

5. Módulos fotovoltaicos seleccionados

Una vez realizada la descripción y caracterización de las células y módulos solares, comenzaremos con la selección de los distintos módulos.

Para ello, se ha seleccionado para cada tecnología una serie de módulos más representativos. Como criterio de selección se ha fijado la potencia pico (Wp) del módulo, de tal forma que sea la más elevada de su gama y que el módulo sea Europeo o en su defecto Americano, no obstante queremos resaltar la gran influencia que está teniendo la producción Asiática en el sector.

Otro punto a destacar es la diferencia notable en el número de fabricantes existentes para las diferentes tecnologías de módulos fotovoltaicos. En la siguiente tabla indicaremos el número de fabricantes de las diferentes tecnologías utilizadas, destacando la gran diferencia existente entre los módulos cristalinos y los de capa fina.

| Módulos Fotovoltaicos | | | | | | |
|------------------------------|-----------------------|----------------|--------------|-------------------|-------------|--------------|
| CRISTALINOS | Zona | | | | | Total |
| | Europa: | Alemania (100) | Italia (88) | España (29) | Otros (24) | 341 |
| | Asia Pacifico: | Cina (873) | India (68) | Japón (24) | Otros (117) | 1.082 |
| | América: | Canadá (20) | E.E.U.U (73) | Otros (4) | | 97 |
| | Otros: | África (12) | | Medio Oriente (5) | | 17 |
| PELICULA DELGADA | AMORFO | | | | | 212 |
| | Familia CIS | | | | | 53 |
| | CdTe | | | | | 9 |

Fuente: enfsolar

Tabla 5.1: Fabricantes de módulos fotovoltaicos

Continuando con el estudio, para el desarrollo de los diferentes análisis que se realizarán, se ha seleccionado los siguientes módulos:

| Tecnología | Tipo | Fabricante | Modelo |
|------------------|-----------------|--------------|---------------------|
| Cristalino | Monocristalino | Solarword | SW 245 |
| | Policristalino | Solarword | SW 245 |
| Película Delgada | Amorfo Flexible | Uni-Solar | ePVL-144 |
| | Amorfo | Soliker | PV 49 |
| | Amorfo | T Solar | TS97 |
| | Amorfo | T Solar | TS410 |
| | CdTe | Ge | GE-CdTe83 |
| | CdTe | First Solar | FS-280 |
| | CdTe | Abound Solar | AB1-75 |
| | CIGS Flexible | Solarion | SOL 100 FLEX |
| | CIGS | Solarion | SOL 100 GG |
| | CIS | Ordesun | ODS 170 135 R |
| | CIGS | Iset | IXP 80 |
| | CIGS Flexible | Global Solar | Powwerflex BIPV 300 |

Tabla 5.2: Módulos fotovoltaicos seleccionados.

Como se puede apreciar, debido al gran número de fabricantes de módulos cristalinos y debido a que es una tecnología ampliamente reconocida y probada, solo hemos seleccionado un módulo monocristalino y otro módulo policristalino.

Por otro lado, en los módulos de película delgada hemos localizado módulos flexibles, así como módulos de grandes dimensiones que también serán analizados.

A continuación mostraremos las características eléctricas en condiciones estándar (STC: 1000W/m², 25°C, AM 1.5):

| Tipo | Fabricante | Modelo | P _{PMP} (Wp) | U _{PMP} (V) | I _{PMP} (A) | U _{ca} (V) | I _{cc} (A) |
|-----------------|------------|-----------|-----------------------|----------------------|----------------------|---------------------|---------------------|
| Monocristalino | Solarword | SW 245 | 245 | 30,8 | 7,96 | 37,7 | 8,25 |
| Policristalino | Solarword | SW 245 | 245 | 30,8 | 7,96 | 37,5 | 8,49 |
| Amorfo Flexible | Uni-Solar | ePVL-144 | 144 | 33 | 4,4 | 46,2 | 5,3 |
| Amorfo | Soliker | PV 49 | 49 | 51,7 | 0,95 | 64,5 | 1,05 |
| Amorfo | T Solar | TS97 | 97,5 | 76 | 1,29 | 96 | 1,59 |
| Amorfo | T Solar | TS410 | 410 | 152 | 2,72 | 192 | 3,3 |
| CdTe | Ge | GE-CdTe83 | 82,5 | 75 | 1,1 | 95 | 1,25 |

| Tipo | Fabricante | Modelo | P_{PMP} (Wp) | U_{PMP} (V) | I_{PMP} (A) | U_{ca} (V) | I_{CC} (A) |
|---------------|--------------|------------------------|-------------------|------------------|------------------|-----------------|-----------------|
| CdTe | First Solar | FS-280 | 80 | 71,2 | 1,12 | 91,5 | 1,22 |
| CdTe | Abound Solar | AB1-75 | 75 | 35,6 | 2,11 | 46,9 | 2,49 |
| CIGS Flexible | Solarion | SOL 100 FLEX | 115 | 17,5 | 6,57 | 24,1 | 7,61 |
| CIGS | Solarion | SOL 100 GG | 115 | 17,5 | 6,57 | 24,1 | 7,61 |
| CIS | Ordesun | ODS 170 135 R | 135 | 21,5 | 6,09 | 29,8 | 7 |
| CIGS | Iset | IXP 80 | 80 | 44,8 | 1,79 | 56 | 2,15 |
| CIGS Flexible | Global Solar | Powwerflex BIPV 300 | 300 | 53,9 | 5,6 | 71,2 | 6,4 |

Tabla 5.3: Características eléctricas de módulos fotovoltaicos.

Continuando con la definición de los módulos fotovoltaicos seleccionados, indicaremos las siguientes características térmicas:

- Coeficiente de variación de la potencia en el punto de máxima potencia del módulo con la temperatura expresado en $\%/^{\circ}\text{C}$.
- Coeficiente de variación de la tensión a circuito abierto del módulo con la temperatura expresado en $\%/^{\circ}\text{C}$.
- Coeficiente de variación de la corriente de cortocircuito del módulo con la temperatura expresado en $\%/^{\circ}\text{C}$.
- TONC en $^{\circ}\text{C}$

| Tipo | Fabricante | Modelo | $CT P_{PMP}$ ($\%/^{\circ}\text{C}$) | $CT U_{ca}$ ($\%/^{\circ}\text{C}$) | $CT I_{CC}$ ($\%/^{\circ}\text{C}$) | TONC ($^{\circ}\text{C}$) |
|-----------------|--------------|--------------|---|--|--|--------------------------------|
| Monocristalino | Solarword | SW 245 | -0,45 | -0,33 | 0,042 | 47 |
| Policristalino | Solarword | SW 245 | -0,48 | -0,34 | 0,034 | 46 |
| Amorfo Flexible | Uni-Solar | ePVL-144 | -0,21 | -0,38 | 0,1 | 46 |
| Amorfo | Soliker | PV 49 | -0,19 | -0,28 | 0,06 | 46 |
| Amorfo | T Solar | TS97 | -0,21 | -0,29 | 0,038 | 40,5 |
| Amorfo | T Solar | TS410 | -0,21 | -0,29 | 0,038 | 40,5 |
| CdTe | Ge | GE-CdTe83 | -0,25 | -0,29 | 0,04 | 45 |
| CdTe | First Solar | FS-280 | -0,25 | -0,25 | 0,04 | 45 |
| CdTe | Abound Solar | AB1-75 | -0,25 | -0,32 | 0,04 | 45 |
| CIGS Flexible | Solarion | SOL 100 FLEX | -0,45 | -0,35 | 0,01 | 47 |

| Tipo | Fabricante | Modelo | CTP _{PMP} (%/°C) | CTU _{ca} (%/°C) | CTI _{cc} (%/°C) | TONC (°C) |
|---------------|--------------|---------------------|------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|--------------|
| CIGS | Solarion | SOL 100 GG | -0,45 | -0,35 | 0,01 | 47 |
| CIS | Ordesun | ODS 170 135 R | -0,43 | -0,33 | 0,03 | 46 |
| CIGS | Iset | IXP 80 | -0,52 | -0,39 | -0,04 | 46 |
| CIGS Flexible | Global Solar | Powwerflex BIPV 300 | -0,43 | -0,33 | -0,03 | 46 |

Tabla 5.4: Características térmicas de módulos fotovoltaicos

Finalmente mostramos a continuación las características físicas de los módulos:

| Tipo | Fabricante | Modelo | Largo (mm) | Ancho (mm) | Fondo (mm) | Área (m ²) | Peso (kg) |
|-----------------|--------------|---------------------|---------------|---------------|---------------|---------------------------|--------------|
| Monocristalino | Solarword | SW 245 | 1675 | 1001 | 31 | 1,68 | 21,2 |
| Policristalino | Solarword | SW 245 | 1675 | 1001 | 31 | 1,68 | 21,2 |
| Amorfo Flexible | Uni-Solar | ePVL-144 | 5412 | 373 | 3 | 2,02 | 7,4 |
| Amorfo | Soliker | PV 49 | 1245 | 635 | 6,5 | 0,79 | 13 |
| Amorfo | T Solar | TS97 | 1298 | 1098 | 7,5 | 1,43 | 24,6 |
| Amorfo | T Solar | TS410 | 2598 | 2198 | 7,5 | 5,71 | 98,5 |
| CdTe | Ge | GE-CdTe83 | 1200 | 600 | 7,5 | 0,72 | 13 |
| CdTe | First Solar | FS-280 | 1200 | 600 | 6,8 | 0,72 | 12 |
| CdTe | Abound Solar | AB1-75 | 1200 | 600 | 8,1 | 0,72 | 12 |
| CIGS Flexible | Solarion | SOL 100 FLEX | 1320 | 800 | 1,5 | 1,06 | 1,4 |
| CIGS | Solarion | SOL 100 GG | 1320 | 800 | 7 | 1,06 | 15,5 |
| CIS | Ordesun | ODS 170 135 R | 1700 | 1000 | 35 | 1,70 | 23,3 |
| CIGS | Iset | IXP 80 | 1240 | 640 | 7,2 | 0,79 | 13,5 |
| CIGS Flexible | Global Solar | Powwerflex BIPV 300 | 5745 | 495 | 3 | 2,84 | 9,9 |

Tabla 5.5: Características físicas de módulos fotovoltaicos

5.1 Comparación de características

En este apartado, se realizará una comparación de las características eléctricas, térmicas y físicas de los distintos módulos seleccionados.

En primer lugar, hacemos notar el avance que han obtenido los módulos de silicio policristalino, siendo similares, prácticamente en todas sus características, a los módulos de silicio monocristalinos.

Comenzando por las características eléctricas, analizaremos el rango de valores para las tensiones y corrientes características:

| Característica | Monocristalino | Policristalino | Amorfo | CdTe | CIS- CIGS |
|--------------------|----------------|----------------|-------------|-------------|-------------|
| U_{PMP} (V) | 30,8 | 30,8 | 33 - 152 | 35,6 - 75 | 17,5 – 53,9 |
| I_{PMP} (A) | 7,96 | 7,96 | 0,95 – 4,4 | 1,1 – 2,11 | 1,79 – 6,57 |
| U_{ca} (V) | 37,7 | 37,7 | 46,2 - 192 | 46,9 - 95 | 24,1 – 71,2 |
| I_{CC} (A) | 8,25 | 8,49 | 1,05 – 5,3 | 1,22 – 2,49 | 2,15 – 7,61 |
| U_{PMP} / U_{ca} | 0,82 | 0,82 | 0,71 – 0,80 | 0,76 – 0,79 | 0,72 – 0,80 |
| I_{PMP} / I_{CC} | 0,96 | 0,94 | 0,81 – 0,90 | 0,85 – 0,92 | 0,83 – 0,88 |

Tabla 5.6: Comparativa de características eléctricas de módulos fotovoltaicos.

Como podemos observar en la tabla anterior, las tensiones características en los módulos de película delgada son bastante oscilantes, esto mismo ocurre en las corrientes de los módulos de silicio amorfo.

En cuanto al valor de las corrientes características, observamos que las de corrientes más altas, se obtienen en los módulos cristalinos, seguidos de los módulos CIS-CIGS, por el contrario en el lado opuesto se encuentran los módulos de CdTe.

Estos valores influirán directamente en la interconexión eléctrica entre los módulos y el inversor, determinando el número de ramales y cuantos módulos en serie por cada ramal.

Continuando con el análisis, analizaremos los rangos de los coeficientes de variación con la temperatura de los módulos seleccionados:

| Coefficiente de variación: | Monocristalino | Policristalino | Amorfo | CdTe | CIS- CIGS |
|--|----------------|----------------|---------------|---------------|---------------|
| De la Potencia P_{PMP} con la temperatura (%/°C) | -0,45 | -0,48 | -0,19 a -0,21 | -0,25 | -0,43 a -0,52 |
| De la tensión U_{ca} con la temperatura (%/°C) | -0,33 | -0,34 | -0,28 a -0,38 | -0,25 a -0,32 | -0,33 a -0,39 |
| De la corriente I_{CC} con la temperatura (%/°C) | 0,042 | 0,034 | 0,038 a 0,1 | 0,04 | -0,04 a 0,03 |

Tabla 5.7: Comparativa de características térmicas de módulos fotovoltaicos.

De la tabla anterior, podemos obtener las siguientes conclusiones:

- De cara a la P_{PMP} , una variación de temperatura afecta menos a los módulos amorfos y de CdTe
- En relación a la U_{ca} , una variación de temperatura afecta menos a los módulos de CdTe

Respecto a las características física, destacar que dentro de cada tipología, existe cierta homogeneidad en los tamaños, salvo en los módulos amorfos que presentan más variedad en sus dimensiones.

Ni que decir tiene, que los espesores de los módulos de película delgada, son más reducidos que los módulos cristalinos.

Hasta el momento no hemos analizado la potencia de los módulos por si solos, ya que más que el análisis de las distintas potencias de los módulos, nos interesa la relación existente entre la potencia pico del panel y el área que ocupa, obteniendo de esta forma que módulos son más óptimos.

De la misma manera analizaremos el peso de los módulos.

| Tipo | Fabricante | Modelo | $P_{PMP}/\text{Área}$ (Wp/m ²) | Peso/Área (kg/m ²) |
|-----------------|--------------|---------------------|---|-----------------------------------|
| Monocristalino | Solarword | SW 245 | 146 | 12,6 |
| Policristalino | Solarword | SW 245 | 146 | 12,6 |
| Amorfo Flexible | Uni-Solar | ePVL-144 | 71 | 3,7 |
| Amorfo | Soliker | PV 49 | 62 | 16,4 |
| Amorfo | T Solar | TS97 | 68 | 17,3 |
| Amorfo | T Solar | TS410 | 72 | 17,2 |
| CdTe | Ge | GE-CdTe83 | 115 | 18,1 |
| CdTe | First Solar | FS-280 | 111 | 16,7 |
| CdTe | Abound Solar | AB1-75 | 104 | 16,7 |
| CIGS Flexible | Solarion | SOL 100 FLEX | 109 | 1,3 |
| CIGS | Solarion | SOL 100 GG | 109 | 14,7 |
| CIS | Ordesun | ODS 170 135 R | 79 | 13,7 |
| CIGS | Iset | IXP 80 | 101 | 17,0 |
| CIGS Flexible | Global Solar | Powwerflex BIPV 300 | 105 | 3,5 |

Tabla 5.8: Características por área de módulos fotovoltaicos

| Relación: | Monocristalino | Policristalino | Amorfo | CdTe | CIS- CIGS |
|------------------------------------|----------------|----------------|------------|-------------|-----------|
| $P_{PMP}/\text{Área (Wp/m}^2)$ | 146 | 146 | 62 - 72 | 104 - 115 | 79 - 109 |
| $\text{Peso}/\text{Área (kg/m}^2)$ | 12,6 | 12,6 | 3,7 - 17,3 | 16,7 - 18,1 | 1,3 - 17 |

Tabla 5.9: Comparativa de potencia pico y peso por área en los módulos fotovoltaicos.

Como podemos observar los módulos más eficientes son los cristalinos, seguidos de los de CdTe y CIS, quedando los amorfos en último lugar.

Respecto al peso, si eliminamos los módulos flexibles con un peso entre 1,3 y 3,7 kg/m², los paneles más ligeros son los cristalinos.

5.2 Comparación de factores

En este apartado analizaremos el Factor de Forma (FF) y el rendimiento en condiciones estándar (STC) y la superficie necesaria para obtener un kWp para cada uno de los módulos.

| Tipo | Fabricante | Modelo | FF | η_n | m ² /kWp |
|-----------------|--------------|---------------------|------|----------|---------------------|
| Monocristalino | Solarword | SW 245 | 0,79 | 0,15 | 7 |
| Policristalino | Solarword | SW 245 | 0,77 | 0,15 | 7 |
| Amorfo Flexible | Uni-Solar | ePVL-144 | 0,59 | 0,07 | 14 |
| Amorfo | Soliker | PV 49 | 0,72 | 0,06 | 16 |
| Amorfo | T Solar | TS97 | 0,64 | 0,07 | 15 |
| Amorfo | T Solar | TS410 | 0,65 | 0,07 | 14 |
| CdTe | Ge | GE-CdTe83 | 0,69 | 0,11 | 9 |
| CdTe | First Solar | FS-280 | 0,72 | 0,11 | 9 |
| CdTe | Abound Solar | AB1-75 | 0,64 | 0,10 | 10 |
| CIGS Flexible | Solarion | SOL 100 FLEX | 0,63 | 0,11 | 9 |
| CIGS | Solarion | SOL 100 GG | 0,63 | 0,11 | 9 |
| CIS | Ordesun | ODS 170 135 R | 0,65 | 0,08 | 13 |
| CIGS | Iset | IXP 80 | 0,66 | 0,10 | 10 |
| CIGS Flexible | Global Solar | Powwerflex BIPV 300 | 0,66 | 0,11 | 9 |

Tabla 5.10: Factor de forma, rendimiento y área necesaria para obtener un kWp de los módulos fotovoltaicos

| Módulos | FF | η_n (%) | m²/kWp |
|-----------------------|-------------|--------------------------------|--------------------------|
| Monocristalino | 0,79 | 15 | 7 |
| Policristalino | 0,77 | 15 | 7 |
| Amorfo | 0,59 – 0,72 | 6 - 7 | 14 - 16 |
| CdTe | 0,64 – 0,72 | 10 -11 | 9 - 10 |
| CIS- CIGS | 0,63 – 0,66 | 8 - 11 | 9 - 13 |

Tabla 5.11: Comparativa del FF, rendimiento y área necesaria para obtener un kWp en los módulos fotovoltaicos.

Como podemos observar los módulos cristalinos son los que presentan un mejor Factor de Forma, un mejor rendimiento, lo que conlleva que el área necesaria para obtener un kWp sea inferior.

Dentro de los módulos de película delgada, son los de CdTe y CIS-CIGS los que presentan un mejor rendimiento, resultando los módulos de silicio amorfo los que obtienen un peor rendimiento.