limpiar un módulo F.V. cuando la tensión en la parte de continua es elevada(>120V). En éste caso se debe de disponer de interruptores intermedios en el campo fotovoltaico o terminales clase II para interconectar los módulos en serie, de manera que cuando se accede a un módulo, la tensión máxima alcanzable sea menor de 48 V.

----- ◻ -----

1.2. Cálculo de la Energía disponible

Se pretende, que éste proyecto sea una herramienta de evaluación general, y por tanto preparada para variaciones en los parámetros iniciales de cálculo. No obstante, el trabajo de evaluar la viabilidad de un grupo variado de instalaciones, pasa por concretar a priori una serie de factores y unos rangos de parámetros iniciales. Se empieza fijando la **localización geográfica de éste estudio en la provincia de Sevilla**. Dicha localización implica una radiación, y por tanto unas expectativas de ingresos por producción energética, significativamente mayor que otras zonas de la geografía española, como se puede comprobar en el mapa adjunto: Figura 1.2.1

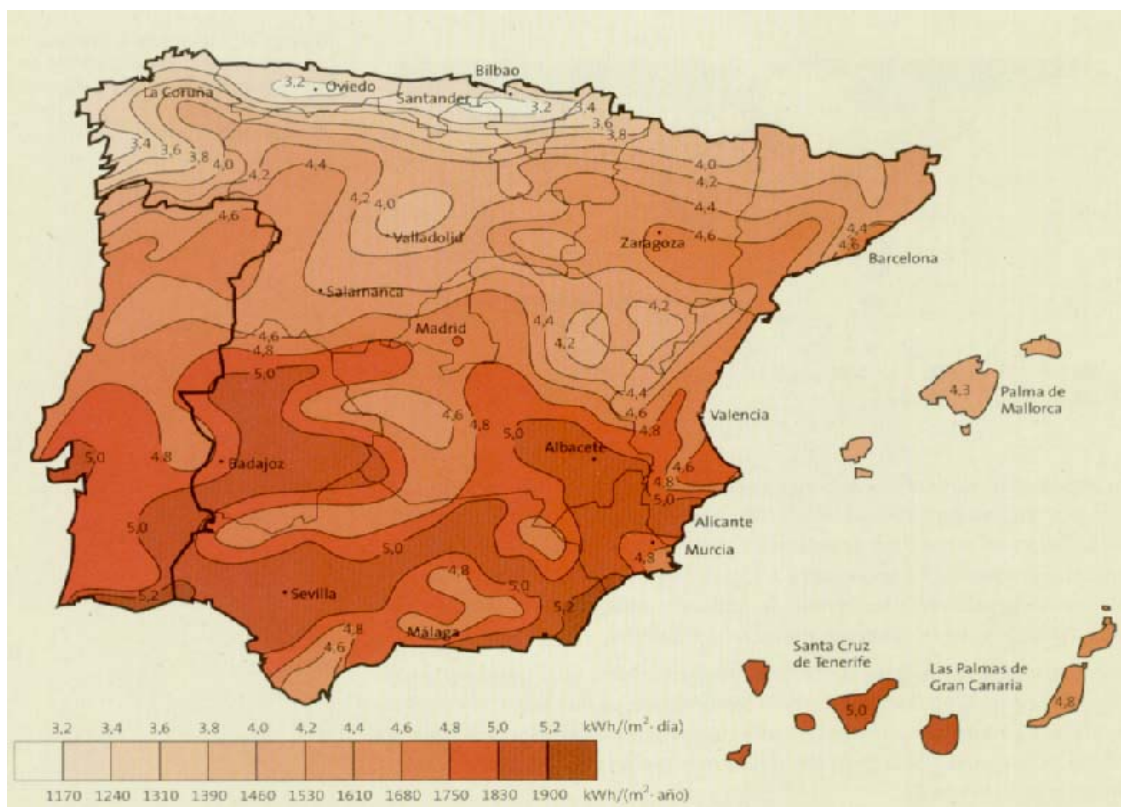


Figura 1.2.1: Valor medio anual de la radiación solar global diaria en superficie horizontal en España (Fuente: Instituto Nacional Meteorología)

El cálculo de la energía disponible se hará (con objeto de simplificar, ya que se obtienen resultados muy similares con un cálculo exhaustivo) suponiendo una inclinación de 30° sobre la horizontal⁶ para todo el año, y utilizando los datos suministrados por el Ministerio de Industria y Energía sobre radiación en Sevilla, para finalmente obtener datos de radiaciones anuales.

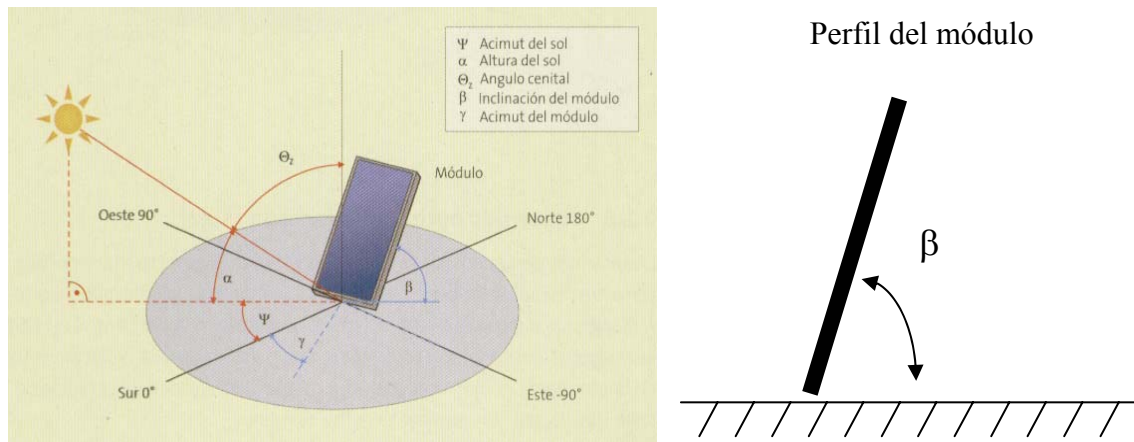


Figura 1.2.2 : Ángulos relacionados con la placa solar. Fuentes: "Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones Conectadas a Red" PCT-C. Rev.-octubre 2002. CIEMAT, IDAE, IES e "Instalaciones F.V. Manual para uso de instaladores, fabricantes, proyectistas, ingenieros y arquitectos, instituciones de enseñanza y de investigación" Dirección General de Industria, Energía y Minas.

Datos de radiación

Tomando como base los datos obtenidos en el libro editado por el Ministerio de Industria y Energía "RADIACIÓN SOLAR SOBRE SUPERFICIES INCLINADAS" tenemos que para una inclinación de 30° sobre la horizontal, (ver figura 1.2.2. ángulo β) con orientación Sur, la radiación anual en Sevilla es de $7.020.000 \text{ kJ/m}^2$. (Para más información del cálculo de dicha radiación, se aconseja seguir los métodos referenciados en los anexos sobre "Fundamentos sobre radiación solar" y el anexo "PLIEGO DE CONDICIONES TÉCNICAS PARA INSTALACIONES CONECTADAS A LA RED"). Transformando

⁶ Según las distintas tablas de radiación solar consultadas en las fuentes arriba citadas, el ángulo promedio óptimo de inclinación a lo largo del año es aproximadamente 30° para la zona de Sevilla, y en general se corresponde con un valor aproximado a la Latitud del lugar.

dicho dato en horas de sol pico⁷ (h.s.p.) que se corresponden con 1 kW/m², tenemos:

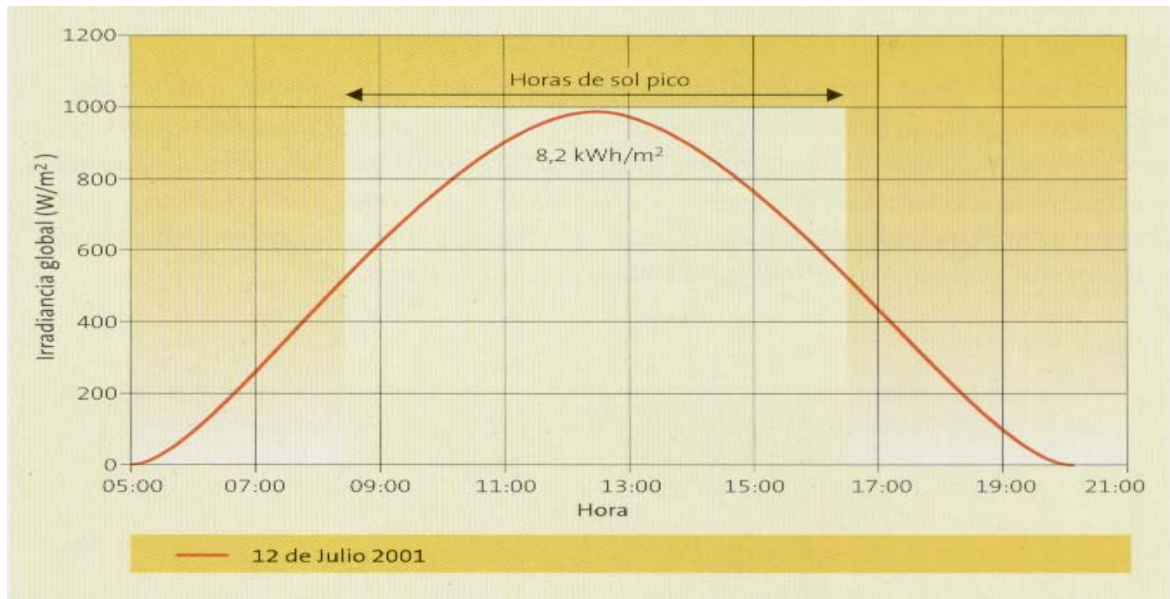


Figura 1.2.3: Explicación gráfica de "horas de sol pico". Fuente: "Instalaciones F.V. Manual para uso de instaladores, fabricantes, proyectistas, ingenieros y arquitectos, instituciones de enseñanza y de investigación" Dirección General de Industria, Energía y Minas

$$7.020.000 \text{ kJ/m}^2 \times 1\text{kW}\cdot\text{seg}/\text{kJ} \times 1\text{h}/3.600 \text{ seg} = \mathbf{1.950 \text{ h.s.p.}}$$

Con lo que la energía anual media generada (*Energía'*) será:

$$\text{Energía}' = (\text{Potencia pico de la instalación}) \times 1.950 \text{ h.s.p.} = \text{kWh/año}$$

Energía' es un dato teórico, al no incluirse el coeficiente de desviación de la curva V-I del módulo por Temperatura y al corresponder el dato de radiación a un año tipo.

⁷ Número de horas de un día con una irradiación ficticia de 1000 W/m² que tendría la misma irradiación total, que la real de ese día.

Producción mensual del campo fotovoltaico

Se emplearán datos teóricos⁸, se tiene que según la radiación mensual en paneles a 30° y orientación sur:

| | | | | | | | | | | | |
|------|------|------|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|
| 2,64 | 3,72 | 4,56 | 5,6 | 6,1 | 6,48 | 6,78 | 6,77 | 5,82 | 4,44 | 3,37 | 2,63 |
| Ener | Febr | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Agos | Sept | Oct | Nov | Dic |

Tabla 1.2.4. Irradiación diaria kWh/m² y día. Fuente: Elaboración propia con datos del Ministerio de Industria y Energía "RADIACIÓN SOLAR SOBRE SUPERFICIES INCLINADAS"

Así, si suponemos, por ejemplo, una instalación de **5 kWp**, podemos estimar una producción teórica:

| MES | IRRADIACIÓN DIARIA (kWh/m ² y día) | DIAS/MES | kWp FV | E GENERADA kWh/mes |
|------------|---|----------|--------|--------------------|
| Enero | 2,64 | 31 | 5 | 409 |
| Febrero | 3,72 | 28 | 5 | 520 |
| Marzo | 4,56 | 31 | 5 | 706 |
| Abril | 5,6 | 30 | 5 | 840 |
| Mayo | 6,1 | 31 | 5 | 945 |
| Junio | 6,48 | 30 | 5 | 972 |
| Julio | 6,78 | 31 | 5 | 1051 |
| Agosto | 6,77 | 30 | 5 | 1016 |
| Septiembre | 5,82 | 31 | 5 | 902 |
| Octubre | 4,44 | 30 | 5 | 666 |
| Noviembre | 3,37 | 31 | 5 | 522 |
| Diciembre | 2,63 | 30 | 5 | 395 |
| ANUAL | | | | 8945 |

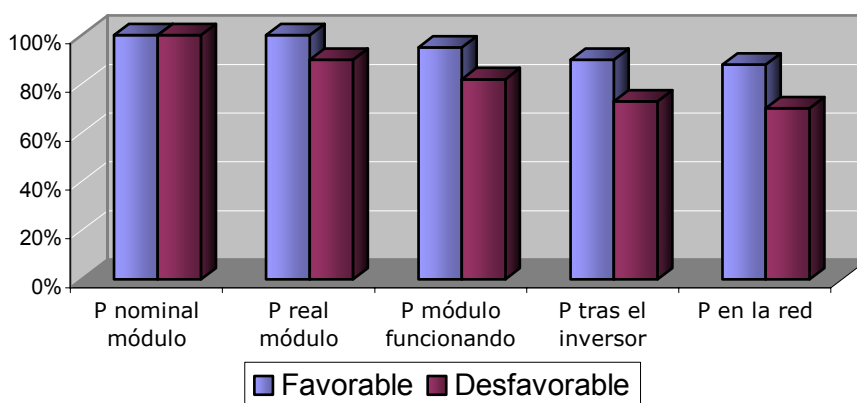
Tabla 1.2.5 Energía mensual y anual generada en una planta de 5 kWp. Fuente: elaboración propia

⁸ Libro editado por el Ministerio de Industria y Energía "RADIACIÓN SOLAR SOBRE SUPERFICIES INCLINADAS"

Rendimiento de la Instalación. Pérdidas.

Para realizar el estudio de la energía real que puede generar una planta fotovoltaica y tras el análisis de otros sistemas semejantes instalados y los datos de fabricantes, se constata que se producen una serie de **pérdidas** (Fig. 1.2.6.) que se distribuyen empíricamente de la siguiente forma:

Figura 1.2.6: **Pérdidas en la POTENCIA generada**



Fuente : *Elaboración propia*

Campo fotovoltaico

- Diferencia entre la potencia pico nominal instalada y la red obtenida por el panel fotovoltaico, que podemos estimar en aproximadamente un 3%.
- Pérdidas por la temperatura de trabajo de los módulos f.v. que puede oscilar entre un 5% y un 10%, según la época del año y la situación de la central.
- Dispersión, suciedad, punto de trabajo, etc., que se puede cifrar en un 2%.
- Cuando los rayos solares no inciden directamente sobre el módulo, se producen ciertas pérdidas por reflexión y absorción en las capas anteriores a las células f.v., vidrio, encapsulante, y capa antirreflectante. La caracterización de éste fenómeno consiste, por lo

tanto, en la determinación de la transmitancia del módulo, absoluta o relativa correspondiente a la incidencia perpendicular. Las pérdidas suelen ser de un 4%

Total de pérdidas en el campo fotovoltaico: Entre 14% y 19%

Inversor

- Pérdidas denominadas de autoconsumo ocasionadas por el transformador de salida, dispositivos de control de regulación, medidores e indicadores, dispositivos de seguridad que operan permanentemente, etc. Éstas pérdidas se pueden cifrar en 1%.
- Pérdidas dependientes de la potencia de la operación como diodos, dispositivos de conmutación, cables, bobinas, resistencias, etc., que se pueden cifrar en un 6%.

Total de pérdidas en el campo fotovoltaico y el Inversor: Entre 21% y el 30%

Si se aplica -a modo de ejemplo para 5 kWp- dicho rango con el fin de obtener resultados a partir de los cuales se puedan calcular los ingresos en concepto de producción de energía, se obtendrían los siguientes valores:

| MES | Energía GENERADA kWh/mes | Rango de PERDIDAS | | Rango de Energía Real kWh | |
|------------|--------------------------|-------------------|-----|---------------------------|-----------------|
| Enero | 409,200 | 21% | 30% | 323,268 | 286,440 |
| Febrero | 520,800 | 21% | 30% | 411,432 | 364,560 |
| Marzo | 706,800 | 21% | 30% | 558,372 | 494,760 |
| Abril | 840,000 | 21% | 30% | 663,600 | 588,000 |
| Mayo | 945,500 | 21% | 30% | 746,945 | 661,850 |
| Junio | 972,000 | 21% | 30% | 767,880 | 680,400 |
| Julio | 1050,900 | 21% | 30% | 830,211 | 735,630 |
| Agosto | 1015,500 | 21% | 30% | 802,245 | 710,850 |
| Septiembre | 902,100 | 21% | 30% | 712,659 | 631,470 |
| Octubre | 666,000 | 21% | 30% | 526,140 | 466,200 |
| Noviembre | 522,350 | 21% | 30% | 412,656 | 365,645 |
| Diciembre | 394,500 | 21% | 30% | 311,655 | 276,150 |
| ANUAL | 8945,650 | | | 7067,063 | 6261,955 |

Tabla 1.2.7. Energía real generada para 5 kWp instalados. Fuente: Elaboración propia



Figura 1.2.8. Ejemplo de placas solares con dispositivo de seguimiento Fuente: Instalaciones F.V. Manual para uso de instaladores, fabricantes, proyectistas, ingenieros y arquitectos, instituciones de enseñanza y de investigación. Dirección General de Industria, Energía y Minas.

En nuestro estudio, para los casos de 15 kW, 100kW y el caso de las “Huertas Solares” (para inversiones menores es dudosa su rentabilidad⁹), se consideran también **instalaciones con seguimiento**, lo que aumentará significativamente la producción, (según datos de producción real recopilados, se alcanza los 1.880 kWh por cada kW de potencia nominal¹⁰) . **Dicho aumento se estimará entre un 30 y un 40% mayor** (respecto a instalaciones sin seguidores) en la zona de Sevilla, y se justifica basándonos en tablas de CENSOLAR, que indican que la ganancia energética con un seguimiento de eje azimutal para la provincia de Sevilla, es del orden del 40%. Dicha ganancia crece con la latitud y el índice de claridad, y sus valores para España oscilan entre 1,28 y 1,43

⁹ Dadas las condiciones de contorno actuales (coste de referencia, mantenimiento, incrementos inversión...etc.) presentan indicadores similares para pequeñas potencias (TIR, PR casi imperceptiblemente inferior, VAN casi imperceptiblemente superior y CAP similar), y requieren mayor inversión y aportación de fondos propios, lo que a un particular (caso base) le resulta como claro inconveniente. Además, debido a lo sensible de la rentabilidad ante cualquier aumento de la inversión, sin el colchón de la amortización de los activos depreciables y su repercusión en el gravamen, las instalaciones con seguidor para propietarios particulares, presentan peores indicadores de rentabilidad.

¹⁰ Datos proporcionados por AESOL sobre las huertas solares de Árguedas y Sesma, que por otro lado, son valores intermedios respecto a los derivados de NASA y valores máximos (las huertas de Montes de Cierzo, por ejemplo).