

Trabajo de Fin de Grado

Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales

**Diseño de una planta de generación
solar fotovoltaica**

MEMORIA

Autor: Miguel Martín Encuentra
Director: Oriol Gomis Bellmunt
Convocatoria: Abril 2020



Escuela Técnica Superior
De Ingeniería Industrial de Barcelona



Resumen

Este trabajo trata de intentar resolver uno de los grandes problemas de la sociedad actual: resolver el abastecimiento energético de una vivienda media española, teniendo en cuenta la cantidad de electricidad que se consume en ella. Se pretende demostrar que la generación de energía fotovoltaica puede producir lo suficiente como para alimentar la luz de un hogar, sin tener que depender de las compañías eléctricas. Además de averiguar la rentabilidad de los paneles solares, que cada vez son mas asequibles, se comparará con el precio de la luz que ponen las compañías eléctricas en el mercado actual. Si este estudio demostrase un ahorro considerable en la factura de la luz, se podría conseguir, de manera sustancial, reducir la cantidad de contaminación o procesos que pueden ser perjudiciales para el planeta tierra, y por tanto de los que la habitamos. Se analizará pues el funcionamiento de esta tecnología y su potencial.

Contenido

RESUMEN	3
1. PREFACIO	6
1.1. Origen del proyecto	6
1.2. Motivación	6
1.3. Requisitos previos	6
2. INTRODUCCIÓN	7
2.1. Objetivos del proyecto	7
2.2. Alcance del proyecto	7
3. CRECIMIENTO MUNDIAL DE LA ENERGÍA RENOVABLE	8
4. CONSUMO ENERGÉTICO MEDIO DE UN HOGAR	12
5. INTRODUCCIÓN A LA ENERGÍA SOLAR	16
5.1. Energía Solar térmica.....	16
5.2. Energía solar fotovoltaica	17
6. TIPOS DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS	19
6.1. Sistemas aislados (OFF-GRID).....	19
6.2. Sistemas híbridos	20
6.3. Sistemas conectados a red (ON-GRID).....	20
7. FUNCIONAMIENTO DE LA FOTOVOLTAICA	21
7.1. Efecto fotovoltaico	21
7.2. Radiación Solar	22
7.3. Características de la Radiación Solar	24
7.4. Cálculo de la Radiación Solar sobre una placa inclinada	24
8. COMPONENTES DE UNA PLANTA SOLAR FOTOVOLTAICA	28
8.1. Módulo Solar Fotovoltaico	28
8.2. Regulador de Carga	29
8.3. Batería	29
8.4. Inversor.....	30
8.5. Soportes	30
9. MODELIZACIÓN DE LA PLANTA FOTOVOLTAICA	31
9.1. Metodología.....	31
9.2. PV GIS	31

9.3. PV Syst.....	31
9.4. Inspección del emplazamiento	32
9.5. Diseño de la configuración técnica.....	32
9.5.1. Elección de los módulos fotovoltaicos.....	32
9.5.2. Estructura.....	38
9.5.3. Recurso solar	42
9.6. Predimensionamiento.....	48
9.7. Simulación del diseño de proyecto.....	59
9.8. Cálculo de Amortización.....	67
10. RESULTADOS	74
11. CONCLUSIONES	76
12. AGRADECIMIENTOS	77

1. Prefacio

En este capítulo se definen el origen del proyecto, la motivación que ha empujado a llevarlo a cabo desde el principio hasta el final del mismo y los requisitos previos que se han necesitado.

1.1. Origen del proyecto

La idea de la creación de energía eléctrica usando métodos totalmente limpios que no afecten al medio ambiente y en consecuencia a la vida del planeta, viene dada por la inquietud que reside hoy en día en el mundo sobre la contaminación. Totalmente a favor de potenciar las energías renovables, surgen preguntas sobre su viabilidad y eficiencia. Claro está que el futuro pasa por este tipo de energías y cada vez están cobrando mayor importancia en la vida de las personas. Es por esa razón que nace esta investigación.

1.2. Motivación

Estos últimos años se está viendo crecer cada vez más los dispositivos eléctricos con baterías, donde se almacena una cierta cantidad de energía eléctrica para poder ser usados: patinetes, motos, coches... El mundo eléctrico está evolucionando de manera inverosímil. Es por este motivo que me decidí a realizar un trabajo en el que se pueda indagar en las posibilidades de generar energía eléctrica de manera renovable y sostenible, siendo siempre respetuoso con el medio ambiente. Encontré muy interesante en concreto la energía solar fotovoltaica ya que solamente con los rayos del Sol es capaz de generar una cantidad de energía importante. Además, ésta es totalmente limpia, no genera ningún tipo de contaminación y desde luego es inagotable.

Sabiendo esto, me resulta muy difícil concebir un mundo en el que no se investigue más sobre esta forma de conseguir energía. Desde luego es un campo fascinante en el que tengo mi máximo interés y ganas de aprender a manejar cuál es la mejor manera de optimizar y maximizar el uso de paneles solares, así como su correcto funcionamiento.

1.3. Requisitos previos

La realización de este trabajo viene dado gracias a las bases aprendidas durante todo mi aprendizaje hasta ahora. Sobre todo, gracias a conceptos básicos de electricidad impartidos en la universidad en las asignaturas de electrotecnia, electrónica, y termotecnia. También el uso del programa Matlab y la programación en Python, utilizados en la facultad ha sido de gran ayuda.

2. Introducción

2.1. Objetivos del proyecto

El objetivo principal de este proyecto es la búsqueda avanzada del funcionamiento de la energía Solar, estudiando todo el ciclo de vida de la energía que se aprovecha del Sol, hasta que se transforma en energía eléctrica. También se va a estudiar el diseño más óptimo de una planta generación solar fotovoltaica, garantizando la eficiencia de estos dispositivos para abordar su papel en el mundo que hoy es cada vez más eléctrico y por lo tanto más sostenible. Después de todo este estudio, se ha considerado oportuno e interesante un estudio práctico sobre la rentabilidad de la instalación de una placa solar para un particular, teniendo en cuenta todas las variables que sean necesarias.

2.2. Alcance del proyecto

Dado que la carrera de un estudiante es muy larga si empezamos a contar desde que un entra en el colegio, es importante ver el recorrido que uno hace y mirar atrás de vez en cuando para sentir que avanzas en una dirección y que esta dirección es la que quieres seguir llevando. Este proyecto es una manera de culminar el estudio llevado a cabo desde mi infancia hasta ahora, que me ha regalado la capacidad de poder entender y diseñar una planta de generación fotovoltaica, en la cual hay muchos conceptos nuevos, y con los cuales he aprendido, que se explican detalladamente en el documento para la grata comprensión de cualquier lector.

El alcance del proyecto, entonces, trata de conseguir disminuir de manera considerable las emisiones de CO₂ en la atmosfera terrestre, y entender las maneras de captación de energía renovable que existen en la actualidad. En este estudio empezamos con la energía fotovoltaica como principal fuente de energía, totalmente limpia, y se pretende demostrar la veracidad de que esta tecnología pueda cambiar las maneras de producir electricidad para un mundo mejor. Por lo que se van a explicar todos los factores que se han tenido en cuenta para un diseño óptimo de una planta de generación fotovoltaica, y garantizar su máxima producción para un particular. Igualmente, también se hará un estudio económico para saber si a un particular puede garantizarle ahorros monetarios una planta como esta. Se he explicado cada paso detalladamente y con imágenes para una buena comprensión del usuario interesado.

3. Crecimiento mundial de la energía renovable

Para conocer la magnitud del proyecto, es interesante investigar la cantidad de energía que se produce cada año que pasa, tanto de las renovables como de las no renovables. De ahí, evaluaremos qué porcentaje representa la renovable, y finalmente qué papel juega la Solar dentro de este marco.

Se han analizado diversos estudios de la Unión Europea (UE) donde se puede ver fácilmente todos sus resultados en la siguiente tabla. Entre las fuentes de energía renovables cabe destacar las siguientes: energía eólica, energía solar (térmica, fotovoltaica y concentrada), la energía hidroeléctrica, la energía mareomotriz, la energía geotérmica, la energía térmica ambiente capturadas por bombas de calor, los biocombustibles y la parte renovable de los residuos.

La utilización de estas energías comporta numerosos beneficios potenciales como la reducción de las emisiones de gases, la diversificación de los suministros de energía y la reducción de la dependencia de los mercados de los combustibles fósiles como el gas y el petróleo.

Gracias a la recogida de datos en toda Europa de la energía renovable producida en la UE, sabemos que esta aumentó entre 2007 y 2017:

En 2017, la producción primaria de energía renovable en la EU-28 (última actualización de los miembros de la Unión Europea, realizada el 1 de Julio de 2013) alcanzó los 226,5 millones de toneladas equivalentes de petróleo (tep). La cantidad de energía renovable producida dentro de la EU-28 aumentó en total un 64% entre 2007 y 2017.

Como se puede observar en la siguiente imagen (figura 1) el crecimiento de las energías renovables es más bien exponencial año tras año.

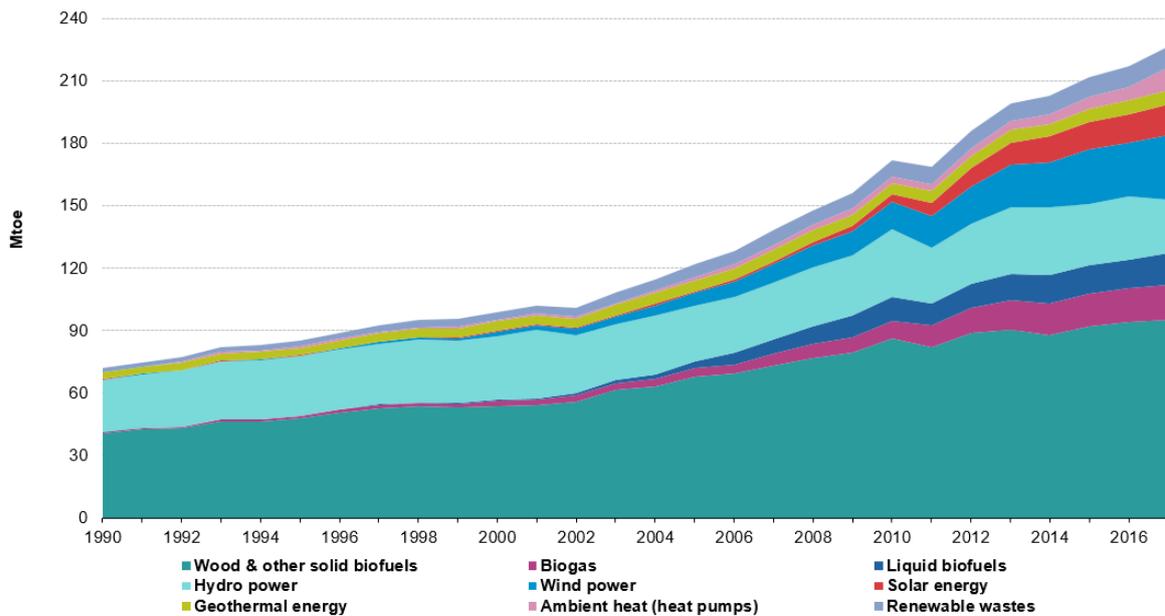


Figura 1: Producción primaria de energía procedente de fuentes renovables EU-28, 1990-2017

En este trabajo se va a hablar de la energía solar en concreto, por lo que nos interesa estudiar el aumento de energía solar en los últimos años. En esta gráfica podemos ver que en color rojo se dibuja el crecimiento de la energía solar. Este pasa de unas 155 tep en 2016 a casi 200 tep en 2017. Eso supone un incremento de del 29,03 %, lo que nos hace pensar que el este crecimiento se va a ir haciendo más grande con los años, dado que la mentalidad de las personas es cada vez más ecológica gracias a las campañas en contra de la contaminación atmosférica y usos de plásticos. La conclusión de todo esto es que el futuro nos va a traer aires de energías renovables, y por tanto debemos estar alerta.

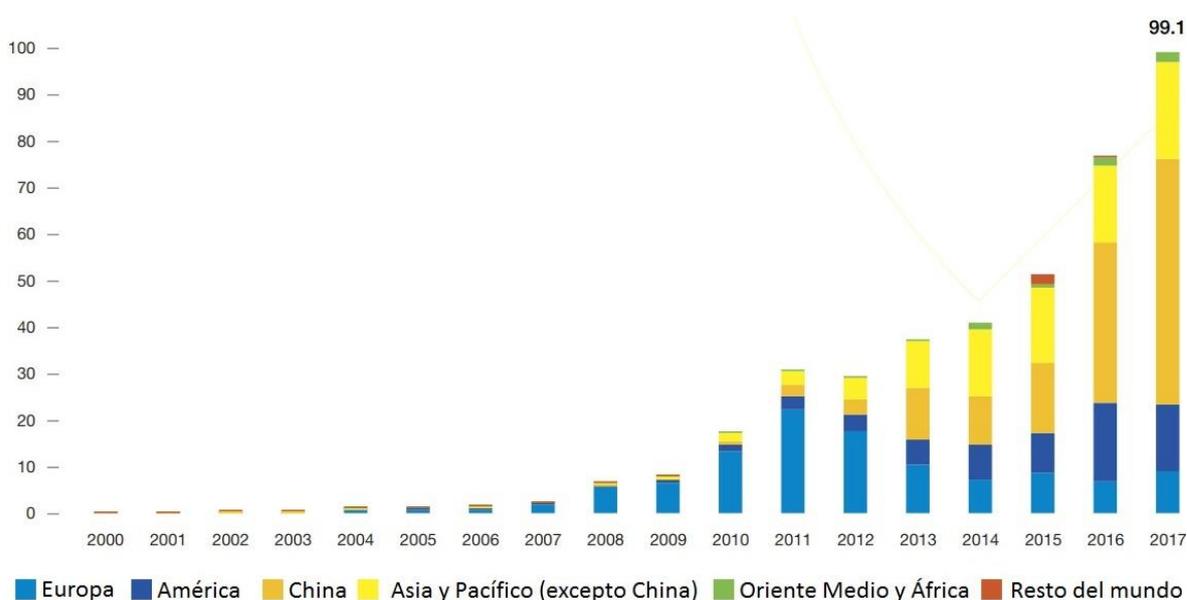


Figura 2: Potencia Solar fotovoltaica instalada anualmente en todo el mundo entre los años 2000 y 2017 (expresada en gigavatios, GW)

Otro dato todavía más rompedor es aportado por la Unión Española Fotovoltaica, asociación que representa al 85% del sector FV nacional. En su último estudio realizado a partir del balance de 2018, se observa que se instalaron en España 261,7 megavatios de nueva potencia fotovoltaica, lo que supone un incremento del 94% con respecto a los 135 megavatios del año anterior; 2017. Con estos datos es difícil pensar que esto va a parar. Todavía más, si en España se está generando tanta energía de manera sostenible y está creciendo así, es fácil pensar que en países mejor gestionados el ritmo sea mucho mayor. Tanto es así que España representa solo un 3% de la nueva potencia instalada en Europa en 2018, estimada en 8.500 megavatios, con Alemania y Países Bajos como las zonas con mayor desarrollo de nueva potencia fotovoltaica. Es decir que a España aún le sigue quedando mucho camino por recorrer, porque si en esas zonas donde las horas de luz son menores, este tipo de instalaciones les salen rentables, cuánto más en España que disponemos de luz solar durante todo el año.

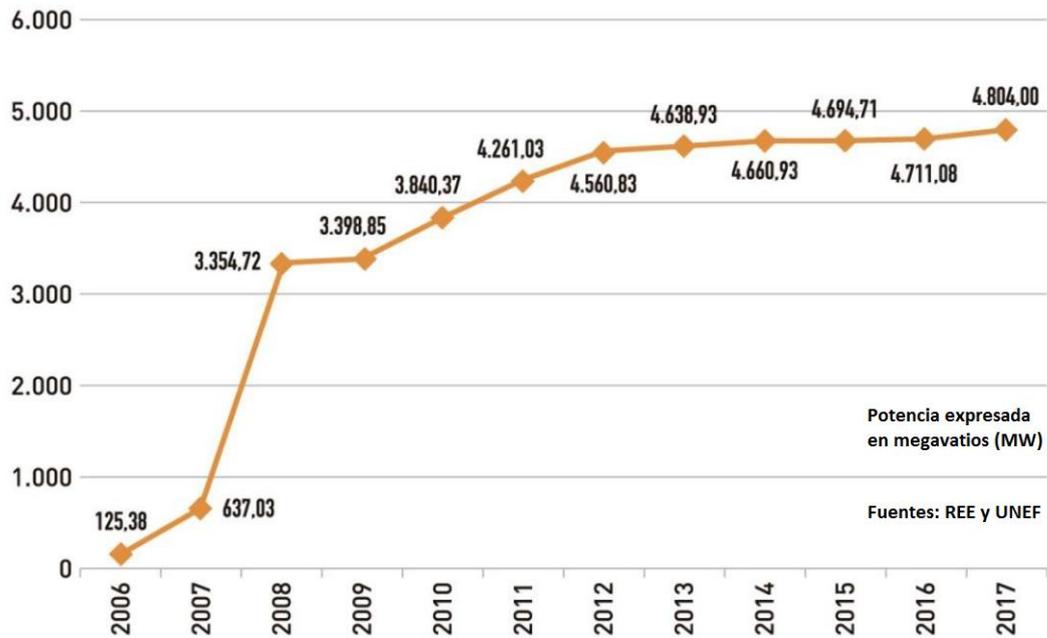


Figura 3: Potencia Solar Fotovoltaica instalada acumulada en España

En la figura 3 también es interesante ver la potencia solar fotovoltaica instalada anualmente en todo el mundo entre los años 2000 y 2017. En esta podemos ver cuando empezó todo este nuevo mundo a florecer, y poco a poco ganando terreno a través de los años, haciendo más rentables y eficiente los dispositivos utilizados para captar la energía. Se ve claramente que el crecimiento es enorme, y gracias a él se ha conseguido dejar de obtener energía de otras fuentes que pueden ser perjudiciales para la salud del planeta.

4. Consumo energético medio de un hogar

En España existe una gran cantidad de hogares los cuales representan el 20% del consumo de energía anual y 25% del consumo de energía eléctrica. Para saber pues, cual es el consumo medio de electricidad de un hogar español, nos basaremos en un estudio realizado por IDEA (Instituto para la diversificación y ahorro de la energía), el cual se basa en una recolección de datos muy completa donde se realizaron 9000 entrevistas y 600 mediciones reales.

Para llevar a cabo un estudio completo sobre las necesidades de un hogar para generar la energía que necesita éste para subsistir utilizando una cantidad de electricidad mínima suministrado por la red doméstica, es necesario hacer un cálculo exhaustivo del consumo de una vivienda.

Lo ideal para llevar a cabo un diseño óptimo de los paneles solares que hacen falta poner en una vivienda, sería aplicar los cálculos necesarios en función de varios aspectos que cada vivienda puede tener: número de inquilinos, los electrodomésticos que se utilizan, la calefacción, el agua caliente, la cocina... Claro está que el consumo de electricidad depende también del tipo de vivienda (unifamiliares o pisos) y de su ubicación (si están en el sur tienen más luz debido al clima).

En este apartado vamos a tener en cuenta todos estos aspectos para una vivienda de consumo de electricidad medio en España. En los electrodomésticos más habituales que se ven en una casa, vamos a coger datos de lo que consume cada electrodoméstico de media teniendo en cuenta los tiempos de encendido en horas y la potencia de cada uno, y aunque existen una amplia variedad de marcas que manejan el mismo electrodoméstico y este puede gastar más que el otro, se va a utilizar la media aproximada de cada electrodoméstico.

Aparato eléctrico	Potencia en W	Horas de uso al día	Tiempo de uso al mes (Horas)	Consumo Mensual (KWh)
Frigorífico	650	8 horas	240	156
TV	70	6 horas	180	13
Aire Acondicionado	1680	3 horas	90	151
Licuada	350	10 min	5	2
Tostadora	1000	10 min	5	5
DVD	25	3 horas 4 veces/sem	48	1,2
Equipo de música	75	4 horas	120	9
Cafetera	750	1 hora	30	23
Microondas	1200	15 min	10	13
Ordenador de escritorio	300	4 horas	120	36
Horno Eléctrico	1000	15 min	10	12
Lavadora	400	4 horas 2 veces/sem	32	13
Congelador	400	8 horas	240	96

Tabla 1: Cálculo del consumo energético mensual de cada aparato electrónico.

Estos son algunos de los ejemplos más típicos de electrodomésticos o aparatos que se ven usualmente en una vivienda normal. Dado la inmensa cantidad de ellos que puede haber en una casa, se han redondeado hacia ciertas cifras para tener en cuenta lo esencial de las viviendas, de manera que estemos en una vivienda que abarque el mayor número de viviendas reales parecidas a las del estudio. Es decir, no se estudiará la posibilidad de

mantener un proyector y su gasto mensual debido a que la mayoría de gente no posee uno, pues es un producto más bien de lujo que necesario, por así decirlo. También hay que tener en cuenta que en la misma tabla se han contemplado valores de tiempo redondeados como por ejemplo el del aire acondicionado. En invierno por ejemplo no se utiliza, pero debido a que en España el clima es cálido, se usa muchísimo en primavera y verano, así que se ha estimado un tiempo medio a lo largo del año.

Además la famosa OCU que ha obtenido datos en toda España del consumo de energía medio en una vivienda, informa en su sitio web que la media es de 9.922 Kwh anuales, que equivalen a 0,85 toneladas de petróleo. Vamos a desplegar detalladamente a que es debido esta cantidad de energía, categorizando en títulos más generales.

Haciendo un resumen más compacto con los datos de la OCU, podemos observar los diferentes campos a los que va asociado cada consumo en la siguiente tabla. De esta manera será más fácil comparar los resultados, y saber el total de energía que se consume en un hogar anualmente.

Aparatos Eléctricos	Consumo en kWh anual
Calefacción	5.000 kWh
Agua Caliente	1.681 kWh
Electrodomésticos	1.924 kWh
Cocina	737 kWh
Iluminación	410 kWh
Aire Acondicionado	170 kWh
TOTAL	9.922 kWh

Tabla 2: Clasificación de los categorías de consumo energético en una vivienda.

Cabe decir, que al ser uno de los objetivos de los usuarios el de invertir en energía solar para ahorrar dinero, se van a excluir del estudio la calefacción y el agua caliente debido a que estos dos aspectos se consiguen de manera más barata alimentándolos con Gas Natural, el precio del cual es muy inferior al de la electricidad. Además de que la mayoría de gente no los utiliza con energía eléctrica sino con gas. Lo que nos lleva a que el consumo eléctrico de una vivienda normal en España será la suma de todo lo demás, que son 3.241kWh.

Con esta tabla queda aclarado la cantidad de energía que consume una vivienda en España con los datos medios que se han proporcionado anteriormente. Por tanto 3.241 kWh son los que habría que poder generar para que una vivienda pudiese vivir sin necesidad de utilizar la red eléctrica y desde luego poder ahorrar en la factura de la luz. Más adelante se comprobará si esta cantidad es fácil de conseguir mediante el uso de placas fotovoltaicas teniendo en cuenta la superficie útil de las viviendas, que no suele ser más que el tejado de las mismas. En el caso de no tener espacio suficiente para instalar las placas necesarias, siempre se puede generar menos energía de la necesaria, utilizando al máximo el espacio, y así ver la factura de la luz algo reducida. Esa será la ventaja de tener un sistema conectado en red que se verá más adelante.

5. Introducción a la Energía Solar

La energía solar, es una energía renovable que se basa en el aprovechamiento de la radiación electromagnética que emite el Sol. Gracias a la luz y el calor generado por esta estrella, se consigue inducir corriente eléctrica mediante el uso de las placas fotovoltaicas. Dado que el Sol es una fuente inagotable de luz, esta manera de almacenar energía nos aporta grandes ventajas y nos garantiza su amortización a lo largo del tiempo. Encontramos dos usos diferentes de usar la energía que se absorbe del Sol, la Energía Solar Térmica y la Energía Solar Fotovoltaica.

5.1. Energía Solar térmica

También llamada energía termo solar, consiste en el aprovechamiento de la energía del Sol para producir calor que puede aprovecharse para la producción de agua caliente, tanto doméstica como sanitaria. También puede llevar a la producción de energía mecánica, y a través de esta se transforma en energía eléctrica. Podemos encontrar diversos tipos de almacenamiento de esta energía:

- Energía Solar Térmica de baja temperatura:

Para este tipo de energía, se utilizan circuitos básicos donde se calienta agua gracias a la luz solar. La figura 4 nos muestra un esquema de la circulación o ciclo de vida de la energía.

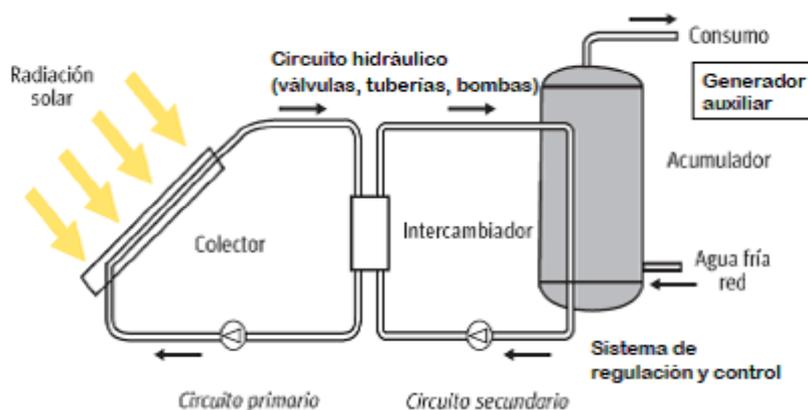


Figura 4: Instalación Solar Térmica de Baja Temperatura

La radiación solar entra en los paneles o colectores, los cuales consiguen el calor necesario para calentar el fluido que recorre todo el circuito en forma de ocho. En el circuito hidráulico encontramos válvulas, tuberías y bombas. Tenemos un circuito primario, que es donde se calienta el líquido principal obteniendo directamente el calor de los colectores. En el circuito secundario, gracias al intercambiador, se le traspara la energía a un segundo fluido, que llega desde la red de agua, hasta llegar al acumulador. Desde este acumulador es de donde se extrae el agua caliente de uso final.

Para las pequeñas instalaciones para agua caliente sanitaria como por ejemplo en viviendas unifamiliares, todos estos componentes se unen en uno solo formando lo que se llama un equipo compacto.

- Termosifón y sistemas de circulación forzada:

Este es un sistema pasivo, que se caracterizan por la manera en que hacen circular el agua dentro del circuito hidráulico. El agua acumulada en el depósito baja por la fuerza de la gravedad hasta los paneles, donde recibe el calor fruto de la energía solar. Cuando el agua se calienta, pierde peso y mediante un proceso natural llamado termosifón, vuelve a ascender hacia el depósito desde donde es distribuida para su uso.

5.2. Energía solar fotovoltaica

La energía solar fotovoltaica es la fuente que produce electricidad de origen renovable a partir de la radiación solar mediante un dispositivo semiconductor llamado célula fotovoltaica, incorporado en los paneles solares.

La energía solar fotovoltaica se usa tanto para producir electricidad en viviendas o naves que ya cuentan con suministro de la red eléctrica, como para abastecer casas de campo o viviendas aisladas de la red eléctrica. Su principal ventaja es que no contamina, es decir, que no genera ningún tipo de sustancia que pueda dañar el medio ambiente. Además contribuye a evitar la emisión de gases de efecto invernadero. Su principal desventaja es que la producción se ve afectada por las condiciones meteorológicas adversas. Por eso cuando los rayos de sol son bloqueados por las nubes que recorren el cielo, la producción de energía se bloquea.

Aplicaciones de la energía solar fotovoltaica:

- **Telecomunicaciones y señalización:** Esta energía es perfecta para la telecomunicación: en telefonía, antenas de radio y televisión. Se usan baterías de almacenamiento y la instalación eléctrica se realiza normalmente en continua (DC).

- **Dispositivos aislados:** El ejemplo más claro son las calculadoras. Se nutren de la energía solar para mantenerse encendidas y realizar los cálculos pertinentes.
- **Electrificación rural:** En entornos aislados lejos de la población donde el consumo de electricidad es más bien bajo, el acceso a la red es difícil y caro, así que se emplean paneles solares para generar su propia energía.
- **Sistemas de bombeo:** Estos sistemas utilizan la energía solar para proporcionar agua en sistemas de riego, agua potable en comunidades aisladas o abrevaderos para el ganado.
- **Transporte y navegación marítima:** Aunque la fotovoltaica todavía no se utiliza de forma generalizada para proporcionar tracción en el transporte, se está utilizando cada vez más para proporcionar energía en barcos y automóviles. Algunos vehículos están equipados con aire acondicionado alimentado mediante paneles fotovoltaicos para limitar la temperatura interior en los días calurosos, mientras que otros prototipos híbridos los utilizan para recargar sus baterías sin necesidad de conectarse a la red eléctrica. En este sector, se está incrementando rápidamente el uso de sistemas eléctricos.



Figura 5: Ejemplo de una planta solar fotovoltaica.

6. Tipos de sistemas fotovoltaicos

En este apartado se va a explicar cuáles son los diferentes tipos de sistemas fotovoltaicos que se pueden encontrar en el mercado hoy en día, teniendo en cuenta muchos factores importantes, que hacen que un sistema sea más adecuado para las diferentes situaciones en las que uno se puede encontrar. No hay un sistema que sea mejor que otro, solamente depende de las circunstancias en las que el conjunto se encuentre trabajando si queremos optimizar el uso de energía en un hogar concreto.

Existen tres maneras de utilizar la energía creada y gestionarla: Sistemas aislados, híbridos, y conectados a red. La diferencia entre cada una de ellas está explicado en los siguientes apartados:

6.1. Sistemas aislados (OFF-GRID)

Este tipo de sistemas funcionan de manera aislada a la red eléctrica, es decir, que no se genera electricidad para subministrarla después a la red, sino que la idea fundamental es poder crear autoconsumo, sin necesidad de tener que usar la conexión a la red general de la casa. Gracias a este tipo de instalaciones, hogares en los que no llega electricidad por cableado, o por otras dificultades que puedan presentarse, se consigue generar electricidad sin depender de nada o nadie. Es esencial entonces, que una vez creada esta energía, se haya de almacenar en algún sistema de almacenaje, que suelen ser baterías para poder utilizar esa energía en el momento que al consumidor le haga falta.

Las instalaciones fotovoltaicas aisladas son ideales en regiones donde la conexión a la red eléctrica no es posible o no está prevista debido al coste de la instalación, e incluso al coste de la misma electricidad. Una diferencia que caracteriza este tipo de instalaciones es su tensión del sistema (corriente continua o alterna). Podemos encontrar estos sistemas en ambos tipos de corriente. En los sistemas Off-Grid acoplados en corriente continua, el panel solar se conecta a través de reguladores de carga CC/CC. En cambio en corriente alterna se utiliza un inversor fotovoltaico convencional para inyectar corriente a la red eléctrica.

Aplicaciones de fotovoltaica aislada:

Electrificación rural: bombeo de agua, regadío, cámaras de refrigeración, etc.

Señalización terrestre: alumbrado, señales de advertencia en carreteras, señalización, etc.

Aplicaciones industriales: Torres de telecomunicaciones, antenas, sistemas de vigilancia de petróleo y gas.

Actividades de ocio: En refugios de montaña, casas de jardín, barcos o caravanas, y cada vez más en coches.

6.2. Sistemas híbridos

Este tipo de configuración se caracteriza por integrarse a otra fuente de energía externa a los paneles solares. Generalmente esta configuración usa un inversor de potencia híbrido que integra la energía producida por los paneles solares, la energía almacenada en las baterías y la energía de otra fuente externa.

Generalmente estos sistemas se usan para reducir el número de equipos, así bajar los costos y facilitar transporte. Las aplicaciones más comunes hoy en día son para el respaldo de energía en áreas remotas donde no tienen suficiente suministro de electricidad (o estos costes son muy elevados), también para la reducción de costes de combustible y mantenimientos de plantas diésel, y en plantas de respaldo amigables con el medioambiente.

6.3. Sistemas conectados a red (ON-GRID)

Este sistema es el más utilizado en todo el mundo. El funcionamiento es muy sencillo, la energía que se produce alimenta a las necesidades del hogar mientras haya generación. Al estar conectado en red, cuando se necesita más energía de la que se ha producido, esta se suministra a través de la red eléctrica, viendo así reducido el consumo de electricidad dado por la compañía eléctrica. En el caso de que se genere más energía de la consumida, gracias a la conexión a la red, esta cantidad se puede suministrar a otro hogar que lo necesite o almacenarse con baterías en la propia casa (aunque es raro encontrarse este tipo de almacenamiento en una casa particular). En este último caso, dependiendo del país en el que uno se encuentre, el gobierno o compañía eléctrica se ve obligada a remunerar la cantidad en exceso de energía que el individuo ha suministrado a la red.

Analizaremos más adelante las tarifas que existen hoy en día en el caso de tener excedentes de energía en España, y qué políticas rigen este país en caso de generar más energía.

Una vez hemos visto los diferentes tipo de sistemas o configuraciones que existen, vamos a centrarnos en el más utilizado, que sería el conectado a red (ON-GRID).

7. Funcionamiento de la Fotovoltaica

7.1. Efecto fotovoltaico

En este trabajo se está tratando de explicar cómo se puede aprovechar la energía que llega del Sol, para poder utilizarla como energía eléctrica y poder usarla en nuestras casas. Vamos a tener en cuenta muchas variables que en este proceso son muy importantes para poder controlar y diseñar la planta que necesitamos, según la energía consumida a lo largo del año.

Todo esto es un estudio muy interesante, pero, la pregunta que nos viene a la cabeza es: ¿Cómo se consigue energía eléctrica gracias a los rayos del Sol? Es decir, de un rayo de Sol, ¿De verdad se puede convertir en energía eléctrica un haz de luz? Pues la respuesta es que sí. Dando un pequeño repaso a la historia de este fenómeno, fue muy importante en 1838 el francés Alexandre Edmons Becquerel fue el descubridor primero del efecto fotovoltaico mientras experimentaba con una pila electrolítica con dos electrodos de platino y al cabo de un rato del experimento, empezó a darse cuenta de que ésta, al ser expuesta al Sol, la corriente crecía. Así que desde entonces no se ha parado la investigación sobre este fantástico fenómeno que en su momento debió de ser un gran descubrimiento.

Una manera de fácil de explicar ahora, cómo pueden captar unas placas de silicio electricidad con la luz del Sol es la siguiente:

La luz que se produce en un LED, una tecnología que ofrece luz de bajo consumo, viene del cambio de nivel de energía de un electrón. En el momento que este electrón cambia de nivel, pierde energía, y esta energía perdida adopta la forma de un haz de luz (fotón). Pues bien, si a este fenómeno podemos darle la vuelta, es decir, en vez de que el electrón pierda energía, podemos suministrarle energía en forma de luz (con la luz del Sol), entonces podremos hacer que ese electrón vuelva a su nivel superior y siga circulando la corriente. Gracias a los materiales semiconductores como el silicio, tienen la particularidad de presentar un comportamiento diferente ante la electricidad. Para que un electrón pueda ser liberado, hay que suministrarle una cantidad de energía que rompa su atracción con el núcleo del átomo, así el electrón es libre para circular por el material. Cada electrón que ha quedado libre, deja un hueco o un espacio hasta que es ocupado por otro electrón que venga de otro átomo. Estos movimientos que se generan dentro del material es lo que llamamos cargas eléctricas. Es entonces cuando se crea la energía fotovoltaica.

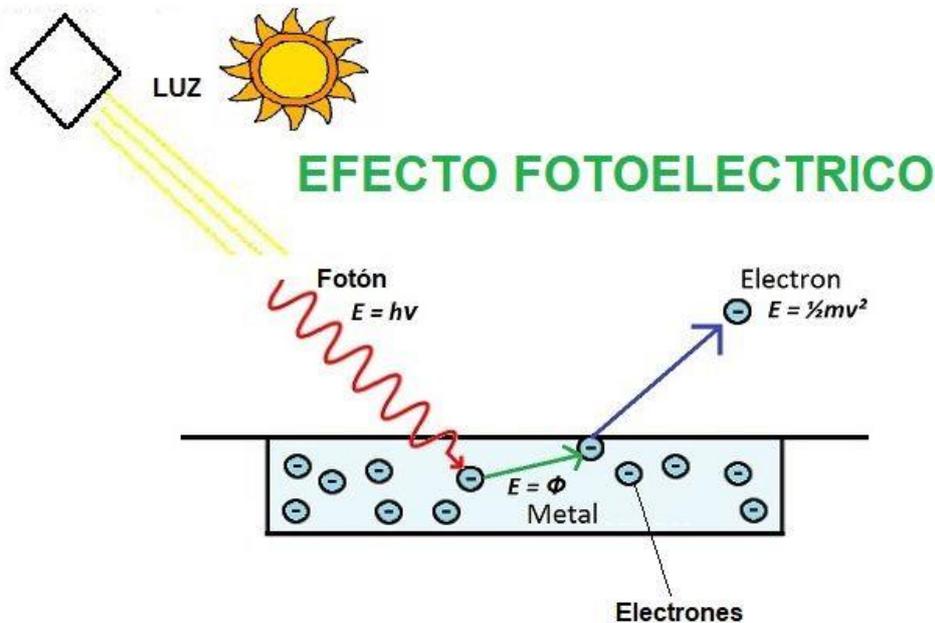


Figura 6: Principio básico del efecto fotoeléctrico.

7.2. Radiación Solar

Si queremos estudiar cómo funciona el dispositivo que almacena energía a través de la radiación solar, tendremos que tener en cuenta algunos aspectos que van a hacer que la energía producida sea mayor o menor. Principalmente, el Sol, es la fuente inagotable de luz y calor que hace posible la vida en el planeta Tierra. Gracias a él, se puede suministrar energía sin necesidad de estar conectado a la red eléctrica. Primero es imprescindible saber qué cantidad de energía libera el Sol. Según la NASA, “En conjunto, los rayos solares transmiten a la Tierra cada segundo cincuenta mil millones de kWh, lo cual equivale a dos millones de veces las necesidades actuales de energía del mundo. Sin embargo, esta fabulosa cantidad no supone sino unas dos mil millonésimas de toda la energía irradiada por el Sol.” Es decir que si la energía irradiada a la Tierra es de 50.000.000.000 kWh por segundo, la energía total irradiada por el Sol es de:

$$\frac{2}{1.000.000.000} = \frac{50.000.000.000}{x} \quad \text{(Ecuación 1)}$$

Aquí aparece lo que se denomina la radiación Solar. Esta es el conjunto de radiaciones electromagnéticas emitidas por el Sol. Es la energía radiante emitida en el espacio interplanetario del Sol. Esta radiación se genera a partir de las reacciones termonucleares de fusión que se producen en el núcleo solar y que producen la radiación electromagnética en varias frecuencias o longitudes de onda, entre 0,15 y 4 μm aproximadamente, que se propaga entonces en el espacio de velocidades típicas de estas ondas.

Pues bien, la captación de energía solar va a depender de ciertos parámetros explicados a continuación:

Intensidad de radiación: La intensidad de luz que se da cada día no va a ser la misma, por tanto, habrá días que se capte más energía que otros, debido a los cambios de estación y por tanto al clima.

Para hacer más fácil su estudio, vamos a definir tres importantes aspectos a tener en cuenta, que caracterizan la radiación solar.

- o **Radiación directa:** Es la radiación que es recibida desde el Sol, sin que sufra desviación alguna en su camino a través de la atmósfera.
- o **Radiación difusa:** Es la radiación solar que sufre cambios en la dirección, principalmente debidos a la reflexión y difusión en la atmosfera.
- o **Albedo:** Es la radiación directa y difusa que se ve reflejada por el suelo u otras superficies próximas.

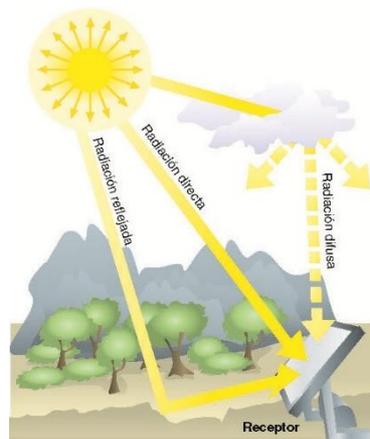


Figura 7: Descomposición en los diferentes componentes de la radiación.

La suma de todas las radiaciones descritas recibe el nombre de radiación global, que es la radiación solar total que recibe la superficie de un receptor y por lo tanto la que nos interesa conocer y cuantificar.

7.3. Características de la Radiación Solar

La Radiación Solar no se concentra solamente en una sola frecuencia, sino que se distribuye en un amplio espectro de amplitud no uniforme con la forma típica de una campana. El máximo de radiación se centra en la banda de radiación o luz visible con un pico a 500 nm fuera de la atmosfera terrestre según la Ley de Wien, que corresponde al color verde cian. La banda de radiación fotosintéticamente activa (PAR) oscila entre 400 y 700 nm, corresponde a la radiación visible y equivale al 41% de la radiación total. Dentro del PAR hay subbandas con radiación:

- Azul-Violeta (400-490 nm)
- Verde (490-560 nm)
- Amarillo (560-590 nm)
- Rojo anaranjado (590-700 nm)

También han de ser dignos de mención los rayos infrarrojos y sobretodo los ultravioleta, aunque es cierto que la energía emitida por estos es mucho menor.

7.4. Cálculo de la Radiación Solar sobre una placa inclinada

Para poder calcular la radiación solar, se utilizan dos magnitudes que corresponden a la potencia y a la energía de la radiación que llegan a una unidad de superficie, se denominan irradiancia e irradiación:

- **Irradiancia:** Potencia o radiación incidente por unidad de superficie. Indica la intensidad de la radiación solar. Se mide en vatios por metro cuadrado (W/m²).
- **Irradiación:** integración o suma de las irradiancias en un periodo de tiempo determinado. Es la cantidad de energía solar recibida durante un periodo de tiempo. Se mide en julios por metro cuadrado por un periodo de tiempo (J/m² por hora, día, semana, mes, año, etc., según el caso).

En la práctica, dada la relación con la generación de energía eléctrica, se utiliza como unidad el W·h/m² y sus múltiplos más habituales kW·h/m² y MW·h/m².

La estimación de la irradiación anual que incide sobre los generadores fotovoltaicos comporta varios pasos:

- 1) **La radiación global incidente sobre una superficie horizontal, $G_a(0)$.** Este paso se hace por la sencilla razón de suponer que coincide con el valor medio medido en el pasado, durante los últimos años. Son muchas las entidades u organismos que miden cada año la radiación solar, incluida la NASA, y publican los resultados, en forma de atlas o bases de datos que contienen un valor para cada mes del año.

- 2) Estimación de la irradiancia global diaria sobre una superficie inclinada $G_a(\beta_{opt})$.** El valor medio anual de la irradiación global diaria sobre una superficie inclinada, se puede calcular con fórmulas sencillas, partiendo de los valores medios anuales de irradiación global diaria horizontal [$G_{da}(0^\circ)$] de la tabla 1, utilizando como datos de partida la latitud de la localidad y la inclinación óptima (β_{opt}) de la superficie del generador.

$$G_a(\beta_{opt}) = \frac{G_a(0)}{1 - 4,46 \cdot (10^{-4}) \cdot \beta_{opt} - 1,19 \cdot (10^{-4}) \cdot \beta_{opt}^2} \quad \text{(Ecuación 2)}$$

$G_a(\beta_{opt})$: Valor medio anual de la irradiación global sobre superficie con inclinación óptima ($\text{kW}\cdot\text{h}/\text{m}^2$).

$G_a(0^\circ)$: media anual de la irradiación global horizontal ($\text{kW}\cdot\text{h}/\text{m}^2$).

β_{opt} : inclinación óptima de la superficie ($^\circ$).

3) Factor de irradiación (FI)

Siempre que se pueda se debe orientar la superficie del generador de forma óptima ($\alpha=0^\circ$ y β_{opt}). Sin embargo este requisito no siempre se puede cumplir. Pueden condicionar la orientación de la superficie la integración arquitectónica, la resistencia al viento, la acumulación de nieve, etc. Para calcular estas pérdidas debidas a la inclinación y orientación no óptimas, se aplica un coeficiente de reducción de la energía denominado factor de irradiación (FI) y que se calcula con las expresiones siguientes:

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

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

FI: factor de irradiación (sin unidades).

β : inclinación real de la superficie ($^\circ$).

β_{opt} : inclinación óptima de la superficie ($^\circ$).

α : acimut de la superficie ($^\circ$).

4) Estimación de la irradiación anual incidente sobre la superficie inclinada real $G_a(\alpha, \beta)$

La irradiación sobre la superficie con inclinación y acimut no óptimos se calcula multiplicando la irradiación sobre la superficie con inclinación óptima por el factor de irradiación:

$$G_a(\alpha, \beta) = FI \cdot G_a(\beta_{opt}) \quad \text{(Ecuación 5)}$$

$G_a(\alpha, \beta)$: Valor medio anual de la irradiación global sobre superficie con inclinación y acimut no óptimos ($\text{kW} \cdot \text{h}/\text{m}^2$)

$G_a(\beta_{opt})$: valor medio anual de la irradiación global sobre superficie con inclinación óptima ($\text{kW} \cdot \text{h}/\text{m}^2$) y acimut cero.

FI: factor de irradiación (sin unidades)

HORAS SOL PICO (HSP)

Para facilitar el proceso de cálculo en las instalaciones fotovoltaicas, se emplea un concepto relacionado con la radiación solar, que simplifica el cálculo de las prestaciones energéticas de este tipo de instalaciones, son las “horas sol pico” (HSP).

Se denomina HSP al número de horas diarias que, con una irradiancia solar ideal de $1000 \text{ W}/\text{m}^2$ proporciona la misma irradiación solar total que la real de ese día. Este concepto se explica gráficamente en la Figura 8.

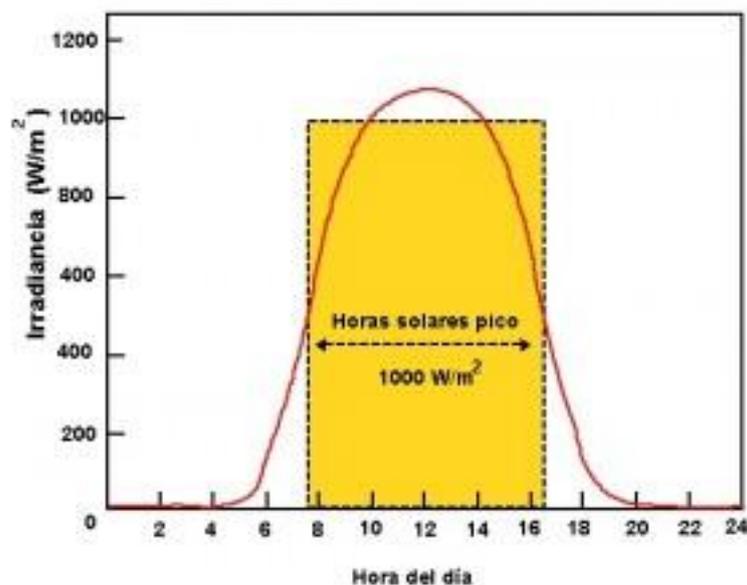


Figura 8: Horas de sol pico para la generación de energía eléctrica.

Es decir, si se dispone de los datos de irradiación solar de un determinado día y se divide entre 1000, se obtienen las HSP. Se puede deducir fácilmente que si los valores de radiación solar disponibles están expresados en kWh/m², coinciden numéricamente con los que resultan al expresarlos en HSP.

Las horas sol pico, nos van a ayudar a conocer la energía disponible, y poder calcular el campo fotovoltaico necesario, una vez conozcamos los consumos y las pérdidas del sistema, así como otros factores, que trataremos más adelante.

8. Componentes de una planta solar fotovoltaica

Es importante para analizar y aprender todo sobre la energía solar, saber cuáles son los elementos necesarios para poder generar energía a partir de la luz del sol. Vamos a explicar ahora los componentes más esenciales y cuál es su función en todo el sistema.

8.1. Módulo Solar Fotovoltaico

El elemento más importante que a todos nos viene a la cabeza es claramente el panel solar o módulo solar fotovoltaico, que desde luego sin él, nada de esto sería posible. Este componente es el encargado de transformar la radiación solar dada por el Sol, en energía eléctrica a través del efecto fotoeléctrico. Este fenómeno físico se ha explicado anteriormente de manera más detallada. Estas placas están hechas de material semiconductor principalmente de silicio monocristalino o policristalino, que permite la creación de electricidad. Hemos de tener en cuenta en el momento de diseñar un panel solar, en todos los factores que hacen que la potencia sea la deseada. Más adelante se hablará sobre el diseño más adecuado según las necesidades del cliente. El factor que caracteriza cada panel solar, es la potencia máxima o nominal que se puede generar en condiciones normales o ideales (radiación de 1kW/m^2 y temperatura de 25°C). Teniendo en cuenta que España es un país con mucha luz solar durante todo el año, el rendimiento de las placas en este país está prácticamente asegurado.



Figura 9: Placa solar fotovoltaica.

8.2. Regulador de Carga

Este componente del sistema administra de forma eficiente la energía hacia las batería prolongando su vida útil protegiendo el sistema de sobrecarga y sobre-descargas. Este elemento es comercializado basado en su capacidad máxima de corriente a controlar (amperios). El regulador ayuda al sistema a repartir la energía generada disponible al lugar donde se necesite. Si las baterías no estuviesen cargadas, se encargaría de pasar una parte de la electricidad a las baterías para poder usa esta energía más tarde, cuando el usuario necesite. Es imprescindible en instalaciones que usen baterías o algún método de almacenaje de energía. Por tanto no es imprescindible en todos los casos.



Figura 10: Regulador de carga.

8.3. Batería

La batería o acumulador es un elemento opcional en nuestro circuito, debido a que no es necesario para la generación de energía. Es muy útil si lo que queremos es almacenar la energía para usarla en otro momento. Para sistemas aislados es muy interesante, ya que les permite guardar la energía y utilizarla en momentos cuando no hay sol y no tienen otra manera de conseguir energía eléctrica.

La batería cuenta con un conjunto de productos químicos como el litio que son capaces de almacenar la energía y activarla en cualquier momento. Hoy en día se están estudiando otras maneras de almacenar energía porque la extracción de litio no es del todo ecológica, y contamina. Hay sistema innovadores actualmente en el mercado que permiten almacenar esta energía sin necesidad de contaminar en todo su proceso, y en el futuro seguro que se encontraran maneras de almacenaje de energía con métodos sostenibles.



Figura 11: Batería de litio.

8.4. Inversor

El inversor convierte la corriente continua y bajo voltaje (12v o 24v normalmente) proveniente de las baterías o controlador en corriente alterna. Es decir que transforma la corriente continua que viene del panel solar en una toma de corriente convencional. Por lo general es comercializado basado en su potencia en Watts, la cual es calculada como el voltaje por corriente ($P=VI$). Corresponde a la demanda máxima de (potencia) de los equipos que se van a conectar. Se puede prescindir de este componente cuando los equipos a conectar puedan ser alimentados por corriente directa. Como es el caso de algunos tipos de iluminación, motores y equipos diseñados para trabajar con energía solar.



Figura 12: Inversor de una planta fotovoltaica.

8.5. Soportes

El último de los elementos básicos que hacen falta para que el sistema esté completo, es una pieza que de soporte a nuestro panel, de manera que siempre éste quede orientado en la dirección que maximice la cantidad de energía generada. Es un componente pasivo de los sistemas de energía solar porque no aporta ningún tipo de control o energía al sistema, sin embargo, este es muy necesario e incluso imprescindible debido a que estamos hablando de un panel solar que está al aire libre, y por tanto está expuesto a las adversidades del cambio climático o cambios de estación con sus diversos movimientos y fenómenos climáticos como pueden ser el fuerte viento, tormentas, lluvias, etc. Es por ese motivo que el soporte se convierte en un elemento esencial para que la placa solar siga en funcionamiento incluso en las situaciones más adversas del clima. Todo esto durante 25 años que suele ser la garantía que se ofrece en este tipo de productos.

9. Modelización de la planta fotovoltaica

En este apartado vamos a empezar con la simulación de lo que sería nuestra planta de generación fotovoltaica deseada. Se va a explicar paso a paso cómo se ha hecho la simulación, qué programas se han utilizado, y cómo se han gestionado para una fácil comprensión del lector.

9.1. Metodología

Para empezar, se van a describir los diferentes softwares que se han utilizado para el estudio de lo que será nuestra planta. Hoy en día hay varios programas que te ayudan a saber variables que dependiendo de la zona en el planeta en la que uno quiera hacer su estudio, hay ciertos parámetros que se tienen en cuenta ya que afectan a la radiación solar. Es decir que no será la misma radiación en el Polo Norte como en España por ejemplo.

9.2. PV GIS

Este programa totalmente online es una herramienta de trabajo excepcional, donde se encuentran muchos datos reales de muchos parámetros que intervienen en el cálculo de una instalación fotovoltaica teniendo en cuenta la geolocalización de la misma. Es una aplicación oficial desarrollada por la Unión Europea que permite calcular tu producción fotovoltaica en cualquier zona de Europa, Asia, y América. Con toda esta información se pueden evaluar las ventajas o desventajas que se presentarían en un equipo de autoconsumo en la región que uno haga el estudio.

Gracias a esta aplicación podremos conocer parámetros que en el momento de estudio se extraerán para hacer los cálculos pertinentes en nuestra instalación.

9.3. PV Syst

Este otro programa va un poco más allá que el anterior. PV Syst es realmente un programa informático que permite al usuario realizar el diseño, simulación y análisis de los datos de una instalación fotovoltaica. Mas adelante se explicarán los pasos que se han seguido y los detalles más importantes para ver cómo funciona este sistema. Este software se ha desarrollado en Ginebra por la Universidad de Ginebra.

9.4. Inspección del emplazamiento

Como buen estudio que se quiere realizar, se va a situar nuestra hipotética instalación en algún sitio real donde lleguen los rayos de Sol. Se ha pensado en un lugar de Barcelona, España. En el barrio de Vallcarca i el Penitents, encontramos una vivienda muy bien situada con una azotea lo suficientemente grande como para colocar la cantidad de placas solares que nos sean imprescindibles. El edificio consta de 4 viviendas, un piso por planta, y un parquin conjunto para los 4 vecinos, donde cada uno puede guardar su propio coche. En la azotea, que no es una terraza porque no es un lugar en el que se pueda subir sin autorización del presidente de la comunidad, el terreno es totalmente plano, y mide unos 100 m². Lo que nos da margen suficiente para poder optimizar la instalación.

9.5. Diseño de la configuración técnica

Llegados a este punto, se va a proceder a la configuración de una instalación fotovoltaica, y para optimizarla, se va a tener en cuenta todos los parámetros descritos hasta el momento. Para empezar hay que hacerse varias preguntas:

1. ¿Qué tecnología es mejor utilizar para maximizar el rendimiento de la instalación?
2. ¿Merece la pena conseguir una estructura móvil?
3. ¿Qué inversor debemos utilizar? ¿Mas de uno?
4. ¿Hace falta comprar baterías?
5. ¿Es necesario un regulador de carga?
6. ¿Cuántos paneles necesito? ¿En serie o paralelo?

Estas preguntas son las que cualquier persona que esté buscando realizar una instalación fotovoltaica debería plantearse. Por supuesto se va a tratar de responder a todas ellas, tratando de resolver un ejemplo.

9.5.1. Elección de los módulos fotovoltaicos

En el mercado actual hay diferentes tecnologías que consiguen un gran rendimiento en el ámbito solar, lo que nos dificulta la elección de cuál va a ser el escogido. Para ello, vamos a utilizar datos oficiales que se han publicado en Internet, donde la OCU (Organización de Consumidores y Usuarios) realizó en 2019 un estudio de las mejores placas solares del mercado actual. En este estudio se presentaron muchas empresas con sus tecnologías de última generación, y de todas esas, después de realizar unas pruebas muy estrictas sobre el funcionamiento de estas placas, la OCU puntuó cada una sobre las ventajas de cada una. De todas estas destacaremos el TOP 5.

Antes de presentarlas vamos a explicar algún concepto básico referente a los tipos de tecnologías que existen y que nos ayudarán a escoger la mejor placa.

Tecnología: Hoy en día existen tres tipos principales de paneles solares según la tecnología de sus células: monocristalinos, policristalinos y amorfos. Por lo general la tecnología monocristalina suele ser más eficiente que las otras dos, lo que también las hace menos económicas.

Potencia: Esta es una característica muy importante a tener en cuenta cuando calculemos la cantidad de energía que queremos generar y se define como la cantidad de energía producida en un tiempo determinado. La unidad de medida internacional es el Watio.

Potencia por metro cuadrado: Esta unidad de medida se consigue de la relación que existe entre la potencia generada y la superficie útil. Nos ayudará para maximizar la energía que queremos producir utilizando el menor espacio posible.

Número de células: Las células que forman los paneles son las que conectadas unas con otras (negativo con positivo y positivo con negativo) generan la corriente eléctrica (que se mide en Amperios). Por tanto el número de células también va a ser importante para elegir el modelo.

Por tanto el Top 5 de paneles que vamos a tener en cuenta en nuestro estudio serán los que se ven en la siguiente tabla:

PANEL SOLAR	Potencia por m ²	Potencia	Tecnología células	Número de células	Puntuación OCU
SunPower SPR-X21-345	214 Wp/m ²	345 WP	Monocristalino	96	97/100
Panasonic VBHN325SJ47	194 Wp/m ²	325 WP	Monocristalino	96	94/100
ALEO X59	184 Wp/m ²	310 WP	Monocristalino	60	86/100
QCells Q.PEAK-G4.1 305	176 Wp/m ²	305 WP	Monocristalino	60	77/100
REC 280TP	171 Wp/m ²	280 WP	Policristalino	120	94/100

Tabla 3: Puntuación de los paneles solares del mercado actual.

Gracias a esta tabla podemos comparar fácilmente las placas actuales que mejor aprovechan la energía del sol y la convierten en energía eléctrica.

Para ayudarnos en esta elección, aunque sabemos que cualquiera de estas placas sería una buena inversión, se desarrolló el Programa de Calificación de Productos de Placas Fotovoltaicas, llamado DNVGL, para apoyar a la comunidad solar con dos claros objetivos:

1. Proporcionar a los interesados en la compra de paneles fotovoltaicos a garantizar la fiabilidad de los mismos, su calidad, y la veracidad de los datos aportados por las distintas compañías. También para los inversores de centrales eléctricas para apoyar la implementación de un proceso efectivo de gestión de proveedores (como una lista de productos o proveedores aprobados)
2. Proporcionar reconocimiento independiente a las empresas que fabrican módulos fotovoltaicos que superan a sus competidores en calidad y durabilidad de sus productos.

Las pruebas realizadas por esta organización y a las que los diversos paneles han sido probados son las siguientes:

Test de Ciclos térmicos: Según la norma EIC que suele usarse para certificar un panel solar, una placa solar debe soportar 200 ciclos de variación de temperatura desde los -40°C hasta los 85°C sin verse afectado demasiado su rendimiento. Pues bien, el DNVGL realiza 800 ciclos.

Test de Calor Húmedo: En la norma IEC, los módulos se mantienen a una temperatura constante de 85°C y una humedad relativa del 85% durante 1000 horas. El DNVGL realiza muchas pruebas de calor húmedo con diferentes duraciones, evaluando la resistencia de los módulos y descubrió que 2000 horas es mucho más efectivo para decidir la calidad y rendimiento de un buen panel solar.

Test de Carga Mecánica +Ciclos Térmicos +Congelación de Humedad: Para la secuencia de prueba DML (Carga Dinámica Mecánica), el módulo se instala de acuerdo con el montaje recomendado por el fabricante y se somete a 1.000 ciclos de carga alterna a 1.000 Pa.

Después de un tiempo el módulo se somete a esfuerzos en una cámara durante 50 ciclos térmicos para causar la propagación de microfisuras pasando previamente por 10 ciclos de congelación de humedad para darse cuenta completamente de la pérdida potencial de energía.

Una auténtica tortura para un panel solar y que solo los mejores fabricantes de paneles solares superan.

La prueba DML examina varios aspectos del módulo fotovoltaico, incluyendo características de diseño como el tamaño del marco, el material selección, como el sellado de bordes y los controles de fabricación de la interconexión y el grabado de las células.

Test de Degradación por potencial inducido o PID: Durante la prueba, se aplica un sesgo de tensión igual a la tensión nominal del sistema del módulo (-1 kV o -1,5 kV). bajo condiciones de 85°C y 85% de humedad relativa durante dos sesiones de 96 horas. Este entorno acelerado proporciona las condiciones de temperatura, humedad y sesgo de tensión necesarias para evaluar la degradación relacionada con el aumento de las fugas actual.

Teniendo en cuenta todas estas pruebas realizadas, vamos a escoger el panel solar mejor valorado por la OCU, *SunPower SPR-X21-345*, ya que está más que justificada su calidad y fiabilidad de producto. Gracias a esta placa solar y su tecnología, podremos llevar a cabo la instalación que se desea, optimizando todos los aspectos comentados, y maximizando la producción de energía eléctrica. Esta placa solar ha sido modificada por la misma marca, y ha conseguido traer al mercado placas con la misma tecnología pero con mayor potencia. Así que la elección va a recaer sobre la nueva SunPower SPR-MAX3-400. En el siguiente apartado se van a explica detalladamente todas sus características.

9.5.1.1. SunPower SPR-MAX3-400

Este panel solar escogido, no hace falta decir que le han sido otorgados varios premios, como el de máxima eficiencia. Es tal la calidad que la marca ofrece 25 años de garantía por cada una de sus placas. Vamos a comentar los aspectos que hacen de este modelo una buena candidata.

Información relevante	
Potencia nominal	400 W
Tolerancia	+5/0 %
Eficiencia del panel	22,6 %
Caída de voltaje	65,8 V
Corriente	6,08 A
Voltaje de circuito abierto	75,6 V
Corriente de cortocircuito	6,58 A
Temperatura	-40°C a 85°C
Resistencia a Impacto	Granizo de 25 mm de diámetro a 23 m/s
Celdas solares	104 Monocristalinas Maxeon Gen III
Peso	19 kg

Tabla 4: Características principales del panel solar SPR-MAX3-400 de SunPower.

Estas características hacen este diseño de módulo solar uno de los mejores del mercado. La potencia conseguida para generar energía eléctrica es de las más altas, gracias a la caída de voltaje que se consigue, y claro está de las 104 celdas que hacen eso posible. Están preparadas para cualquier tipo de adversidad en cuanto a posibles golpes que pueda recibir, pues el clima va a ser uno de los peores enemigos de la placa. También admite gran margen de temperatura, lo que significa que en casi todas las zonas del mundo podría instalarse una placa solar de este calibre. Sorprende un poco el peso del panel, es ligera, lo que hace más fácil la instalación. También podemos ver las medidas de cada placa, para así poder calcular el espacio que necesitaremos emplear para instalar las placas que nos sean necesarias.

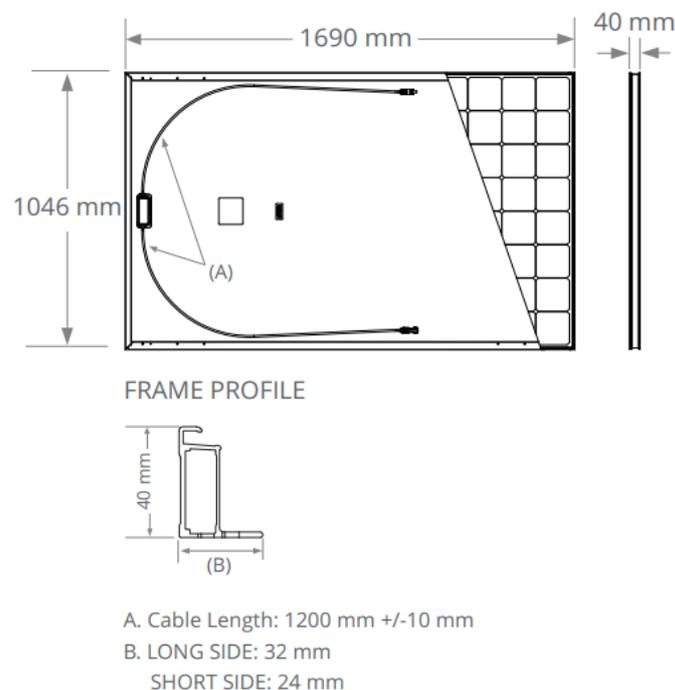


Figura 13: Medidas del panel fotovoltaico SPR-MAX3-400 de SunPower.

En la figura 13 se ven claramente las medidas del panel. Éstas son de 1,046 metros de ancho, 1,69 metros de largo y 0,04 metros de grosor. También nos da la longitud del cable que pasa por debajo, de 1,2 metros.

9.5.2. Estructura

Una vez se han seleccionado los módulos, el siguiente paso será hacer un pequeño estudio sobre la inclinación óptima de los mismos para producir la mayor cantidad de energía posible. Para este problema, se emplearán los programas que antes hemos mencionado empezando por PV GIS, que nos va a proporcionar los datos que necesitamos saber sobre la radiación en la zona donde queremos realizar la instalación.

Además de eso existen otras posiciones que también son importantes. Para empezar, los módulos fotovoltaicos que hemos escogido tienen unas medidas de 1001mm x 1601 mm. Como se muestra en la imagen, podemos colocarlos de manera horizontal o vertical. Si los colocamos de manera vertical tendremos un problema con las sombras que se puedan producir. En el caso de que una sombra alcance una parte de nuestra placa, ésta bloqueará toda producción de energía debido a que se deja de recibir luz en las células que conducen la electricidad a las otras células. Por tanto no se generaría electricidad. En cambio si las colocamos en horizontal, vemos que las franjas que quedan sombreadas solo pertenecen a un grupo de células, que están conectadas en paralelo, dejando que los otros grupos sí que puedan producir energía. He aquí la importancia de una buena colocación de los paneles para su producción óptima y máxima.

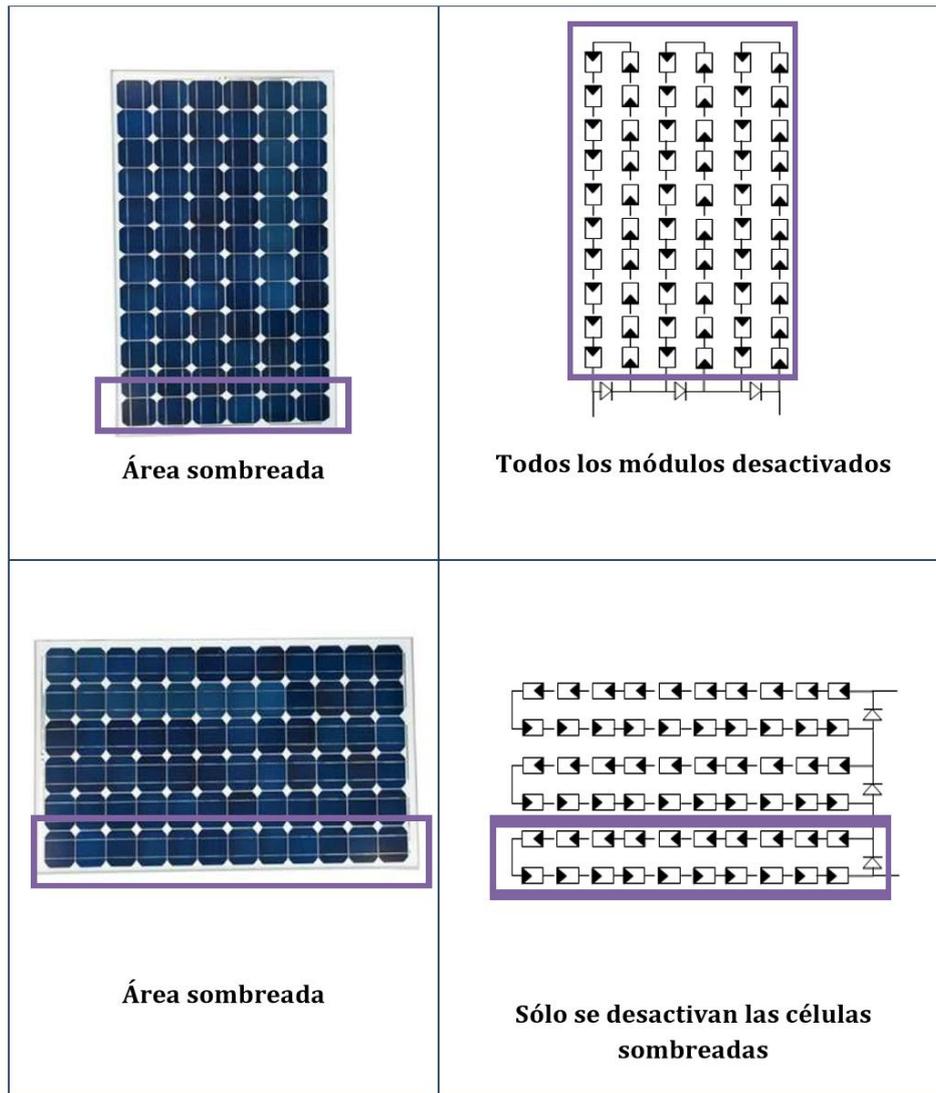


Figura 14: Disposición de los paneles fotovoltaicos para evitar desactivar las células.

Es de vital importancia en estos momentos preguntarse cuantos módulos fotovoltaicos y de qué manera habrá que colocarlos. En cuanto a la cantidad de módulos, no podemos hacer más que una pequeña predicción usando los métodos matemáticos básicos. Hasta ahora sabemos que queremos alimentar alrededor de 3.241 kWh anuales. Sabemos que nuestros paneles van a tener una potencia de 400 W. Así que vamos a realizar una tabla de cálculos sencillos, para intuir y solo intuir cuántos módulos nos harán falta.

La ecuación que necesitamos será muy sencilla:

$$E = \frac{N \times HSP \times W}{1,1} \tag{Ecuación 6}$$

Donde E es la energía que queremos generar. HSP es la media de las horas de sol pico en un día del año multiplicado por los 365 días que tiene el año. W es la potencia del propio panel fotovoltaico. N es el número de placas solares a instalar. Todo esto queda dividido entre 1,1 debido a que siempre habrá pérdidas en todo el sistema, ya sean eléctricos o por otras causas. Si aislamos pues N, nos queda:

$$\frac{E \times 1,1}{HSP \times W} = N \quad \text{(Ecuación 7)}$$

Esta ecuación nos calculará la cantidad de paneles necesarios, Y sabiendo los valores de cada una, tomando como media en las horas de Sol en Barcelona recogido en la tabla 5, se obtiene el resultado de N=6 paneles fotovoltaicos. Si este pequeño cálculo estuviese bien, en esta tabla se ha evaluado para cada mes del año, la cantidad de energía que nos aportarían los paneles, puesto que para cada mes, la cantidad de horas de sol no son las mismas, de esta manera se hace más ajustado el cálculo:

Periodo	Horas Luz día	Días del mes	Horas de sol pico	producción mensual (W)	PM (Kw)
Enero	9,58	31	2,492	185.404,80	185,40
Febrero	10,62	28	3,404	228.748,80	228,75
Marzo	11,94	31	4,229	314.637,60	314,64
Abril	13,33	30	4,786	344.592,00	344,59
Mayo	14,51	31	5,115	380.556,00	380,56
Junio	15,12	30	5,414	389.808,00	389,81
Julio	14,83	31	5,94	441.936,00	441,94
Agosto	13,8	31	5,43	403.992,00	403,99
Septiembre	12,48	30	4,948	356.256,00	356,26
Octubre	11,1	31	4,14	308.016,00	308,02
Noviembre	9,89	30	2,98	214.560,00	214,56
Diciembre	9,25	31	2,369	176.253,60	176,25
TOTALES		365	51,247	3.744.760,80	3.744,76

Tabla 5: Cálculos de la Producción mensual en kW.

El total pues de la energía anual generada supera la que necesitamos, pero siempre va bien tener un margen positivo, además de que estos cálculos son puramente predicciones sin el fundamento requerido. La finalidad era simplemente saber la cantidad de paneles solares aproximados, para hacernos una idea de la disposición de estos. Sabemos ahora, pues, que necesitaremos alrededor de 6 paneles. Teniendo en cuenta que la terraza donde van a ser instalados es grande (100 m^2), no nos va a complicar la posición para su máximo rendimiento. Lo ideal es poner los máximos en serie, y con alguna línea en paralelo para asegurar la producción de unos cuantos. Al tratarse de 6, lo ideal sería dos líneas en paralelo de 3 paneles cada una. Esto sería una combinación de serie-paralelo.

También hemos de tener en cuenta lo que llamamos Pitch, que es la distancia entre el final de un módulo y el inicio del módulo fotovoltaico siguiente, como se observa el parámetro d de la figura 15. Esta distancia es importante para no crear sombras entre un módulo y el de delante.



Figura 15: Disposición de los paneles fotovoltaicos para evitar sombras, con una distancia 'd' o 'Pitch' entre ellos.

9.5.3. Recurso solar

Abriendo en su misma página web, se introducen los campos que se han marcado en rojo. En dirección se ha puesto la dirección de nuestra vivienda de estudio. Una vez el mapa nos ha dirigido a esta dirección, hacemos clic en datos mensuales para que nos de los datos que le vamos a pedir.

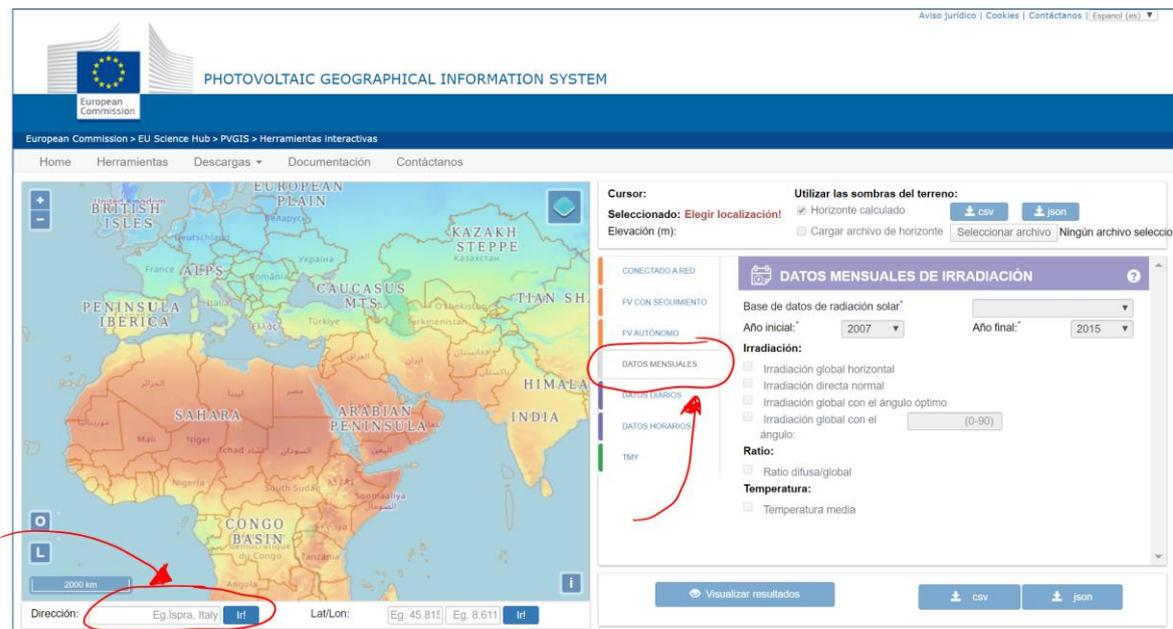


Figura 16: Pantalla principal de la web de PV Gis.

A la derecha de la aplicación se han introducido las siguientes operaciones:

Escogemos una base de datos de radiación solar, PVGIS-CMSAF es la base de datos más fiable recomendado por la misma página web porque es el más efectivo en Europa. La selección del año ha sido la de 2016 debido a que es el último año que existe en las bases de datos del software.

Figura 17: Extracción de los datos mensuales de irradiación con PV Gis.

En las casillas que hay para marcar vamos a marcar la Irradiación global horizontal, irradiación directa normal, irradiación global con ángulo óptimo y la irradiación global con el ángulo (en esta añadimos 35 grados debido a la recomendación de la página web calculada en la misma con datos como la altitud y la altura del lugar donde se encuentra nuestra instalación. Una vez hemos introducido estos parámetros, clicando en el botón ‘Visualizar resultados’ se despliega un conjunto de imágenes y tablas de datos que vamos a utilizar en el estudio. Si nos fijamos en la parte superior derecha de la imagen nos da las coordenadas exactas de nuestro emplazamiento, que en este caso son:

Latitud	41,4193°
Longitud	2,1419°
Altitud	174 m

Tabla 4: Parámetros para la geolocalización del emplazamiento.

Estos dos parámetros son importantes para que PV GIS calcule bien las variables que necesitamos saber a continuación, ya que como se ha explicado antes, la irradiación que proporciona la luz solar va a depender de lugar en el que estemos ubicados.

Mes	Irradiación global horizontal	Irradiación directa normal	Irradiación global con el ángulo óptimo	Irradiación global con el ángulo calculado
Enero	65.2	102.87	113.74	113.1
Febrero	94.94	136.49	147.11	146.49
Marzo	139.5	162.57	179.97	179.68
Abril	165.34	167.11	182.09	182.28
Mayo	210.46	213.7	206.18	206.86
Junio	237.91	254.4	219.92	220.94
Julio	238.88	271.19	226.8	227.74
Agosto	204.98	229.49	216.7	217.12
Septiembre	158.16	190.24	193.88	193.74
Octubre	83.7	89.7	112.67	112.39
Noviembre	70.51	110.88	119.67	119.03
Diciembre	61.9	117.04	120.26	119.45

Tabla 6: Datos numéricos de los diferentes formas de Irradiación.

Irradiación solar mensual

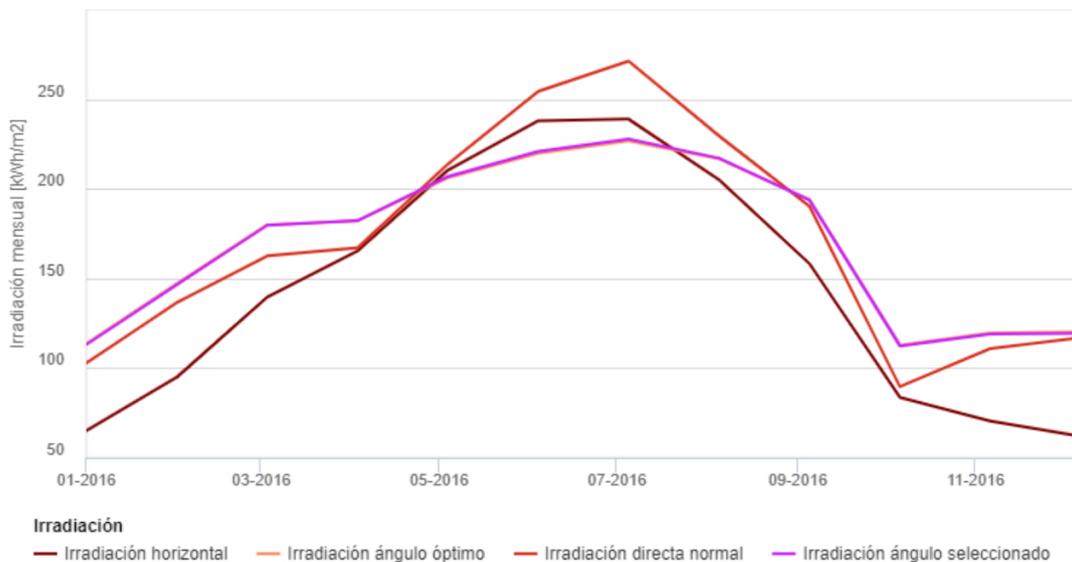


Figura 18: Gráfico de la irradiación mensual en la ubicación marcada.

En la tabla 18, podemos observar los datos de la irradiación solar que se obtuvieron durante el año 2016 en este mismo emplazamiento. Por lo general, este lugar en Barcelona, España es bastante soleado, por lo que estos datos son lo bastante altos como para garantizar la amortización de los módulos solares en un intervalo corto de tiempo. Si estos mismos datos se calculasen más al sur de España como por ejemplo Andalucía, la cantidad de energía producida sería mayor debido a las altas temperaturas de esa comunidad autónoma, famosas en verano. Si nos fijamos en el gráfico, que trata de poner los datos de la tabla de manera visual para su fácil comparación, vemos que la irradiación ángulo óptimo está justo debajo de la línea que dibuja en morado, irradiación ángulo seleccionado. Esto es debido a que el ángulo óptimo es el mismo que el que hemos seleccionado. Ha sido necesario esta demostración para que corroborar la veracidad de que el ángulo óptimo fuese 35 grados.

También nos aporta datos de la temperatura media de aquel año 2016 que se pueden ver en la tabla 7, que es un dato de más que no va a intervenir directamente en los cálculos posteriores ya que los más necesarios y directamente proporcionales serán los de la irradiación a lo largo del año. Pero de esta manera nos hacemos una idea de la cantidad de calor que hubo aquel año y desde luego la capacidad que tiene este programa como en el PV GIS para aportar datos como este.

Mes del año 2016	Temperatura
Enero	10.7
Febrero	9.7
Marzo	10
Abril	12.7
Mayo	15.7
Junio	21.1
Julio	24.4
Agosto	23.7
Septiembre	21.5
Octubre	17.2
Noviembre	12.4
Diciembre	9.4

Tabla 7: Temperaturas medias en grados Celsius de cada mes del año 2016.

Un dato bastante interesante a tener en cuenta que nos servirá para entender por qué en Invierno se da menos radiación que en verano, es el perfil del horizonte y la elevación solar. En esta imagen podemos ver que la elevación del sol en verano es mucho mayor, en Junio por ejemplo es del rango de entre 0° y 72° , lo que significa que además de que el Sol tenga más altura y por tanto mayor será la radiación en su momento pico, el Sol está más tiempo asomando sus rayos en esta zona del planeta, por lo que la captación de energía va a ser mayor a lo largo del día. En invierno en cambio, el rango de valores de la elevación solar por ejemplo en diciembre son de entre 0° y 25° , por lo que es normal que la cantidad de radiación se vea afectada por estos fenómenos naturales como son los cambios de estación.

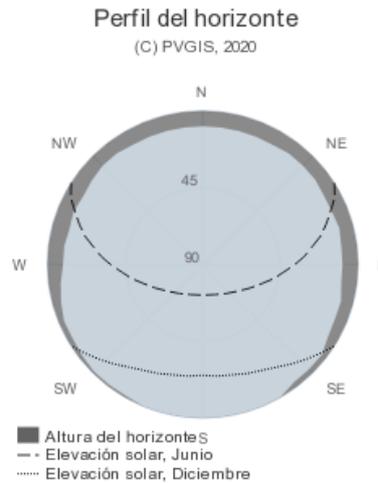


Figura 19: Perfil del horizonte extraído de PV Gis.

En otro apartado dentro del mando de menú que podemos abrir, vamos a ver qué nos ofrece en este programa cuando le damos a la opción 'CONECTADO A RED'.

Una vez ya tenemos el módulo solar escogido, y la posición en la que se deben colocar estas placas para garantizar su máxima producción, se va a llevar a cabo un estudio con el programa antes explicado PV Syst. Este software nos va a ayudar a escoger qué opciones son las más óptimas para producir la máxima cantidad de energía.

9.6. Predimensionamiento

En el panel de entrada vemos que se han de rellenar tres campos principales; Sitio y meteorología, Horizonte y Sistema. Vamos a indagar en cada uno de ellos para realizar una simulación correcta. Vemos que el botón 'Resultados' no es accesible todavía hasta que no hayamos rellenado los campos anteriores.

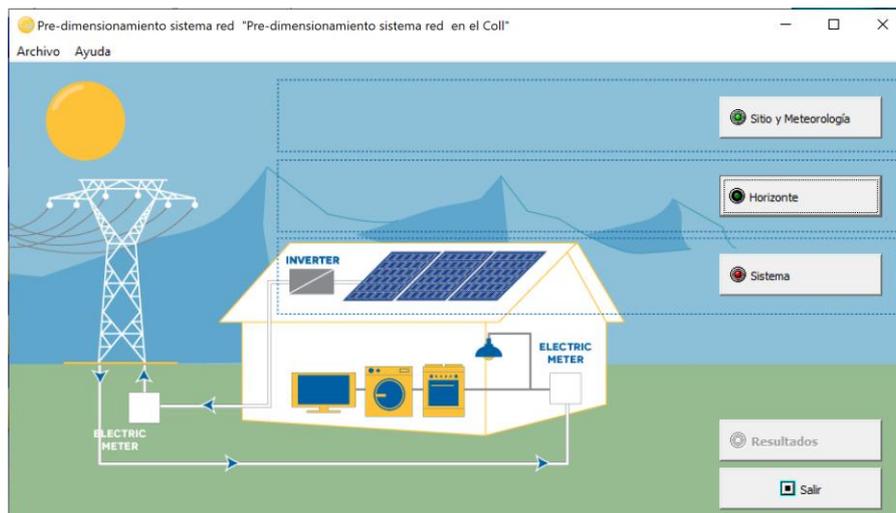


Figura 20: Menú principal del predimensionamiento en PV Syst.

Dentro de 'Sitio y meteorología' nos encontramos con esta otra pantalla, que nos va a preguntar las coordenadas del emplazamiento donde se va a ubicar la instalación fotoeléctrica. Hay guardados en el programa varios sitios pero como el nuestro no está en él vamos a buscarlo en el mapa interactivo, donde nos dejará buscar el lugar que queramos del mundo entero. En ese momento guarda las coordenadas del lugar: latitud, longitud, altitud y huso horario.

Parámetros del sitio geográfico, nuevo sitio

Coordenadas Geográficas | Meteorología Mensual | Mapa interactivo

Ubicación

Nombre del sitio: el Coll

País: España | Región: Europa

Obtener de coordenadas

Coordenadas Geográficas

Trayectorias del sol

	Decimal	Deg.	min.	sec.	
Latitud	41.4193	41	25	9	(+ = Norte, - = Hemisferio Sur)
Longitud	2.1420	2	8	31	(+ = Este, - = Oeste Greenwich)
Altitud	174	Metros sobre el nivel del mar			
Huso horario	1.0	Corresponde a una diferencia media			
Hora Legal - Hora Solar = 0h 51m					

Obtener del nombre

Imprimir | Anular | OK

Please import the monthly meteo data (from Meteonorm, Nasa, or manually)

Figura 21: Pantalla para la geolocalización de la instalación en PV Syst.

En el apartado meteorología mensual, vemos que nos va a pedir datos del lugar que le estamos introduciendo así que se han introducido los parámetros que nos ha aportado PV GIS de la irradiación global horizontal y la temperatura, en las coordenadas del estudio.

Parámetros del sitio geográfico para New.SIT (under modification)

Coordenadas Geográficas | **Meteorología Mensual** | Mapa interactivo

Sitio: **el Coll (Spain)**

Origen de datos:

	Irradiación global horizontal kWh/m ² .mes	Temperatura °C
Enero	65.2	10.7
Febrero	94.9	9.7
Marzo	139.5	10.0
Abril	165.3	12.7
Mayo	210.5	15.7
Junio	237.9	21.1
Julio	238.9	24.4
Agosto	205.0	23.7
Septiembre	158.2	21.5
Octubre	83.7	17.2
Noviembre	70.5	12.4
Diciembre	61.9	9.4
Año	1731.5	15.7

Datos Requeridos

Irradiación global horizontal

Temp. Exterior Media

Datos adicionales

Irradiación difusa horizontal

Velocidad del viento

Linke Turbidity

Relative Humidity

Unidades de insolación

kWh/m².día

kWh/m².mes

MJ/m².día

MJ/m².mes

W/m²

Índice de claridad Kt

Imprimir | Anular | OK

Figura 22: Introducción de datos de irradiación global horizontal y temperatura.

En esta ventana, también nos da un gráfico muy interesante parecido a uno que se ha mostrado anteriormente donde se explica con mayor detalle la cantidad de luz solar que hay en la región de estudio, dándole importancia a la altura del sol en cada momento del año en el que nos encontremos. En el eje horizontal tenemos el ángulo respecto al Sur, el azimut, y en el eje vertical vemos el ángulo con el que el sol se eleva respecto al punto de la tierra escogido. Vemos que este gráfico es simétrico respecto al eje vertical colocado en el 0° azimut. Esto es porque en nuestro lugar de estudio el azimut óptimo es el 0°. Si el semicírculo amarillo estuviese desplazado hacia derecha o izquierda, el 0 ya no sería el óptimo. Para explicar este gráfico, vemos que hay numerados unos puntos concretos que permiten saber en qué mes estamos del año. En el punto 1 por ejemplo, vemos en la parte superior derecha, que se trata del mes de junio, días muy soleados en España, Barcelona. La curva que se dibuja, trata de situar la elevación del sol a cada hora del día, lo que significa que en verano tenemos mucho sol, ya que el gráfico va desde las 6 hasta las 20. En cambio, si nos fijamos en el punto 7, que pertenece a los horarios de invierno, vemos que el sol baña la superficie terrestre desde las 8h hasta la 17h. Con una diferencia de 5 horas respecto al verano.

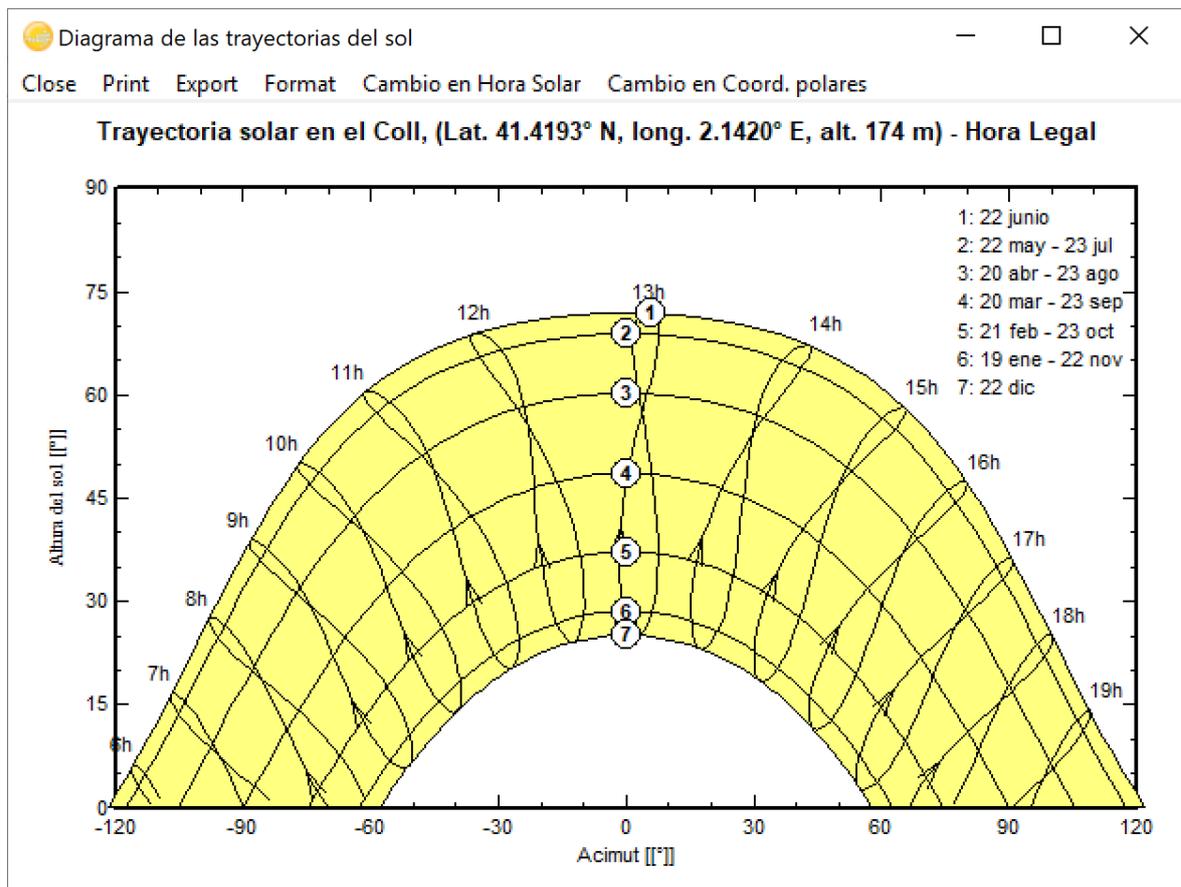


Figura 23: Trayectoria solar en la zona de estudio.

Una vez hemos rellenado todos estos datos, pulsando 'OK' volvemos al menú inicial, y entraremos en el apartado 'Horizonte'. Dentro de este se pretende definir cuál es el acimut que queremos poner en los paneles, y dado que nos hemos dado cuenta de que el óptimo para nuestra instalación es el ángulo 0° , vamos a dejar todo como está, ya que por defecto lo sitúa así.

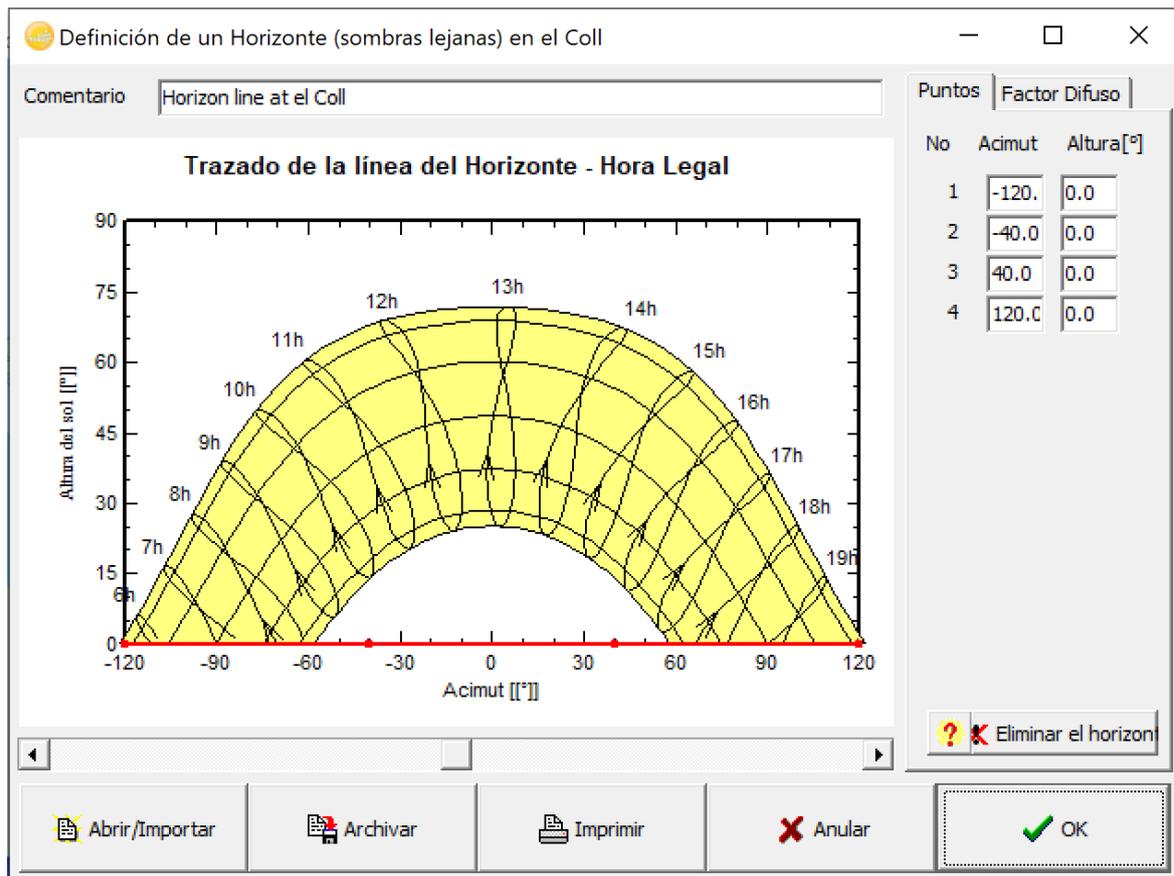


Figura 24: Definición de un horizonte en el lugar de la instalación.

El último apartado que nos queda por acceder es el de 'Sistema'. Dentro de este vamos a definir más concretamente nuestra instalación, para que el programa haga los cálculos pertinentes. De esta manera podemos ver todos los parámetros que se han explicado hasta ahora, y entender de manera más directa por qué son tan necesarios.

Primeramente se abre una ventana con dos cuadros de información. El de la izquierda nos pide en función de qué parámetro queremos diseñar nuestra instalación, y éstos pueden ser tres: El área que tenemos disponible (en caso de que queramos maximizar la producción sin necesidad de ser para uso personal), la potencia nominal (se refiere a la placa), o la producción anual que queremos abastecer (que es nuestro caso).

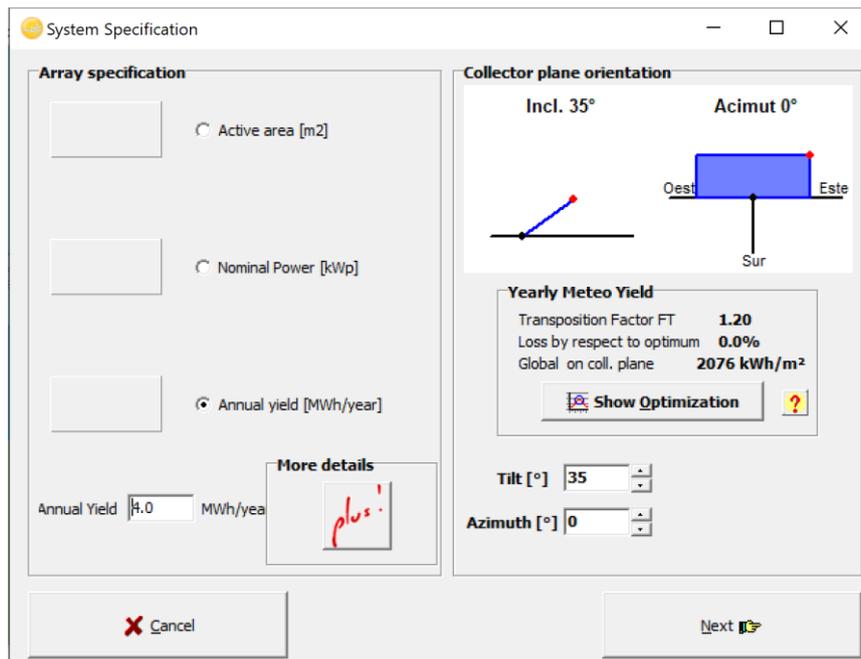


Figura 25: Especificaciones del sistema de PV Syst.

En el cuadro de la derecha vamos a encontrar el grado de inclinación de la placa que nos recomienda establecer, y el acimut, pudiéndolos corregir si fuese necesario. Una pequeña ventana se presenta en la parte inferior derecha donde le vamos a indicar 'Anual yield', para indicarle que queremos optimizar la producción para todo el año, no solo para unos meses.

Después viene una pestaña con información sobre cómo estará colocada nuestra instalación. Esta puede estar colocada de muchas maneras, pero como se ha comentado anteriormente, se ha establecido la mejor manera de producir la mayor energía, que va a ser de estas cuatro propiedades:

Tipo de módulo: Standard, ya que nuestro módulo escogido es de este estilo.

Disposición de montaje: Flat roof (tejado del edificio), debido a que el emplazamiento que hemos contemplado es un tejado plano en el que se podrán inclinar las placas en el ángulo que se has establecido como óptimo.

Tecnología: Monocrystalline cells (celdas monocristalinas). El panel seleccionado utiliza esta tecnología, lo qual es importante para que el software haga los cálculos más precisos.

Ventilación: Free standing (Posición libre). El tejado de la vivienda está al aire libre, así que no tiene ventilación propia más que el viento que recorra el tejado durante el día.

The screenshot shows a 'System Specification' dialog box with the following options:

- Module type:**
 - Standard
 - Translucide Custom
 - Not yet defined
- Technology:**
 - Monocrystalline cells
 - Polycrystalline cells
 - Thin film
- Mounting disposition:**
 - Flat roof
 - Facade or tilt roof
 - Ground based
- Ventilation property:**
 - Free standing
 - Ventilated
 - No ventilation

At the bottom of the dialog, there are three buttons: 'Back' (with a left arrow icon), 'Cancel' (with a red X icon), and 'OK' (with a green checkmark icon).

Figura 26: Especificaciones sobre la condición de la instalación.

Una vez hemos introducido todos estos datos, volvemos al menú principal clicando en 'OK' y entraremos en 'Resultados' donde se supone que nos va a dar un predimensionamiento para nuestra instalación.

En la siguiente imagen se muestra la primera pantalla que nos aporta resultados aproximados de lo que debería ser nuestra instalación fotovoltaica. Aproximado porque en ningún momento hemos dado información sobre la potencia de la placa por ejemplo o de cuantas placas se van a instalar. Así hasta aquí es un predimensionamiento para hacerse una idea de estos datos.

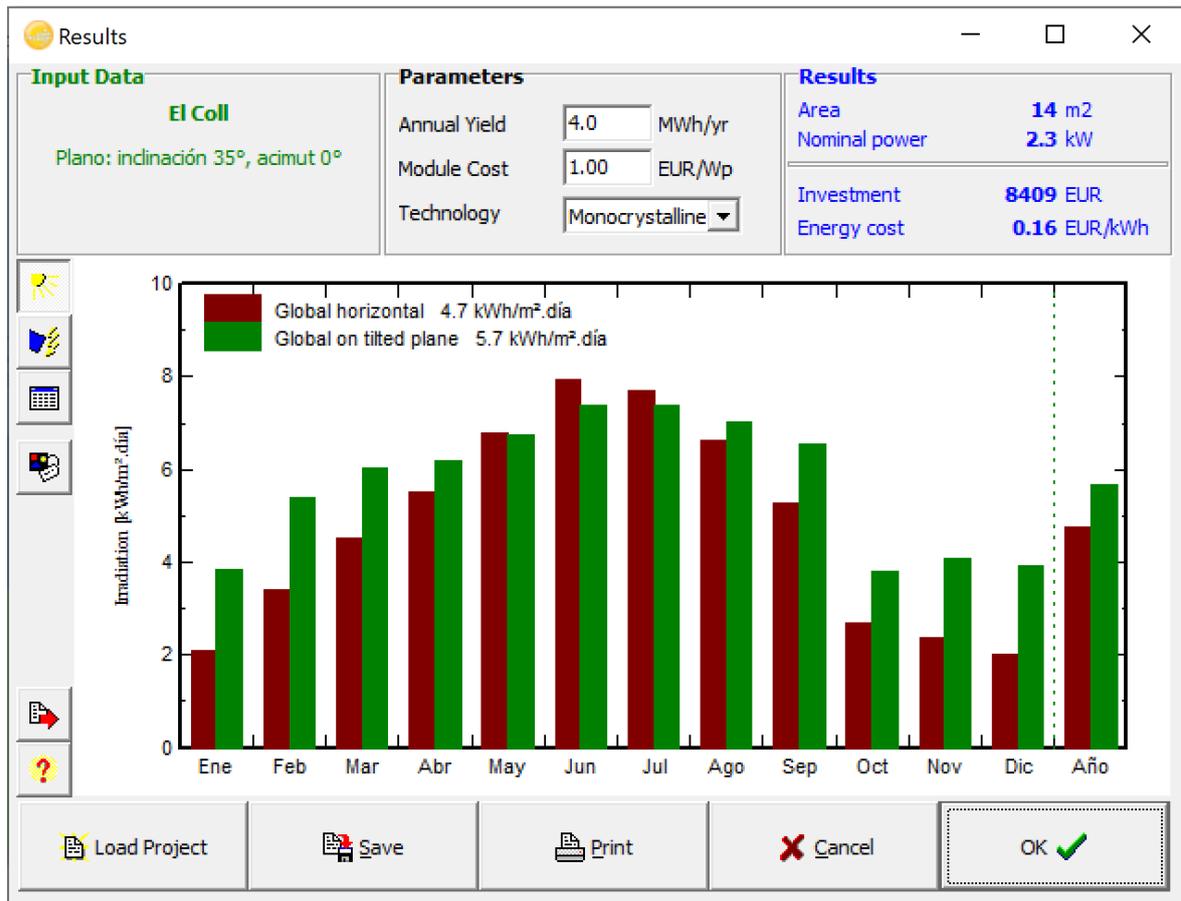


Figura 27: Resultados de predimensionamiento, radiaciones de cada mes.

En la parte superior derecha, en azul, están escritos los resultados más relevantes que se han hecho hasta ahora. Nos aconseja un área de unos 14 m² y conseguir una potencia nominal de 2,3 kW en las placas que se instalen. En función de estos datos, vamos a verificar más adelante que sean ciertos para los cálculos que se harán, y compararemos si este estudio de PVSyst es correcto.

También nos da una primera aproximación de lo que será nuestra inversión inicial, que en este caso serán de unos 8.409€, y pagaremos por la energía consumida alrededor de 0,16 €/kWh. Estos resultados como hemos dicho antes son una aproximación, por tanto no hay que tomárselos al pie de la letra, veremos como más adelante se podrá reducir el área total e incluso el precio del kWh.

En la parte izquierda se pueden ver cuatro botones que nos comparte información interesante hasta ahora utilizada. En la pestaña en la que nos encontramos ahora nos presenta la irradiación global en plano inclinado (en verde) y la irradiación horizontal global (en rojo).

En la segunda ventana empezando por arriba, nos encontramos con la siguiente imagen. Este nos da la cantidad de energía en kWh/día que podrá producir para cada mes del año.

Este gráfico de la figura 28, es interesante ya que se ve claramente que en las fechas de verano la cantidad de energía que se puede producir es de 14 kWh al día aproximadamente, mientras que en invierno no llega a los 8kWh.

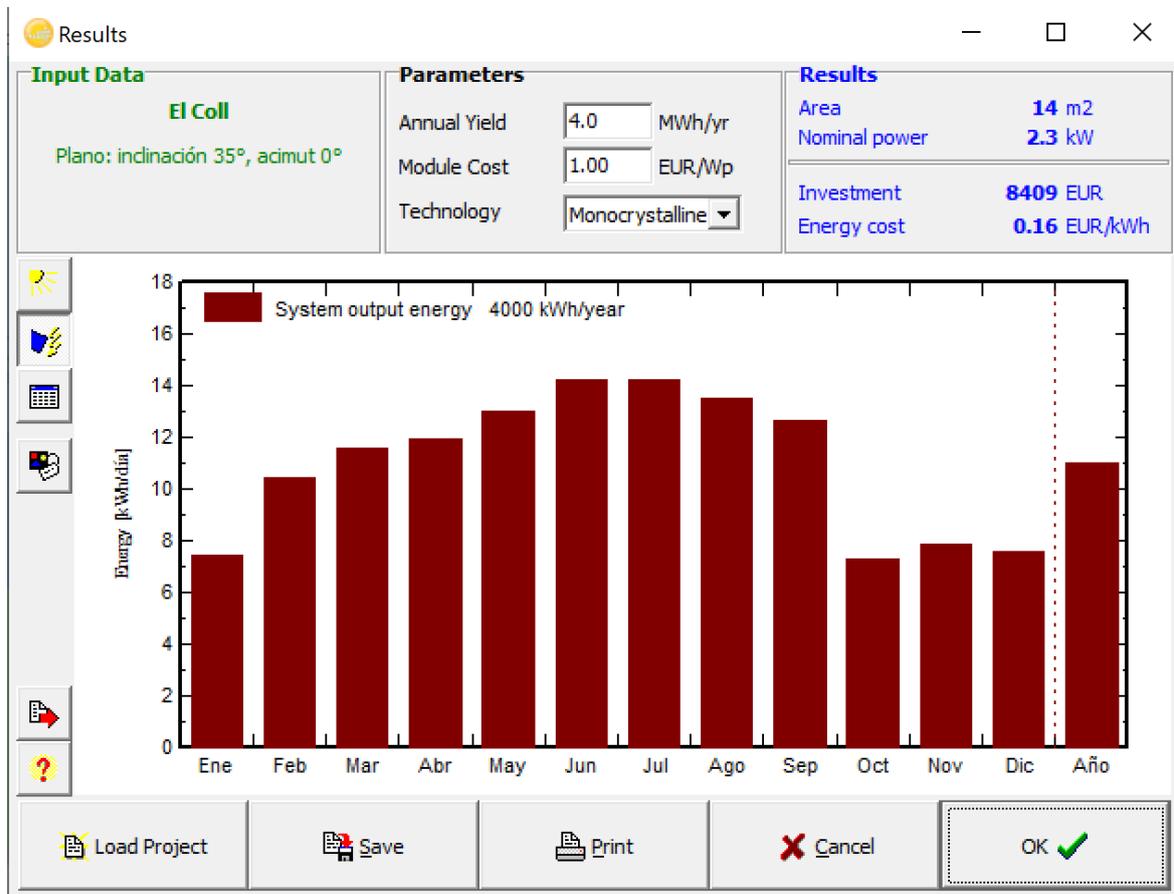


Figura 28: Resultados del predimensionamiento; energía generada cada mes.

En la tercera pestaña, nos da los datos numéricos de las irradiaciones hasta ahora comentadas, la irradiación global horizontal ahora en kWh/m², y el 'System output' que se refiere, como en el gráfico anterior, a la producción de electricidad en kWh/día y en kWh/mes, teniendo en cuenta los días de cada mes del año.

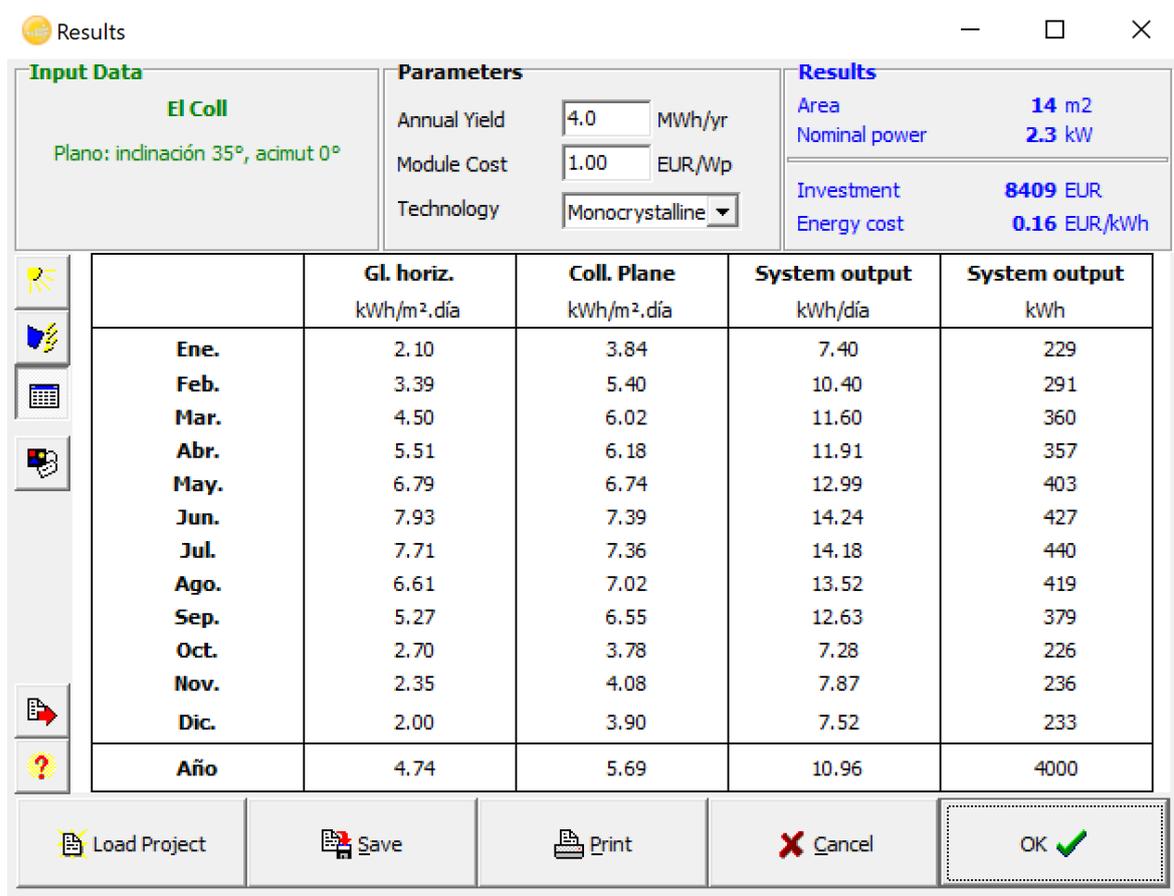


Figura 29: Resultados del predimensionamiento, datos numéricos de la energía generada cada mes del año y el total anual.

En la última ventana, el PV Syst nos hace un breve estudio económico sobre la inversión inicial, los componentes esenciales que hay que comprar para una instalación conectada en red, junto con el precio de cada uno.

Hasta aquí el predimensionamiento, una muy buena manera de empezar el diseño de nuestro modelo. Desde luego este programa nos muestra impresionantes imágenes muy detalladas de tantos parámetros que hasta ahora desconocíamos.

The screenshot shows a software window titled "Results" with the following sections:

- Input Data:**
 - El Coll**
 - Plano: inclinación 35°, acimut 0°
- Parameters:**
 - Annual Yield: 4.0 MWh/yr
 - Module Cost: 1.00 EUR/Wp
 - Technology: Monocrystalline
- Results:**
 - Area: 14 m²
 - Nominal power: 2.3 kW
 - Investment: 8409 EUR
 - Energy cost: 0.16 EUR/kWh
- Economic gross evaluation (excluding taxes and subsidies):**

Module cost	2268 EUR
Supports cost	1474 EUR
Inverter and wiring	681 EUR
Transport/Mounting	3985 EUR
Total investment	8409 EUR
Annunities	420 EUR/yr
Maintenance costs	213 EUR/yr
Total Yearly cost	633 EUR/yr
Energy cost	0.16 EUR/kWh

These values should only be considered as an order of magnitude. More precise evaluations will be available with detailed simulation.
- Currency:** EUR - Euro
- Loan:**
 - Duration: 20 years
 - Rate: 0.0 %
 - Ann. factor : 0.050

At the bottom, there are buttons for "Load Project", "Save", "Print", "Cancel", and "OK".

Figura 30: Resultados del predimensionamiento, estudio de costes.

9.7. Simulación del diseño de proyecto

En este apartado vamos a realizar la simulación real y más avanzada teniendo en cuenta todos las características de nuestro proyecto, que se han definido anteriormente. Con esta simulación final podremos tener una precisión más exacta de la energía que queremos producir y cuantos paneles tendrán que ocupar su lugar en el proyecto. Se pretende explicar los pasos seguidos para una mejor comprensión del lector. La metodología será la misma realizada hasta ahora, utilizando el programa PV Syst que nos ayuda en gran medida a realizar los cálculos pertinentes, basándose en información exacta de todos los parámetros necesarios.

Para empezar entramos en la ventana de 'Diseño de proyecto' para empezar la simulación. En ella hemos descargado los datos de nuestro emplazamiento en el predimensionamiento, así que solamente tendremos que recargarlo desde la base de datos en el botón 'Base de datos'. Seleccionaremos el archivo que contiene las coordenadas de la vivienda que hemos escogido y continuamos con nuestro diseño de proyecto. En esta ventana de la figura 31, vemos que aparecen más especificaciones que en el predimensionamiento no aparecían. Es lógico ya que el proceso anterior no era más que una simulación rápida de lo que podría ser nuestra futura instalación, además ahora el sistema se va a encargar de medir de manera muy precisa todos los parámetros que queremos introducir en el proyecto.

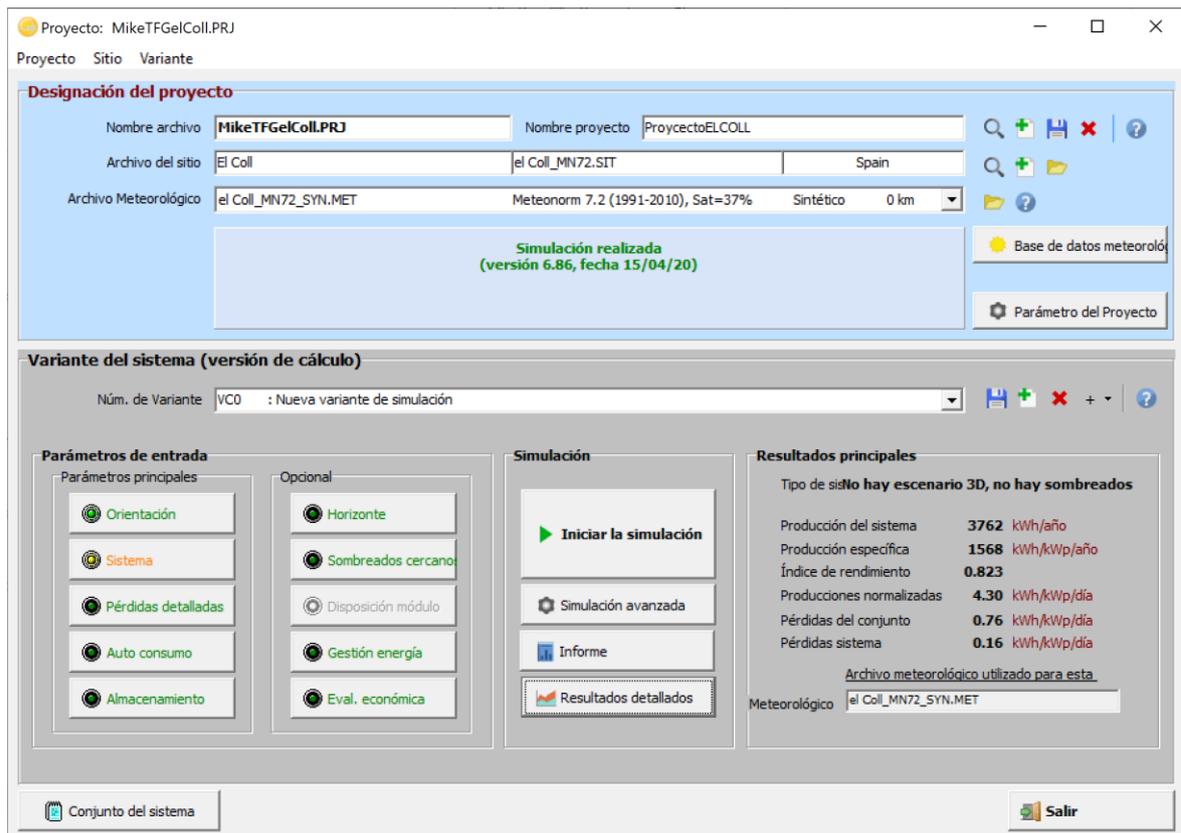


Figura 31: Pantalla principal del diseño de proyecto en PV Syst..

Primero vamos a definir la orientación, que como se ha definido antes, ésta ha de ser de 35° de inclinación de la placa respecto del suelo, y el acimut se va a colocar en 0° . Vemos que la ventana que se abre es casi idéntica a la que ya conocíamos del anterior diseño. Por tanto no encontramos nada nuevo que intervenga en nuestro estudio.

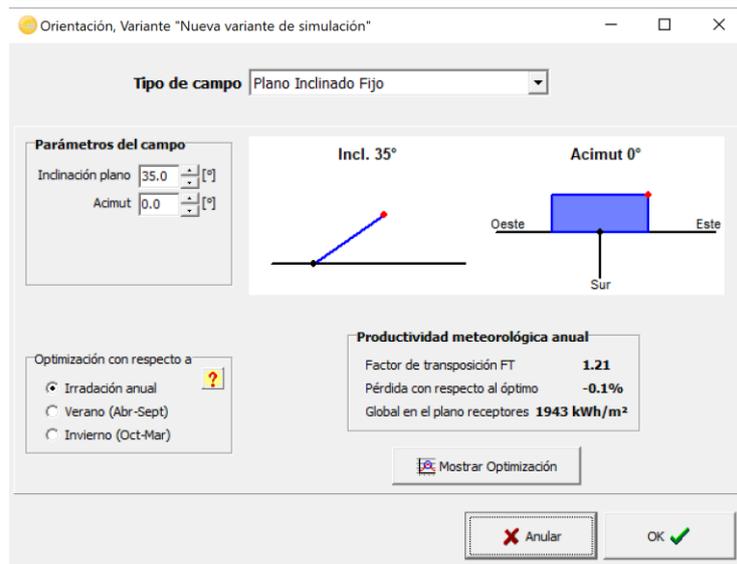


Figura 32: Pantalla de la orientación de las placas solares.

La siguiente ventana que vamos a abrir va a ser la de 'Sistema', que va a ser la ventana que vamos a estudiar con más detalle debido a su contenido. Esta ventana nos va a preguntar mucha información técnica sobre la instalación, por lo que es importante no equivocarse en nada que pueda perjudicar el estudio.

Para empezar si le damos 'clic' al botón 'Esquema simplificado' el programa nos da una imagen donde se resume fácilmente el circuito que ha de seguir nuestra instalación. Como podemos observar en la imagen, al tratarse de una instalación con conexión en red, se diferencian tres zonas principales: PV Array, System y User. El primero hace referencia la plante fotovoltaica que vamos a instalar, conectada al 'System' que es donde se encuentra el inversor, responsable de convertir la energía eléctrica en corriente continua en corriente alterna. Por último el User o usuario es la vivienda que está recibiendo la cantidad de energía que se genera con las placas además de estar conectado a la red, lo que nos beneficia en caso de a ver excedentes (se ha creado más electricidad de la que era necesario) o en caso de no producir lo suficiente se puede alimentar de la red eléctrica de la ciudad.

Definición de un sistema red, Variante "Nueva variante de simulación"

Configuración global sistema

Núm. de tipos de sub-conjuntos: 1

Esquema Simplificado

Resumen sistema global

Núm. de módulos	6	Potencia nominal FV	2.4 kWp
Superficie módulos	13 m ²	Potencia máxima FV	2.3 kWdc
Núm. de inversores	1	Potencia nominal CA	3.0 kWac

Sub-conjunto #1

Nombre y orientación del sub-conjunto

Nombre: Sub-conjunto #1

Orientación: **Plano Inclinado Fijo**

Inclinación: 35°
Acimut: 0°

Ayuda al dimensionamiento

Sin pre-dim. Entrar Pnom deseada: 0.0 kWp

... o superficie disponible(módulos): 0 m²

Selección del módulo FV

Todos los módulos | Filter: All PV modules

SunPower | 400 Wp 61V Si-mono SPR-400E-WHT-D | Until 2016 | Manufacturer 2010 | **Abrir**

Dimensionamiento de voltajes: **61.5 V**
Voc (-10°C): **94.9 V**

Use Optimizer

Modelo utilizado:
 Modelo PVsyst
 modelo Sandia

Selección del inversor

Disponibles actualmente: Output voltage 230 V Mono 50Hz

Generic | 3.0 kW 125 - 440 V TL 50/60 Hz 3 kWac inverter | Since 2012 | **Abrir**

Núm. de inversores: 1

Voltaje de funcionam.: **125-440 V** | Potencia global inv.: **3.0 kWac**

Voltaje máx. de entrada: **550 V** | **Inversor "cadena" con 2 entradas**

Dimensionamiento del conjunto

Núm. de módulos y cadenas

Mód. en serie: 3 entre 3 y 5

Núm. de cadena: 2

Perdida sobrecarga: 0.0 %

Relación Pnom: 0.80 Pérd. sobrecarga

Núm. módulos: 6 Superficie: 13 m²

Cond. de funcionamiento

Vmpp (60°C): 185 V
Vmpp (20°C): 219 V
Voc (-10°C): 285 V

Irradiancia plano: **1000 W/m²**

Imp (STC): 11.3 A
Isc (STC): 11.7 A

Isc (en STC): 11.7 A

la potencia del inversor está un poco sobredimensionado.

Máx. en bases STC

Pmáx en funcionamiento en 1000 W/m² y 50°C: **2.2 kW**

Potencia nom. Conjunto (STC) 2.4 kWp

Conjunto del sistema

Anular

OK

Figura 33: Pantalla de la configuración del sistema en estudio.

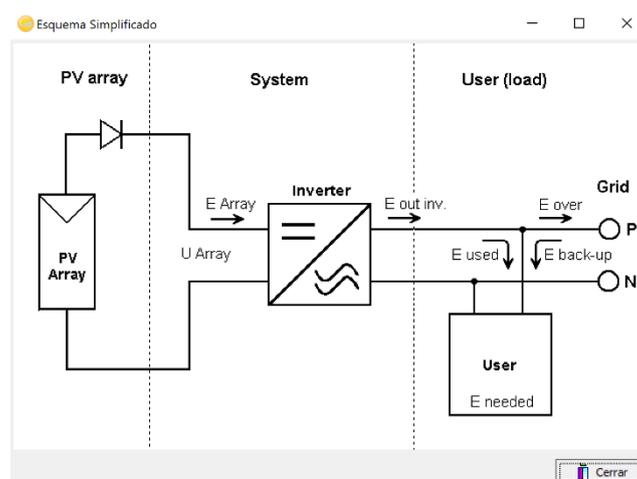


Figura 34: Esquema simplificado de la planta creado por PV Syst.

Vamos a inspeccionar el apartado que dice 'Selección del módulo FV', que va a hacer referencia al tipo de módulo que vamos a utilizar en el estudio. Este desplegable contiene todos los módulos fotovoltaicos que existen, así que vamos a introducir el que nosotros hemos escogido previamente, que es el SPR-400E-WHT-D de SunPower. Vemos que debajo nos indica el voltaje del módulo.

Para nuestra producción de energía se ha escogido una distribución de 6 placas solares. Estas estarán dispuestas de manera que se conectarán en paralelo dos grupos de tres paneles cada uno. De manera que en el cuadro de la parte inferior izquierda de la ventana vamos a introducir el número de módulos en serie, que son 3, y el número de cadenas que son 2. Una vez introducidos se muestra debajo la cantidad de módulos que se van a necesitar y la superficie que va a ocupar nuestra instalación. En este caso el área va a ser de 13m², que si lo comparamos con los 14m² que nos predecía en el predimensionamiento, es muy poca la diferencia.

Una vez escogido todo esto, es el momento de elegir inversor y se va a escoger el que se adapte mejor a las condiciones del sistema. En nuestro caso al tener una potencia nominal por lo general baja de alrededor de 2,4 kWp, vamos a tener que escoger un inversor cuya potencia admitida no sea mucho más grande. Abriendo el desplegable, escogemos el inversor de 3 kW ya que es el que mejor se ajusta a las necesidades, además de que es el más pequeño. Si escogiéramos un inversor de potencia mayor, el sistema quedaría sobredimensionado. De hecho ya nos indica el mismo programa que incluso escogiendo este inversor de 3kW el sistema queda un poco sobredimensionado. En nuestro caso no va a ser perjudicial para la instalación.

En la parte superior derecha observamos, en letra de color verde, que la ventana nos muestra unos primeros resultados de la instalación con los datos aportados hasta ahora. Lo que nos va bien para comprobar que el estudio está en buenas condiciones y según lo previsto.

Volvemos al menú principal para seguir con el diseño, y entramos en el título 'Horizonte'. Aquí se verá de nuevo el gráfico de la elevación solar que hemos podido ver en el anterior estudio, por lo que solamente nos hará falta indicar que nuestro valor de la inclinación de los paneles y el acimut son 35° y 0° respectivamente.

Pasamos al siguiente panel, que es el de 'Sombreados cercanos'. En esta ventana simplemente nos interesa especificar que nos vamos a tener sombras durante el año que dañen nuestra producción ya que no hay obstáculos que puedan crearlas alrededor de la vivienda. Es por eso que dejaremos marcada la opción 'Sin sombreado' que hay en la parte inferior izquierda de la imagen.

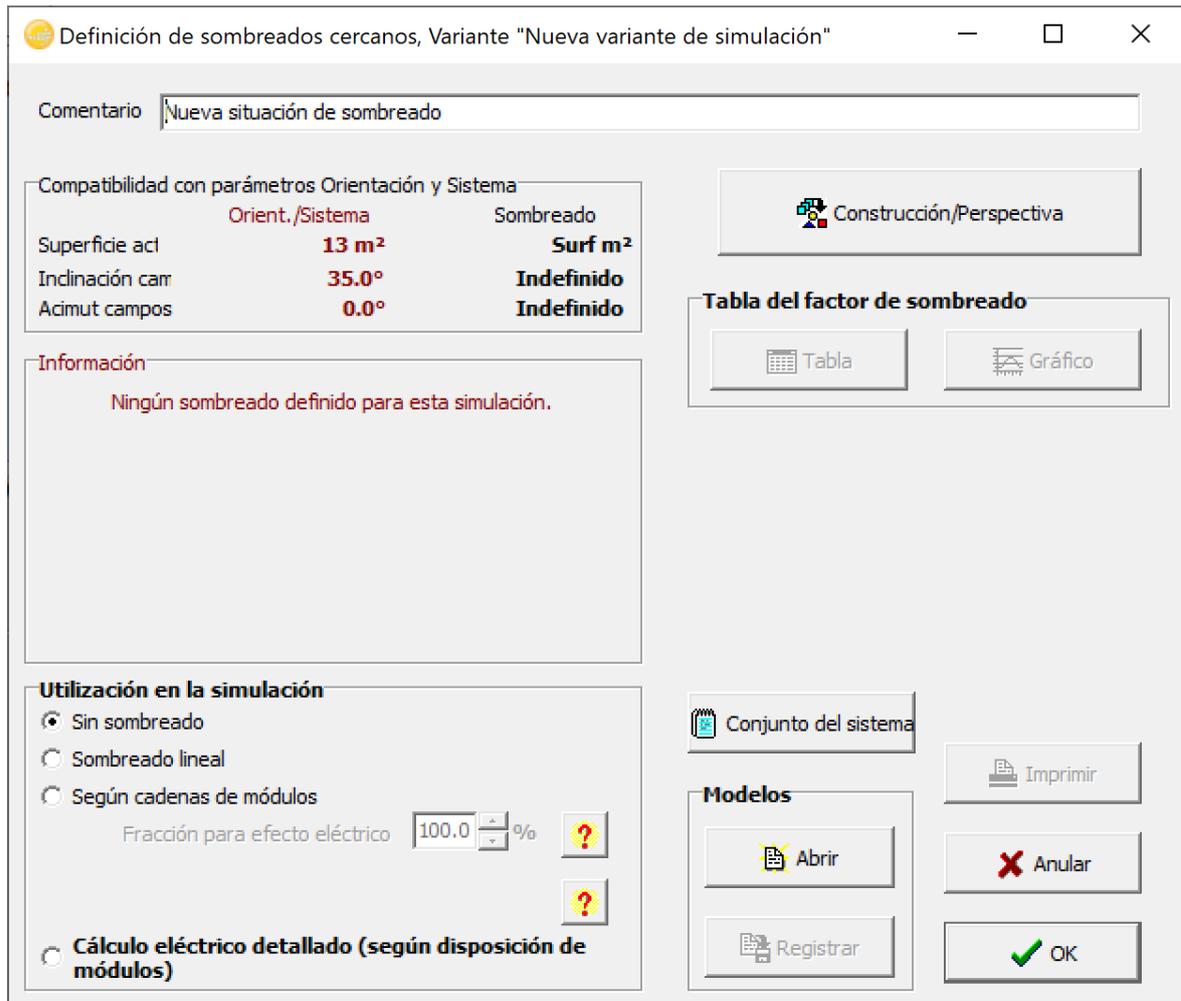


Figura 35: Definición de sombreados cercanos.

Los demás parámetros no se van a tener en cuenta debido a que no entran en el estudio de nuestra instalación. Por ejemplo el botón de 'Almacenamiento' lo dejaremos como está debido a que no se van a instalar ningún tipo de baterías que vayan a almacenar la energía generada.

Una vez hemos conseguido que las redondas queden de color verde, se habilita el botón 'Iniciar simulación' para hacer estudio final. Una vez hemos clicado en ella, se abre la siguiente ventana y se informa de que la simulación ha sido generada con éxito.

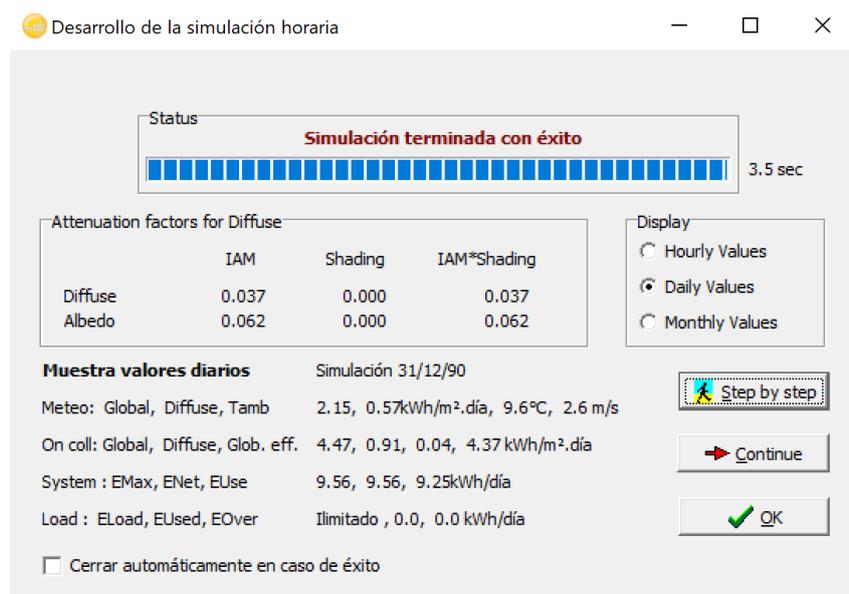


Figura 36: Pantalla de espera de la simulación terminada con éxito.

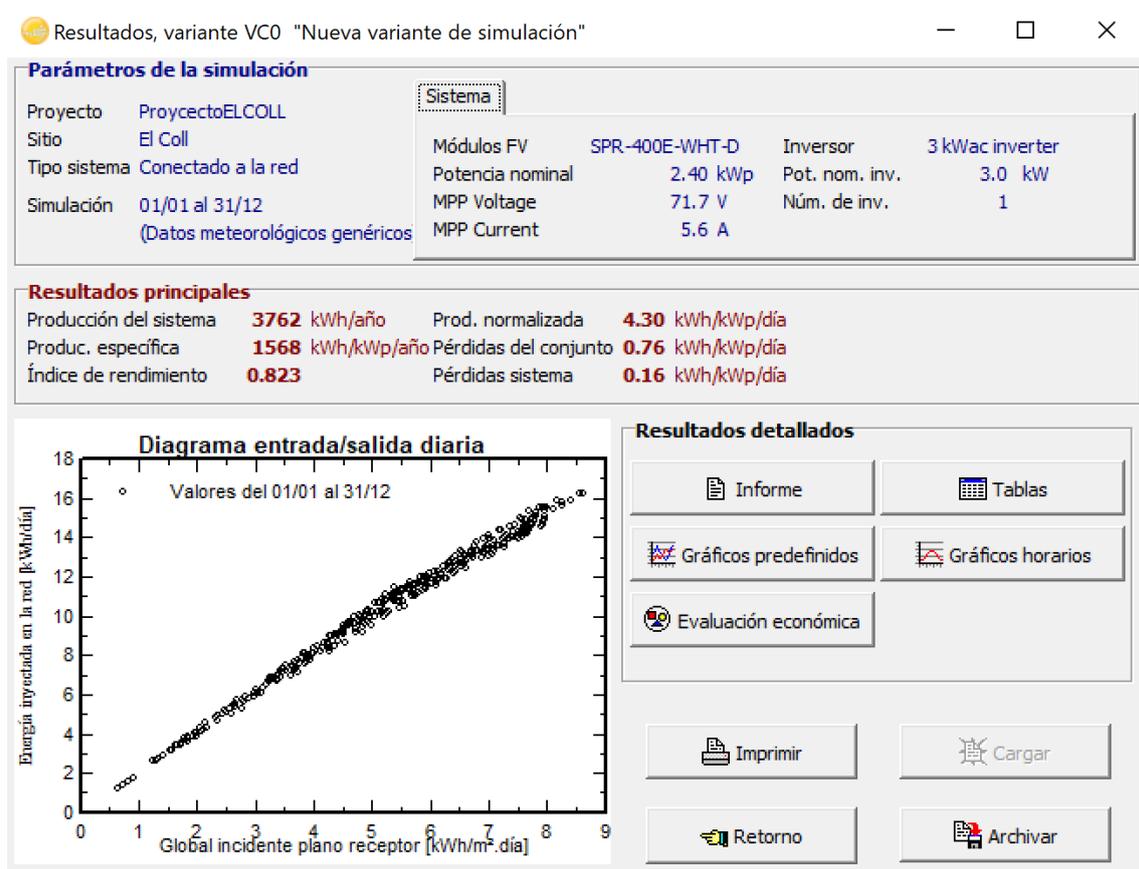


Figura 37: Resultados de la simulación.

Una vez aquí, clicamos 'OK' y volvemos al menú donde podremos ver la información que ha generado PV Syst para nuestra instalación. En el caso de que algo hubiese ido mal, el mismo programa nos avisaría del error. En nuestro caso todo ha ido correctamente.

En esta imagen se pueden observar los resultados de la simulación con gran detalle. Los datos más importantes que nos interesa comparar con la energía que se deseaba es la producción anual, que según el programa va a ser de 3762 kWh anuales, lo que supera con creces la cantidad que se quería satisfacer. También nos indica el índice de rendimiento que es bastante alto de un 0,823. Los datos más relevantes se encuentran en la tabla siguiente:

Producción anual	3762 kWh/año
Índice de rendimiento	0,823
Producción normalizada	4,3 kWh/día
Pérdidas del conjunto	0,76 kWh/día
Número de placas en serie	3
Número de grupos en paralelo	2
Número de paneles solares	6
Potencia nominal del inversor	3kW
Potencia nominal del sistema FV	2,4 kWp
Área total ocupada	13 m ²

Tabla 8: Resultados numéricos de la simulación y principales parámetros.

9.8. Cálculo de Amortización

En este apartado, se pretende estudiar si la inversión que estamos apoyando de un cliente hipotético, que ha comprado los productos que le hemos facilitado, es rentable o no. Previamente ya hemos visto datos que nos han proporcionado programas como el PV Syst, que nos hacía un pequeño cálculo de rentabilidad, y de la cantidad a la que estaríamos pagando el kWh si tuviésemos nuestra instalación. En este caso vamos a realizar nuestro propio estudio de rentabilidad. En el caso de que nos de igual o parecido a los datos entregados por el programa usado, significará que el estudio es fiable.

Para realizar un estudio lo más exacto posible vamos a utilizar los datos de los paneles que hemos decidido emplear, y con los ángulos respecto al sur y respecto al suelo que hemos escogido.

Teniendo en cuenta todos estos datos, suponiendo un tiempo de vida de unos 25 años de las placas solares, acumulando una energía alrededor de las cantidades de los $E_{\text{anual}} = 3.762 \text{ kWh}$ anuales, concluimos que el total de energía aportada se calcula con la multiplicación de ambos factores:

$$E_{\text{total}} = T_{\text{vida}} \times E_{\text{anual}} = 25 \times 3.762 = 94.050 \text{ kWh} \quad \text{(Ecuación 8)}$$

El resultado es de $E_{\text{total}} = 94.050 \text{ kWh}$ son la energía que se ha de consumir a lo largo de estos 25 años. Y también la energía que se ha de generar con los paneles.

Calculemos el precio de la inversión inicial que se ha de hacer para llevar a cabo la instalación al completo:

SunPower SPR-MAX3-400 x6	2.541 €
Inversor 3kW	1.331 €
Instalación	421 €
Estructura (barras de metal...)	300 €
TOTAL	4.593 €

Tabla 9: Cálculo de la inversión inicial.

Para saber ahora si el estamos pagando más barata o más cara la energía en la que hemos invertido, solo hemos de saber la cantidad de euros invertidos y dividirlo entre la cantidad de Kwh, para encontrar a cuánto estamos pagando el Kwh. Podríamos compararlo con el precio del Kwh actual, para saber el dinero que nos estamos ahorrando con la instalación fotovoltaica.

Siendo P el precio de la instalación al completo o inversión inicial en euros, y E_{total} la cantidad de energía que se van a producir a lo largo de los 25 años (pudiendo ser más tiempo), entonces se calcula así el P_{unit} , precio unitario de cada kW generado:

$$P_{unit} = P/E_{total} = 4.593€ / 94.050 kWh = 0,048 €/kWh \quad \text{(Ecuación 9)}$$

Comparando pues el precio del kwh con las compañías actuales de electricidad, podemos calcular el ahorro que supondría.

La tabla que se ve a continuación nos indica los precios actuales de la luz, según la hora en la que esta sea consumida. Hace ya un tiempo desde 2009 que se llegó a un acuerdo donde cada comercializadora de electricidad podía gestionar ella misma los precios de la electricidad que le pareciera. Antes de esa fecha era el mismo Estado con fijaba el precio de la luz en todos los hogares del país. Gracias a esta medida, surgieron muchas más compañías eléctricas que hacen que el mercado sea más competitivo. Actualmente muchas empresas juegan con el precio del kWh en función de la hora de consumo, siendo las horas más baratas entre las 16 y las 18, y las más caras son de 7-8 de la mañana y de 21-22 de la noche.

Se utiliza un aparato, llamado contador eléctrico, en cada vivienda que mide la cantidad de energía que ha consumido un hogar, y a la hora que se ha consumido. Por lo tanto, con esos datos se puede calcular la factura mensual de la luz en cada vivienda.

Hora	Tarifa General
00-01	0,08439 €/kWh
01-02	0,08152 €/kWh
02-03	0,08135 €/kWh
03-04	0,08144 €/kWh
04-05	0,08363 €/kWh
05-06	0,08411 €/kWh
06-07	0,08677 €/kWh
07-08	0,08827 €/kWh
08-09	0,08593 €/kWh
09-10	0,08733 €/kWh
10-11	0,08671 €/kWh
11-12	0,08641 €/kWh
12-13	0,08576 €/kWh
13-14	0,08614 €/kWh
14-15	0,08496 €/kWh
15-16	0,08329 €/kWh
16-17	0,07977 €/kWh
17-18	0,07787 €/kWh
18-19	0,08374 €/kWh
19-20	0,08475 €/kWh
20-21	0,08405 €/kWh
21-22	0,08778 €/kWh
22-23	0,08138 €/kWh
23-24	0,07811 €/kWh

Tabla 10: Comparación de precios actuales de la luz con discriminación horaria.

Estos son los precios más bajos que se encuentran en el mercado teniendo en cuenta la discriminación horaria. El precio más bajo es 17-18h y se cobra a 0,07787€/kWh. Aunque es un precio muy competitivo no va a superar el precio que pagamos por la cantidad de energía generada con nuestra instalación, el precio del cual se ha calculado de 0,048€/kWh. Calculemos pues el porcentaje de ahorro.

$$\% \text{ Porcentaje de ahorro} = \left(1 - \frac{0,048}{0,07787}\right) \times 100 = 38,36\% \quad \text{(Ecuac. 10)}$$

El precio del kWh generado por nuestra instalación fotovoltaica es un 38,36% más barata, lo que aporta una buena cantidad ahorrada, además de que se está teniendo en cuenta el precio del kWh más barato en todo el mercado. Ya que muchas otras comercializadoras no tienen en cuenta esta variedad de precios tan amplia, sino que imponen un precio fijo al kWh consumido simplemente si este es consumido de día o de noche. En la tabla 11 se muestran varias compañías con los precios de la luz actualizados. La hora punta se refiere al horario diurno, durante las cuales el consumo es más caro. En cambio las horas valle son las horas nocturnas, las cuales son más baratas. El precio más bajo de luz lo consigue Naturgy con 0,1337 €/kWh durante el día, que es el momento donde se suele gastar más energía, y para horario nocturno es de 0,0671€/kWh. Este último es sorprendentemente bajo, pero las comercializadoras juegan con este precio sabiendo la cantidad de energía que se consume en estas franjas horarias, que es muy poca.

Compañía	Tarifa	Valle	Punta
 Naturgy	EcoEasy Noche Luz	0.0671 €/kWh	0.1337 €/kWh
 gesternova energie	Noche y día	0.0694 €/kWh	0.1423 €/kWh
 endesa	One Luz Nocturna	0.0794 €/kWh	0.1586 €/kWh
 edp	Fórmula Luz DH	0.0846 €/kWh	0.1547 €/kWh
 lucera	Dos Tramos Luz	0.0730 €/kWh	0.1480 €/kWh
 REPSOL	Tarifa Online Nocturna	0.0740 €/kWh	0.1490 €/kWh

Tabla 11: Precios de compañías eléctricas de la electricidad según el momento de consumo; diurno o nocturno.

Otras empresas no se dedican a ofrecer tal variedad de servicio, i se limitan a poner precio al kWh consumido. De esta manera el usuario no ha de preocuparse de la hora en la que está consumiendo energía porque va a pagar lo mismo en todas las horas del día. El precio más bajo es Naturgy con un 0.0954€/kWh, que es muy superior al conseguido con la instalación en red realizada.

Compañía	Tarifa	Precio kWh
	MeCambio	0.1187 €/kWh
	EcoEasy Luz	0.0954 €/kWh
	One Luz	0.1199 €/kWh
	Luz Máximo Ahorro	0.1216 €/kWh

Tabla 12: Precios de compañías eléctricas de la electricidad de precio fijo.

Por tanto, después de ver los precios que hay hoy en día en el mercado, se puede calcular los años que pasarán para poder amortizar una instalación como la que hemos diseñado.

Si tuviésemos en cuenta el precio medio en España, gracias a la web que ha creado el gobierno español donde se recogen los precios publicados por la Red Eléctrica Española, diríamos que el consumidor particular medio paga por la luz unos 0.12925 €/kWh, datos oficiales de 2018 aportados por la web comentada antes, para una potencia de 4,6 kW en la instalación, más un importe fijo que varía en función de la potencia contratada. En nuestro caso sería semejante a contratar una potencia de 4,6 kW. El precio fijo que se paga es de 193.2529 €/año. Lo que significa que para calcular lo que se paga anualmente en una vivienda, la ecuación es muy sencilla:

$$\text{Precio} = 193,2529 + 0.12925 \times E \quad \text{(Ecuación 11)}$$

Siendo E la cantidad de kWh que se han consumido ese mismo año. En nuestro caso como se vio en el apartado 5, el consumo energético medio de un hogar es de 3.241 kWh anual. Por tanto el precio total de ese año va a ser de 612,15 €. Ahora sabiendo que la inversión que se ha propuesto para la instalación fotovoltaica va a ser de 4.593€, se va a proceder a calcular la rentabilidad de esta.

Se va a calcular la rentabilidad como los años que han de pasar para amortizar la inversión, es decir, para recuperar el valor monetario invertido.

$$612,15 \times T = 4.593 \quad \text{(Ecuación 12)}$$

El resultado del tiempo T es de 7,5 años. Es decir que en 7 años y 6 meses se ha recuperado el dinero invertido inicialmente, y aun tendría 17 años y 6 meses para generar energía sin coste alguno, si tenemos en cuenta que la garantía de la instalación que se ofrece en estos servicios es de 25 años. Un resultado de lo más positivo, debido a que la inversión inicial no es demasiado exigente para un usuario medio. Es más, todas las compañías que se dedican a realizar este tipo de instalaciones ofrecen financiación para que el cliente vea más cómodo el pago fraccionado de la instalación.

10. Resultados

Después de hacer este magnífico estudio sobre una vivienda media en España, se van a comentar los resultados finales para saber si estos son suficientemente convincentes para proceder a la compra de estos aparatos.

En primer lugar, se reúne toda la información de estos resultados finales en la tabla siguiente:

Número de placas solares	6
Área total	13 m ²
Inversión inicial	4.593 €
Amortización de la inversión	7 años y 6 meses
Precio del kWh actual medio	0,12925
Precio del kWh generado	0,061
Energía generada	3762 kWh

Tabla 13: Resultados finales de la instalación deseada.

Es fácil observar que estos resultados son muy satisfactorios. Además de que en caso de la generación de excedentes la compañía eléctrica correspondiente está obligada a remunerar esa cantidad de energía que se pasa a la red eléctrica. Es por eso que en muchos días donde el sol es alto y cálido, es muy probable que se genere más energía de la que se consume. Se ve reflejado en la tabla 5, donde las horas de sol pico en primavera y verano son muy altas.

Además, decir que en los cálculos que se han llevado a cabo en la tabla 5 de la producción energética (donde la producción anual resulta de 3.774 kWh) han sido bastante ajustados con la de PV Syst, pues el número de placas son 6, tal como se había predicho, y la energía generada en PV Syst es de 3.762 kWh. Esto significa que el error que hemos tenido en esos cálculos han sido mínimos.

Como valoración general de este estudio, es importante remarcar que cada vez existen comercializadoras de energía que se están pasando al lado sostenible con energías renovables, debido a la alta rentabilidad de esta. Eso sí, te aseguran todo el sistema instalado, y realizan reparaciones en el momento que haga falta. Así que estamos hablando de un sector de la energía que está cada vez más de moda, por así decirlo, y que cada vez más empresas y personas están apoyando para el cambio de hábitos de contaminantes que existen en la sociedad, que están poniendo en riesgo la salud mundial. Es por eso que este trabajo es una simple visita al mundo de las energías renovables, donde se condensan muchísimas maneras de generar energía de forma sostenible. Y teniendo en cuenta el precio que se paga hoy por la energía, se ha demostrado numéricamente que se podría pagar menos por ella, y además no contaminar de la manera que se contamina ahora.

11. Conclusiones

Como conclusiones del trabajo, remarcar el gran aprendizaje que me ha aportado sobre el sector de la energía solar fotovoltaica, que a pesar de tener conocimientos básicos sobre el tema, hasta ahora no era más que un hobby.

Además de conocimiento, uno se da cuenta de la cantidad de cosas que quedan por descubrir y mejorar en la sociedad, aportando aunque sea un pequeño estudio, para convencerse que la humanidad tiene un potencial impresionante para conseguir lo que uno se proponga. El tema energético además de ser un gran sector donde las compañías buscan indagar nuevas maneras de producir energía, es interesantísimo poder navegar por el funcionamiento de estas y darse cuenta que se puede crear energía totalmente limpia que puede mover el mundo.

Un estudio como este debería conmover a cualquiera, y desde luego con los datos económicos que se han presentado, solo haría falta una buena campaña de marketing para conseguir que la gente se convenza y se dé cuenta que la energía renovable es posible. Y no solamente es posible sino que además es más barato, aunque la inversión inicial parezca abultada, que no lo es a mi parecer.

Ahora bien, este estudio, está pensado para una vivienda que tenga disponible en lo alto de un tejado o en algún lugar, una zona donde colocar 13m² de paneles solares. Si uno vive en la ciudad, lo más normal es vivir en un edificio con muchas plantas, y en lo alto del edificio hay espacio suficiente para colocar una instalación como esta, pero si se quiere obtener energía para todos los individuos de un edificio entero, habría que realizar un estudio totalmente diferente, porque el espacio disponible no sería el suficiente si solamente se quisiera aprovechar la energía del sol. Por tanto en este caso concreto habría que hacer un estudio aparte. Este es desde luego uno de los problemas dentro de este sector de la energía, que para casos particulares aunque son pocos, se ha de realizar un estudio totalmente nuevo porque las condiciones de cada vivienda/apartamento/familia van a ser muy diferentes, y hay que adaptarse a las condiciones de cada uno.

Quizás para dar un paso más en esta investigación, sería interesante evaluar la posibilidad de hacer un estudio como este pero para un edificio completo, de viviendas residenciales, donde los vecinos puedan repartirse el gasto de la instalación y utilizar el máximo de espacio en el terrado para generar la energía necesaria.

La conclusión más clara es que el mundo se está dando cuenta de las posibilidades de la energía solar fotovoltaica y está creciendo cada vez más. Creo que en España se debería invertir más en ella, en la medida de lo posible, ya que resulta contradictorio que países europeos con menos horas de sol al año produzcan mayor cantidad de energía solar que España.

12. Agradecimientos

Para finalizar, de manera muy breve, agradecer a toda la gente que ha estado dispuesta a ayudarme en la realización del trabajo, de un estudio que ha aportado valor y conocimiento en mi vida de estudiante. Gracias a mi tutor, gracias a compañeros de la universidad ETSEIB que han estudiado conmigo y me han empujado a acabar el proyecto con muchas ganas. Sobre todo gracias a mi familia, mis padres y mis 10 hermanos que aun estando en épocas de pandemia me han infundido tranquilidad y alegría de todos los colores posibles, para no desistir y seguir adelante con el proyecto. Gracias también a la universidad ETSEIB que me ha aportado los conocimientos necesarios para entender cómo funciona la energía solar fotovoltaica en las diversas asignaturas que se dan en el grado.

Bibliografía

- [1] INTELEC, Ingeniería y energética, *¿Cuál es la diferencia entre la energía solar fotovoltaica y la energía solar térmica?* Jaén: 2015,
- [2] EUROSTAT STATISTICS EXPLAINED, *Estadísticas de energía renovable*, European Commission website, EU, 2011.
- [3] INFORMACIÓN Y CONTROL DE PUBLICACIONES, S.A. OJDinteractiva: España: 2012.
- [4] JOSE ALONSO, CAMBIO ENERGÉTICO, *Energía solar térmica: ¿Merece la pena?*. 11 Junio, 2019.
- [5] UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA. SERVEI DE LENGÜES I TERMINOLOGIA *. *Guia lingüística pràctica 2*. Barcelona, Servei de Publicacions de la UPC , 1996. *Institució. Departament(s).
- [6] AUTOSOLAR ENERGY SOLUTIONS SLU, *Energía solar Fotovoltaica*, Valencia, Alcàsser, 2008.
- [7] IRENA, “Renewable Power Generation Costs in 2017,” 2018.
- [8] A. Mermoud, “PVsyst 6 Help,” PVsyst SA, 2018. [Online]. Available: <http://files.pvsyst.com/help/>. [Accessed: 8-Dic-2020].
- [9] IDAE, Instituto para la Diversificación y ahorro de la energía. *Estudios, informes y estadísticas*. España, Madrid. 2007.
- [10] ENERGÍA SOLAR, Radiación solar [Online]. Available: <https://solar-energia.net/que-es-energia-solar/radiacion-solar>. [Accessed: 10 Dic 2019].
- [11] CALCULATION SOLAR BLOG, Cálculo instalación fotovoltaica aislada de la red (OF GRID) part 3 (Campo fotovoltaico: radiación solar. Cálculo horas de sol pico). [Online]. Available: <http://calculationsolar.com/blog/?cat=2>. [Accessed: 12 Dic 2019].
- [12] MAXIMO SOLAR INDUSTRIES, Cómo calcular su sistema solar fotovoltaico. [Online]. Available: <https://www.maximosolar.com/es/aprende/calcula-tu-sistema>. [Accessed: 14-Dic-2019].
- [13] SUN SUPPLY, Componentes de un sistema de energía Solar . [Online] Available: <https://www.sunsupplyco.com/componentes-de-un-sistema-de-energia-solar/>. [Accessed 15-Dic-2019].

- [14] MPPT SOLAR, Cómo funciona un inversor, [Online] Available: <https://www.mpptsolar.com/es/esquema-funcionamiento-inversor.html>. [Accessed: 20-Dic-2019].
- [15] SOTYSOLAR, 5 claves de las baterías para instalaciones de placas solares. [Online] Available: <https://sotysolar.es/blog/baterias-placas-solares-5-claves>. [Accessed: 20-Dic-2020].
- [16] DAMIA SOLAR, energía solar al mejor precio, *Tienda Online Energías renovables* : La pobla de Segur, Lleida, Cataluña, España.
- [17] SELECTRA, *Precio del KWh en España*, Madrid, España [Online]. Available: <https://tarifaluzhora.es/info/precio-kwh>. [Accessed: 21-Dic-2019].
- [18] CFE, Comisión Federal de Electricidad. [Online] Available: https://app.cfe.mx/aplicaciones/ccfe/tarifas/tarifas/Tarifas_casa.asp?Tarifa=DACTAR1&anio=2018. [Accessed: 22-Dic-2019].
- [19] OCU, Organización de Consumidores y usuarios [Online] Available: <https://www.ocu.org/toda-la-informacion?type=dossiers&cat=vivienda-y-energia&subcat=energia-renovable>. [Accessed: 22-Dic-2019].
- [20] TARIFALUZHORA by SELECTRA, Precio de la luz por horas, [Online]. Available: <https://tarifaluzhora.es/>. [Accessed: 20-Enero.2020].
- [21] IDEAS Y AHORRO, cómo ahorrar dinero. *Cuanto se paga de luz*. [Online]. Available: <https://www.ideasyahorro.com/cuanto-se-paga-de-luz/>. [Accessed: 25-Enero-2020].
- [22] PVsyst SA, “PVsyst Photovoltaic Software 6.7.3.” 2018.
- [23] Jinko Solar, “Jinko Solar | Your Best Supplier of Modules, Cells & Wafers,” 2018. [Online]. Available: https://www.jinkosolar.com/about_207.html. [Accessed: 28-Enero-2020].
- [24] Spain's Photovoltaic Union - UNEF and International Energy Agency - IEA, “National Survey Report of PV Power Applications in Spain,” 2015.
- [25] Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS) – An oficial EU website- EU Science Hub. 1995-2020.
- [26] BORJA PÉREZ, “*Todo lo que necesitas saber sobre la Energía Fotovoltaica para dummies*”, colaboración con BYSOLARENERGY ACADEMY, diciembre 2019.