

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS
INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACIÓN

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



Trabajo Fin de Grado

**DESARROLLO DE UNA APLICACIÓN PARA
LA AYUDA EN EL APRENDIZAJE DEL
DIMENSIONAMIENTO DE INSTALACIONES
FOTOVOLTAICAS**

**(Development of an application to help in
learning the sizing of photovoltaic
installations)**

Para acceder al Título de

*Graduado en Ingeniería de Tecnologías de
Telecomunicación*

Autor: Óscar Puertas Siñeriz

Septiembre – 2024

GRADUADO EN INGENIERÍA DE TECNOLOGÍAS DE TELECOMUNICACIÓN

CALIFICACIÓN DEL TRABAJO FIN DE GRADO

Realizado por: ÓSCAR PUERTAS SIÑERIZ

Director del TFG: JESÚS MARÍA MIRAPEIX SERRANO

Título: “Desarrollo de una aplicación para la ayuda en el aprendizaje del dimensionamiento de instalaciones fotovoltaicas”.

Title: “Development of an application to help in learning the sizing of photovoltaic installations”.

Presentado a examen el día:

para acceder al Título de

GRADUADO EN INGENIERÍA DE TECNOLOGÍAS DE TELECOMUNICACIÓN

Composición del Tribunal:

Presidente (Apellidos, Nombre): Vielva Martínez, Luis Antonio

Secretario (Apellidos, Nombre): Quintela Incera, María Ángeles

Vocal (Apellidos, Nombre): Valle López, Luis

Este Tribunal ha resuelto otorgar la calificación de:

Fdo: El Presidente

Fdo: El Secretario

Fdo: El Vocal

Fdo: El Director del TFG
(sólo si es distinto del Secretario)

Vº Bº del Subdirector

Trabajo Fin de Grado Nº
(a asignar por Secretaría)

Resumen

El presente Trabajo de Fin de Grado se centra en el desarrollo de una aplicación enfocada en la ayuda del proceso de aprendizaje del diseño y dimensionamiento de instalaciones solares fotovoltaicas. El objetivo es proporcionar al alumno una herramienta mediante la cual pueda comprobar o aprender a hacer una serie de cálculos básicos del dimensionamiento fotovoltaico, como pueden ser: variaciones de las tensiones, potencias y corrientes de los módulos con respecto a la temperatura, longitud y sección del cableado, generación energética, entre otros. La aplicación servirá como apoyo en la asignatura de *Energía y Telecomunicaciones* en 3º del Grado en Ingeniería de Tecnologías de Telecomunicación.

Abstract

The Bachelor's Thesis focuses on the development of an application focused on helping the learning process of the design and sizing of photovoltaic solar installations. The objective is to provide the student with a tool through which they can check or learn to do a series of basic calculations of photovoltaic sizing, such as: variations in voltages, powers and currents of the modules with respect to temperature, length and section of the wiring, energy generation, among others. The application will serve as support in the subject of "*Energy and Telecommunications*" in the 3rd year of the Degree in Telecommunications Technology Engineering.

Índice

1.	Introducción	7
1.1.	Objetivos	7
1.2.	Contexto	7
2.	Energías Renovables	8
3.	Introducción a la energía solar fotovoltaica	12
3.1.	Conceptos básicos	12
3.2.	Funcionamiento	16
3.3.	Dimensionamiento fotovoltaico	17
4.	Situación de la energía solar fotovoltaica	20
4.1.	Situación global	20
4.2.	Situación nacional.....	22
5.	Desarrollo de la aplicación	24
5.1.	Explicación ejercicio.....	24
5.2.	Base de datos	29
5.3.	Funcionamiento de la aplicación	30
6.	Conclusiones y líneas futuras	39
6.1.	Conclusiones.....	39
6.2.	Líneas futuras	39
7.	Bibliografía	40

Índice de figuras

Figura 1 – Esquema de una instalación fotovoltaica de autoconsumo. Fuente: ¿Cómo funciona una instalación fotovoltaica? SolarProfit	12
Figura 2 – Esquema de una instalación fotovoltaica de autoconsumo aislada. Fuente: Instalacion fotovoltaica aislada - HelioEsfera	13
Figura 3 - Representación de los tres tipos de paneles solares. Fuente: TIPOS DE PANELES FOTOVOLTAICOS - Tritec Intervento (tritec-intervento.cl)	15
Figura 4 – Representación esquemática del funcionamiento de una célula FV. Fuente: Apuntes de Energía Solar Fotovoltaica por Jesús Mirapeix.	17
Figura 5 – Capacidad eléctrica fotovoltaica acumulada. Fuente: Executive summary – Renewables 2023 – Analysis - IEA	21
Figura 6 - Ranking mundial de los países con mayor potencia solar fotovoltaica instalada en 2023. Fuente: https://es.statista.com/estadisticas/641225/potencia-solar-fotovoltaica-instalada-por-paises/	22
Figura 7 - Evolución anual de la potencia solar fotovoltaica en España. Fuente: Solar fotovoltaica (Sol)(Potencia) Informes del sistema (sistemaelectrico-ree.es)	22
Figura 8 - Potencia solar fotovoltaica de cada comunidad autónoma sobre la potencia solar fotovoltaica nacional. Fuente: Solar fotovoltaica (Sol)(Potencia) Informes del sistema (sistemaelectrico-ree.es)	23
Figura 9 - Enunciado del ejercicio de dimensionamiento creado para la aplicación, similar a los usados en la asignatura “Energía y Telecomunicaciones”	25
Figura 10 – Uso de la aplicación PVGIS para el ejercicio propuesto. Fuente: JRC Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS) - European Commission (europa.eu)	28
Figura 11 - Resultados irradiación mensual en PVGIS. Fuente: JRC Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS) - European Commission (europa.eu)	28
Figura 12 - Tabla de paneles dentro de la base de datos.	29
Figura 13 – Tabla de inversores dentro de la base de datos.	30
Figura 14 - Pantalla de inicio de la aplicación.	30
Figura 15 – Seleccionador y datos del panel.	30
Figura 16 - Seleccionador y datos del inversor.	31
Figura 17 - Código para acceder a la tabla de paneles dentro de la base de datos.	31
Figura 18 - Pantalla de los cálculos de tensiones.	32
Figura 19 – Pantalla de la explicación de los cálculos de las tensiones.	33
Figura 20 – Pantalla de la explicación de los cálculos de número mínimo y máximo de paneles	33
Figura 21 - Pantalla de los cálculos de las corrientes.	34
Figura 22- Pantalla de la explicación de los cálculos de las corrientes.	34
Figura 23 – Pantalla de los cálculos de potencias.	35
Figura 24 - Pantalla de la explicación de los cálculos de potencias.	35
Figura 25 - Pantalla de dimensionamiento de cables.	36
Figura 26 - Pantalla de explicaciones de los cálculos de la sección.	36
Figura 27 - Tabla de secciones para cables de cobre.	37
Figura 28 - Pantalla de generación energética.	37
Figura 29 - Pantalla explicativa de la obtención de los datos de irradiación.	38

1. Introducción

1.1. Objetivos

La finalidad de este Trabajo de Fin de Grado es desarrollar una aplicación para ayudar en el proceso de aprendizaje del diseño y dimensionamiento de instalaciones solares fotovoltaicas.

La aplicación se usará inicialmente para la enseñanza en la asignatura de *Energía y Telecomunicaciones* en 3º del Grado en Ingeniería de Tecnologías de Telecomunicación, y se centrará en la selección de un modelo de panel solar fotovoltaico y de un inversor, y en el posterior dimensionamiento del generador fotovoltaico frente al inversor seleccionado, realizando así el dimensionamiento en tensión, corriente y potencia.

En el documento, además del propio desarrollo de la aplicación y de su posible integración en la asignatura, se hará una breve introducción a la energía solar fotovoltaica y se describirá la situación actual de esta, tanto a nivel internacional como en España.

1.2. Contexto

Con el paso de los años, las Energías Renovables (EERR) han tomado gran protagonismo en el mercado energético. A causa del calentamiento global, se han invertido muchos recursos en el desarrollo de estas tecnologías, por lo que han pasado a ser más competitivas y relevantes a nivel mundial.

Una de las principales EERR es la energía solar, que se define como aquella que se obtiene a partir del sol en forma de radiación electromagnética. Mediante la instalación de paneles solares, se puede utilizar para obtener calor (sistema solar térmico) o para generar electricidad (sistema solar fotovoltaico).

Una parte de la asignatura de Energía y Telecomunicaciones, impartida en el tercer curso del Grado en Ingeniería de Tecnologías de Telecomunicación en la Universidad de Cantabria, se centra en la energía solar fotovoltaica. En ella, se da un contexto y situación actual, se explica el efecto fotoeléctrico y la célula fotovoltaica, se detallan los elementos de una instalación solar fotovoltaica y, por último, se estudia el dimensionamiento de instalaciones solares fotovoltaicas. Esta sección de dimensionamiento se evalúa principalmente mediante unos ejercicios prácticos, en los que se calcula una serie de parámetros. La aplicación diseñada se centra en el soporte y ayuda en la enseñanza de estos ejercicios.

2. Energías Renovables

Se conoce como energías renovables (EERR), a aquellas que se obtienen a partir de fuentes naturales (el sol, el viento, el agua o la biomasa). Su principal característica es que son fuentes inagotables y no producen emisiones de gases de efecto invernadero, aunque esta última es una característica general en muchas de ellas, pero no recogida en su definición y con algunas excepciones (como ocurre con las centrales de biomasa, por ejemplo).

Las energías renovables son clave en la reducción de las emisiones de CO₂ ya que en su proceso de producir electricidad no se quema ningún combustible fósil. Utilizando tecnologías más eficientes, seguras y asequibles, pueden llegar a reducir el 90% de las emisiones de CO₂ [1].

Los combustibles fósiles son, con diferencia, los mayores causantes del cambio climático. Son responsables de más del 75% del total de emisiones de gases de efecto invernadero y casi un 90% de las emisiones de CO₂ se producen en la quema de estos combustibles. Es por ello por lo que, para evitar que la temperatura global siga aumentando, se necesita reducir las emisiones casi a la mitad en 2030 y alcanzar la neutralidad del carbono en 2050. Para este objetivo, las energías renovables son imprescindibles [2].

Los recursos naturales son inagotables. A diferencia del carbón o el gas natural, que cuentan con reservas para varias décadas todavía, la radiación solar, el viento, el calor terrestre o las energías del mar, entre otras, se renuevan constantemente y se consideran inagotables a escala humana.

También, las energías renovables impulsan la independencia energética. Cada región cuenta con recursos naturales propios, lo que permite, en muchos casos, el desarrollo de un sistema energético independiente que no dependa de recursos externos a la región. Por ejemplo, los países situados en la línea del Ecuador cuentan con excelentes condiciones de radiación que les permite aprovechar la energía solar.

Las principales tecnologías renovables como la solar fotovoltaica y la eólica, especialmente, han visto reducidos sus costes de manera drástica en los últimos años (un 80% en el caso de la fotovoltaica). Numerosos estudios determinan que ya es más competitivo instalar un proyecto con estas tecnologías que mantener una central térmica basada en la quema de carbón [3].

En 2022 la inversión mundial en tecnologías para acelerar la transición energética alcanzó un récord de 1,3 billones de USD. Sin embargo, IRENA considera que las inversiones anuales deben, al menos, cuadruplicarse para seguir encaminadas a alcanzar el escenario de 1,5 °C como aumento máximo de la temperatura media en todo el mundo para 2050 [2].

Dentro del grupo de las EERR, éstas pueden dividirse en dos categorías: energías renovables variables y no variables. Las variables son aquellas que generan electricidad de forma intermitente en función de las condiciones ambientales, es decir, su producción fluctúa dependiendo de la disponibilidad del recurso y por lo tanto del tiempo. Y, por el contrario, las no variables son aquellas que mantienen la generación de electricidad constante.

Dentro de las variables se encuentran:

- **Energía eólica:** aprovecha la energía cinética del aire en movimiento gracias al uso de enormes turbinas eólicas ubicadas en superficies terrestres, en alta mar o en aguas dulces (sobre la superficie acuática). El rotor del aerogenerador transforma la energía cinética en energía mecánica, y el generador transforma dicha energía mecánica en energía eléctrica. Es hoy en día una de las tecnologías más maduras y eficientes de todas las energías renovables. España ha sido uno de los países pioneros en el uso de esta energía. En 2013 se convirtió en el primer país del mundo en que la energía eólica fuese la principal fuente de electricidad durante un año entero. En el año 2023, la generación de energía eólica supuso en torno al 23,5% de la energía total generada en España [4].
- **Energía solar:** es la energía producida por la luz (energía solar de tipo fotovoltaica) o por el calor (energía solar de tipo térmica). Si se instala paneles fotovoltaicos, generará electricidad, mientras que, si se instala colectores solares, generará calor. El sistema de energía solar térmica funciona de la siguiente manera: el colector o panel solar capta los rayos del sol, absorbiendo de esta manera su energía en forma de calor, a través del panel/colector solar se hace pasar un fluido (normalmente agua) de manera que parte del calor absorbido por el panel es transferido a dicho fluido, el fluido eleva su temperatura y es almacenado o directamente llevado al punto de consumo. Las aplicaciones más extendidas de esta tecnología son el calentamiento de agua sanitaria (ACS), la calefacción por suelo radiante y el precalentamiento de agua para procesos industriales. En España, se experimentó un significativo aumento de este tipo de energía desde el 2010 al 2022 [5]. Los fundamentos de la energía solar fotovoltaica se explicarán más adelante.
- **Energía undimotriz:** se trata de la energía almacenada/transportada por las olas. Se debe a la acción que ejerce el viento sobre la superficie del mar y que genera ondulaciones en la propia superficie del agua. Este fenómeno disminuye a medida que se desciende hacia las profundidades. Las instalaciones de energía undimotriz se suelen instalar en zonas donde el oleaje es muy potente. Hay diferentes sistemas como la columna de agua oscilante, el sistema Pelamis o el sistema Mwawe. En España es una tecnología que se lleva usando desde 2011, y que en la actualidad planea construir en Mallorca la planta más grande del mundo [6], aunque hoy en día

sigue siendo una tecnología experimental y que no genera grandes cantidades de energía.

Dentro de las no variables se encuentran:

- **Energía hidroeléctrica:** se trata de la energía que aprovecha el movimiento del agua para generar electricidad. Utiliza la energía cinética que se genera en los saltos de agua o corrientes con fuerza para producir energía eléctrica. Aunque se trata de una energía renovable no variable, sí que puede fluctuar a largo plazo debido a las variaciones en las precipitaciones anuales. Hay tres tipos de plantas, pero la más utilizada es la hidroeléctrica de embalse. El proceso es el siguiente: se captura el agua mediante una presa creando un embalse, esta agua tiene energía potencial, y al abrirse las compuertas se libera y mediante turbinas genera electricidad. Los otros dos tipos de planta menos usados son la hidroeléctrica de pasada y la hidroeléctrica de bombeo. En España en 2023, la energía hidráulica representa el 9,5% del total de energía generada [7].
- **Energía geotérmica:** utiliza el calor del interior de la tierra para obtener electricidad y calor. El calor que proporciona es ilimitado y la temperatura del subsuelo es muy estable, lo que permite obtener rendimientos energéticos elevados. Existen diferentes tipos de energía geotérmica dependiendo del tipo de recurso natural del que se extraigan, la profundidad de perforación o la temperatura a la que esté la tierra. Su funcionamiento básico es el siguiente: se perforan pozos en áreas geotérmicas para acceder a reservas de agua caliente o vapor, esta agua se lleva a la superficie para mover turbinas conectadas a generadores, que convierten la energía mecánica en electricidad, y por último se reinyecta el agua en el suelo para mantener la presión y la sostenibilidad del recurso. En España no es una de las renovables más usadas, aunque esto está cambiando puesto que se está estudiando abrir varias plantas en las Islas Canarias [8].
- **Biomasa:** se trata de aquella energía que se obtiene a partir de la materia orgánica, tanto de origen vegetal como animal. Puede aparecer en diversas formas: residuos agrícolas, forestales, agroalimentarios y la propia materia orgánica que generamos los humanos en forma de basura. La biomasa se puede convertir en energía mediante diferentes procesos: se quema esta materia para generar calor que puede ser usado para calefacción o para producir vapor que mueve turbinas. Otra manera es mediante la gasificación, donde la biomasa se convierte en gas mediante un proceso de calentamiento en ausencia de oxígeno. Este proceso de calentamiento se usa también en el pirólisis donde se produce líquidos, gases y carbón vegetal, y en la digestión anaeróbica donde se produce biogás. En España el consumo de biomasa está en aumento siendo Andalucía la región donde más generación eléctrica hay, y se espera que siga creciendo en los próximos años [9].

- Energía mareomotriz: aprovecha el movimiento de las mareas para generar electricidad. Para su aprovechamiento, se construyen diques, con turbinas en su parte inferior, normalmente en estuarios de ríos o bahías. El embalse creado por la construcción del dique se llena y se vacía con cada movimiento de marea y el paso del agua que genera permite activar las turbinas que generan la electricidad. En España hay un gran potencial debido a la extensa costa del país, sin embargo, su desarrollo ha sido limitado en comparación con otras formas de energía renovable.

3. Introducción a la energía solar fotovoltaica

3.1. Conceptos básicos

Se define como energía solar fotovoltaica a aquella que se obtiene al convertir la luz solar en electricidad a través de paneles solares fotovoltaicos.

Este tipo de energía presenta un gran número de usos muy variados. A nivel de generación para consumo doméstico, se utiliza tanto como para el autoconsumo, o como para inyectar energía en la red eléctrica.

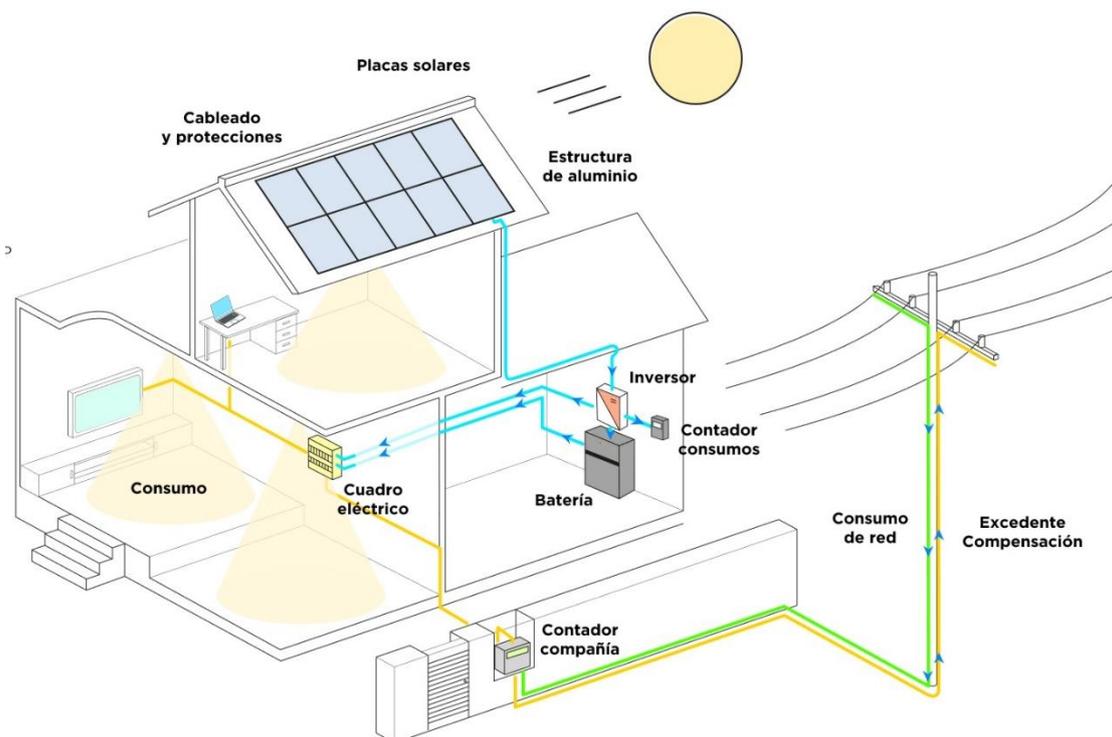


Figura 1 – Esquema de una instalación fotovoltaica de autoconsumo. Fuente: [¿Cómo funciona una instalación fotovoltaica? | SolarProfit](#)

En la Figura 1 se puede observar el esquema típico que sigue una instalación fotovoltaica de autoconsumo conectada a red. A continuación, se va a detallar cada componente significativo:

- Panel solar: generan electricidad de corriente continua a partir de la radiación solar.
- Inversor: convierte la corriente continua, que le llega directamente del panel, en corriente alterna. Además, cumple otras funciones como optimizar el rendimiento de la energía generada por las placas solares, proteger la instalación de cortocircuitos, gestionar la carga de las baterías.
- Batería: almacena la energía generada durante el día para su uso cuando no llega radiación solar.

- Contador bidireccional: mide tanto la energía inyectada a la red como la consumida.

A parte de usarse este tipo de tecnología en casas particulares, existen instalaciones en ubicaciones como techos industriales o comerciales donde el funcionamiento es similar. Estos sistemas pueden tanto proporcionar energía para el propio consumo del edificio (autoconsumo industrial), ayudando así a reducir sus costos energéticos y minimizar su huella de carbono, como inyectar en la red. Otro caso donde se usan instalaciones fotovoltaicas de autoconsumo es en las viviendas aisladas. Existen áreas rurales sin acceso a la red eléctrica donde los sistemas fotovoltaicos proporcionan energía de manera fiable [10].

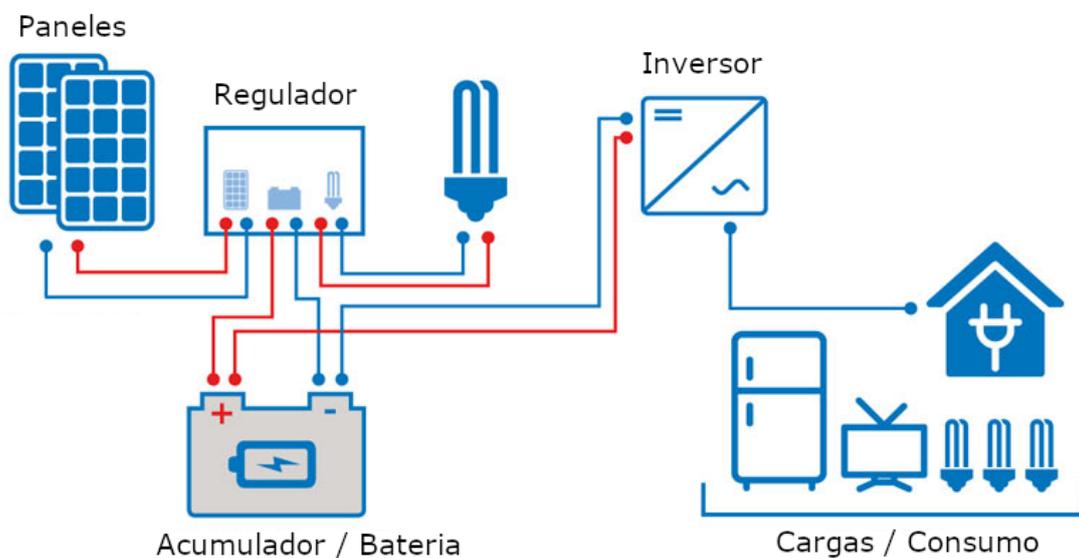


Figura 2 – Esquema de una instalación fotovoltaica de autoconsumo aislada. Fuente: [Instalacion fotovoltaica aislada - HelioEsfera](#)

En la Figura 2 se observa el esquema general de una instalación fotovoltaica aislada. Se diferencian de los sistemas conectados a red principalmente en que operan de manera independiente, generan y consumen su propia electricidad. Generalmente son más complicadas de diseñar puesto que, al no tener el soporte de la red, hay que dimensionar de manera más precisa las baterías ya que se pueden quedar sin energía. El elemento que las diferencia de las instalaciones conectadas a la red es el regulador de carga. Su función es gestionar el flujo de energía entre los paneles, las baterías y los consumidores. Protege a las baterías y asegura su correcto funcionamiento evitando sobrecargas o grandes descargas.

A nivel de gran escala, se encuentran las plantas solares fotovoltaicas, también llamadas parques solares. Estas extensas instalaciones están diseñadas para generar grandes cantidades de energía que se inyecta en la red eléctrica. A continuación, se va a explicar cada componente que varía de una instalación de autoconsumo:

- Transformador: eleva la tensión de la electricidad que sale del inversor para que se inyecte en la red y que se transmita a largas distancias.
- Sistema de seguimiento solar: elemento opcional. Ajusta el ángulo de los paneles para maximizar la captación de radiación solar.

Otras aplicaciones de sistemas fotovoltaicos pueden ser: agricultura solar, cargadores solares para vehículos eléctricos, paneles fotovoltaicos en vehículos, dispositivos electrónicos (relojes deportivos, calculadoras), sistemas de iluminación, equipos de telecomunicaciones, satélites, etc.

Aunque existe una gran variedad de tecnologías fotovoltaicas, desde un punto de vista genérico se pueden citar tres tipos de paneles solares fotovoltaicos (se pueden observar en la Figura 3):

- Paneles solares monocristalinos: están fabricados en silicio de alta pureza. Ofrecen los mayores niveles de eficiencia (entre el 18% y el 23%). Son muy potentes y tienen larga vida útil, pero son algo más costosos que el resto de los tipos. Se usan principalmente en espacios limitados como techos residenciales y comerciales [11].
- Paneles solares policristalinos: están fabricados con silicio en bruto. Su precio es más reducido, pero a su vez presentan unas eficiencias algo menores que los paneles monocristalinos (alrededor del 15%). Su rendimiento es peor que los monocristalinos en condiciones meteorológicas adversas.
- Paneles solares amorfos: utilizan materiales como el silicio amorfo. De esta manera se consigue fabricar un panel flexible, ligero y económico. No se utilizan para el autoconsumo por su bajo rendimiento (entre el 8% y el 12%), por su poca estabilidad en el tiempo y por requerir mucho espacio para su instalación [12].



Figura 3 - Representación de los tres tipos de paneles solares. Fuente: [TIPOS DE PANELES FOTOVOLTAICOS - Tritec Intervento \(tritec-intervento.cl\)](https://www.tritec-intervento.cl)

La energía solar fotovoltaica presenta un gran número de ventajas, aunque también tiene algunas desventajas. A continuación, se resumen los aspectos positivos:

- Bajo coste a largo plazo. A pesar del costo elevado que puede suponer una instalación fotovoltaica, se estima que, dependiendo de las condiciones, se recupere la inversión entre 4 y 7 años [13]. Además, con el avance de la tecnología, el precio de las instalaciones se ha reducido muy significativamente, lo que la hace más asequible.
- Baja huella de carbono. Al ser una energía renovable, los sistemas fotovoltaicos no emiten gases de efecto invernadero, lo que la convierte en una fuente de energía sostenible a largo plazo.
- Flexibilidad. Se trata de una energía fácilmente adaptable a distintas necesidades, como se ha demostrado antes con la gran cantidad de aplicaciones completamente diferentes unas de otras.
- Independencia energética. Esta tecnología permite a los usuarios a generar su propia electricidad, lo cual reduce la dependencia de fuentes de energía externas.

Por último, a continuación, se detallan algunos aspectos negativos:

- Energía variable/fluctuante. Como se explicaba en el apartado anterior, la energía solar fotovoltaica es variable, es decir, depende de la cantidad de luz solar que reciben. Si el día está nublado la producción de electricidad cae notablemente, además pudiendo coincidir con los días de mayor demanda energética.
- Alto costo. A pesar de que, como se ha comentado en las ventajas, el precio de las instalaciones se ha ido reduciendo con el paso del tiempo, la inversión

inicial sigue siendo alta, lo que puede suponer una barrera para algunas personas.

- Ocupa espacio. Para generar considerables cantidades de energía, se necesita una superficie extensa para instalar los paneles solares. Esto puede acarrear problemas tanto en entornos urbanos como, especialmente, en parques solares, por ejemplo, por su impacto sobre otras actividades como la agricultura.
- Impacto ambiental en la fabricación. A pesar de que se trate de una energía limpia, la fabricación de los paneles requiere de procesos que pueden tener un importante impacto medioambiental.
- Vida útil. Los paneles solares fotovoltaicos tienen una vida útil de 25 a 30 años. A lo largo del tiempo, la eficiencia de los paneles va disminuyendo. Normalmente, los distribuidores garantizan que sus paneles solares producirán energía al 90% durante los 10 primeros años, y al 80% durante los siguientes 5 o 10 años [14].

3.2. Funcionamiento

El proceso de la generación de energía comienza con la llegada a la Tierra de la radiación proveniente del Sol. Al entrar en la superficie, parte de la radiación es reflejada, absorbida o dispersada por las distintas partículas y gases que se encuentran en la atmósfera. La luz llega a la superficie ya filtrada, eliminando la mayoría de los rayos ultravioletas y permitiendo que pase la luz visible, parte de la infrarroja y algo de la ultravioleta. Los paneles instalados en la superficie terrestre reciben esta luz principalmente de manera directa, aunque también captan, en menor medida, luz difundida en la atmósfera y luz reflejada en el suelo.

El siguiente paso es el fundamento en el cual se basa esta tecnología, y se trata del fenómeno llamado efecto fotoeléctrico. Este se define como un fenómeno físico en el cual ciertos materiales son capaces de generar corriente eléctrica cuando son expuestos a radiación electromagnética.

La luz es recibida por los paneles solares fotovoltaicos. Estos están compuestos por unos dispositivos denominados células fotovoltaicas, las cuales están hechas principalmente de materiales semiconductores, siendo el más común el silicio. Las células están estructuradas en dos capas, P y N. La capa N está dopada con átomos que tienen más electrones de los necesarios para formar enlaces covalentes. Estos electrones adicionales son los encargados de portar la carga. La capa P, al contrario que la N, está dopada con átomos que tienen menos electrones necesarios para formar enlaces covalentes. Esta falta de electrones crea lo que se denomina como “huecos”, que son los que actúan como cargas positivas móviles.

Cuando la célula fotovoltaica es expuesta a la luz solar, los fotones son absorbidos por los átomos, que darán lugar a un intercambio de electrón y hueco. Para que este proceso sea viable, la energía con la que llega el fotón debe ser lo suficientemente

grande como para que el electrón sea capaz de salir de la capa P. Entonces, cuando llega un fotón lo suficientemente energético, un electrón es empujado hacia el lado tipo N, mientras que un hueco es empujado hacia el lado tipo P. Este intercambio de cargas es lo que crea la corriente eléctrica [15].

Para que el sistema funcione indefinidamente, se dispone en forma de circuito. El electrón sale de la capa N por un cable por el cual regresa a la capa P para recombinarse con los huecos, cerrando así el circuito que se puede observar en la Figura 4.

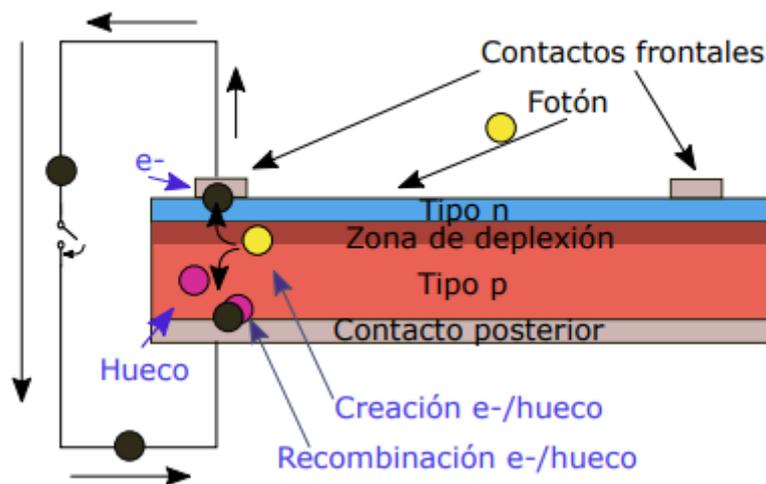


Figura 4 – Representación esquemática del funcionamiento de una célula FV. Fuente: Apuntes de Energía Solar Fotovoltaica por Jesús Mirapeix.

Mediante este proceso se consigue corriente continua. Para hacerla compatible con la red eléctrica o para que sea usable a nivel doméstico, la corriente continua se convierte en corriente alterna mediante el inversor.

Una vez se tiene la energía generada en forma de corriente alterna, ésta se distribuye. Puede usarse para el autoconsumo, se puede inyectar a la red eléctrica o se puede almacenar en baterías para su uso posterior.

3.3. Dimensionamiento fotovoltaico

El dimensionamiento fotovoltaico es el proceso que busca determinar una serie de parámetros óptimos para el diseño de un sistema fotovoltaico. El objetivo es asegurar que el sistema sea eficiente, durable, seguro y que genere la energía necesaria para cumplir los requerimientos de la instalación.

Este proceso establece la cantidad, la disposición y las capacidades de los elementos que forman parte de una instalación fotovoltaica. Para ello se analiza varios factores como la irradiación, las tensiones de los paneles y los inversores, las corrientes, las potencias, etc.

Un dimensionamiento incorrecto puede causar una serie de problemas. Si una instalación está subdimensionada, significa que no generará la energía suficiente, lo que resultará en una falta de suministro eléctrico. Si está sobredimensionada, será una instalación innecesariamente más costosa de lo debido, y puede generar fallos en los componentes por no trabajar en sus rangos óptimos de operación.

La aplicación se centra principalmente en el dimensionamiento del generador fotovoltaico frente al inversor. El objetivo es evitar pérdidas de eficiencia, problemas de seguridad y asegurar que la energía generada sea correctamente transformada y distribuida.

Antes de explicar los parámetros a dimensionar, se van a listar los parámetros de los paneles y de los inversores.

Parámetros de los paneles:

- *Voc*: voltaje en circuito abierto. Es la tensión de salida de un panel cuando no hay ninguna carga. Se mide en voltios (V).
- *Vmp*: voltaje en máxima potencia. Es la tensión que generará el panel cuando esté funcionando en máximo rendimiento. Se mide en V.
- *Coeficiente T*: coeficiente de temperatura para *Voc*. Indica cómo varía la tensión respecto a los cambios en la temperatura. Se mide en %/°C.
- *Potencia*: Potencia nominal máxima. Es la cantidad máxima de potencia que puede generar el panel bajo condiciones estándar. Se mide en vatios (W).
- *Coeficiente TP*: coeficiente de temperatura para la potencia. Indica cómo varía la potencia respecto a los cambios en la temperatura. Se mide en %/°C.
- *Coeficiente TI*: coeficiente de temperatura para la *Isc*. Indica cómo varía la corriente respecto a los cambios en la temperatura. Se mide en %/°C.
- *Isc*: intensidad en corto circuito. Es la corriente máxima que puede producir el panel cuando exista un corto circuito. Se mide en amperios (A).
- *Imp*: intensidad en máxima potencia. Es la corriente que generará el panel cuando esté funcionando en máximo rendimiento. Se mide en A.

Parámetros de los inversores:

- *Min V*: tensión mínima de entrada. Es el valor mínimo necesario para arrancar y funcionar correctamente. Se mide en V.
- *Max V*: máxima tensión de entrada. Es el límite superior de tensión que puede manejar sin dañarse o comprometer su funcionamiento óptimo. Se mide en V.

A continuación, se van a explicar los parámetros a dimensionar con el apoyo de la aplicación:

- Variaciones de V_{oc} y V_{mp} con respecto a la temperatura. La temperatura afecta en gran medida al rendimiento de los paneles solares. Son cálculos necesarios para asegurar que el sistema funciona de forma segura y eficiente en condiciones climáticas diversas. Cuanto más baja sea la temperatura, más alta será la tensión de salida del panel, lo cual podría resultar peligroso en caso de que exceda la tensión máxima de entrada del inversor. Y, al contrario, a más temperatura, menos tensión. Si esta es demasiado baja, el inversor no podrá arrancar y operar correctamente.
- Variaciones de I_{sc} con respecto a la temperatura. Estas variaciones se calculan para proteger el sistema asegurando que los componentes puedan soportar la máxima corriente posible bajo condiciones de calor extremo, dado que la corriente aumenta si la temperatura lo hace también, y viceversa.
- Variaciones de P_{max} con respecto a la temperatura. Dado que tanto el voltaje como la corriente varían con la temperatura, la potencia, al ser combinación de estas, varía en gran medida lo que afecta directamente al rendimiento del panel fotovoltaico. Es esencial conocer cómo se comportará la potencia a distintas temperaturas tanto para dimensionar el resto de los componentes del sistema, para estimar la producción de electricidad, como para asegurar los componentes de posibles fallos.

4. Situación de la energía solar fotovoltaica

4.1. Situación global

En 2023 la energía solar fotovoltaica representó el 5,4% de la generación de energía eléctrica a nivel mundial, mientras que en 2022 fue del 4,5%. Se estima que para 2028 aumente hasta un 12,6%, sobrepasando a la energía eólica y convirtiéndose así en la energía renovable variable que más electricidad genera [16].

El informe anual de 2023 del Programa de Sistemas de Energía Fotovoltaica de la Agencia Internacional de la Energía (IEA-PVPS) [17], revela que la capacidad fotovoltaica global aumentó a 1,6 TW, con respecto a 1,2 TW registrados en 2022. Esto significa una subida de 446 GW de nuevos sistemas fotovoltaicos instalados, de los cuales 235 GW pertenecen a China, contribuyendo más de un 60% de la capacidad global.

Sin embargo, se pueden encontrar discrepancias en cuanto a los diferentes datos recogidos. Por ejemplo, según IRENA (Agencia Internacional de las Energías Renovables), en 2023 se instalaron 345 GW de potencia fotovoltaica, alcanzando los 1,4 TW en total [18]. Esta diferencia de datos demuestra la dificultad de obtener una información que sea totalmente verídica y exacta. Aun así, todas las fuentes indican un mismo camino, el claro crecimiento en el sector fotovoltaico.

En el año 2023, la energía solar fotovoltaica por sí sola representó tres cuartas partes de los nuevos sistemas de energías renovables instalados en el mundo. Esto la hizo la tecnología que más creció del sector.

Como se puede observar en la Figura 5, la subida se espera que sea continuada hasta 2030, donde se espera que se alcance los 6100 GW de generación fotovoltaica para el Escenario Net Zero (reducción de las emisiones de gases invernadero a 0).

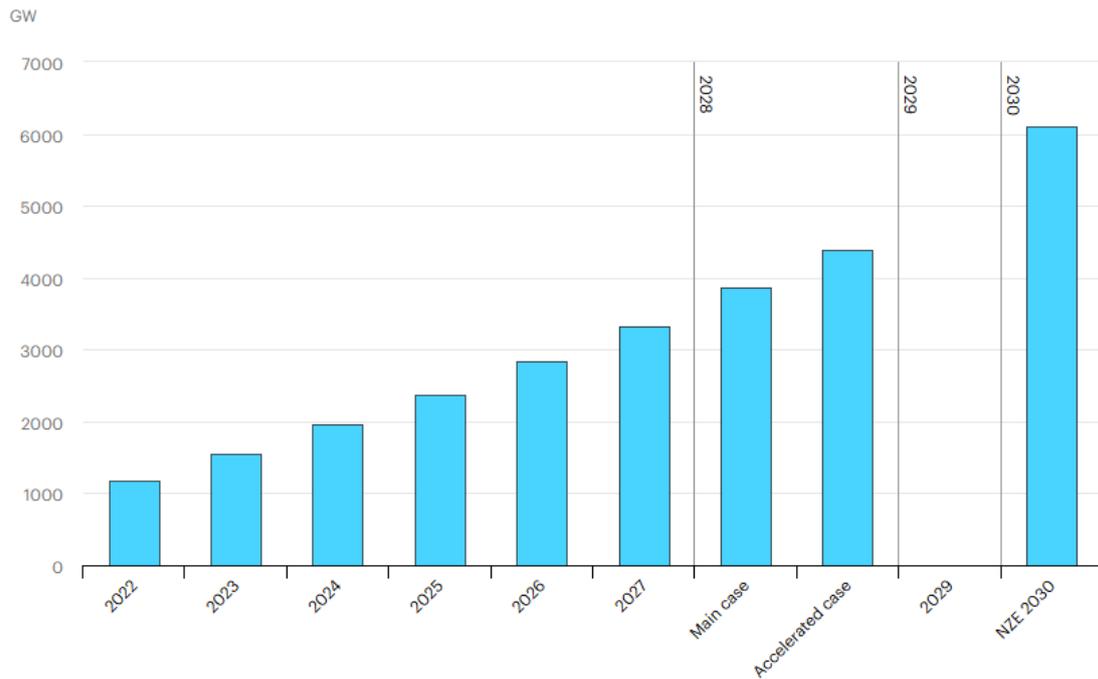


Figura 5 – Capacidad eléctrica fotovoltaica acumulada. Fuente: [Executive summary – Renewables 2023 – Analysis - IEA](#)

En cuanto a nivel de naciones, China es claramente el país a la cabeza de esta subida en la potencia instalada de energía solar fotovoltaica. Al ser un país muy extenso y altamente poblado, presenta grandes demandas de energía, por lo que se están haciendo grandes inversiones en el sector energético en general, incluyendo el fotovoltaico. Esto les permite producir paneles a gran escala y bajo costo. Como se observa en la Figura 6, China tiene instalada 649 GW de potencia, siendo 3,7 veces la potencia instalada por el segundo país en la lista, Estados Unidos, con 174,8 GW. El resto de los países son, por orden: India, Japón, Alemania, España, Brasil, Italia, Países Bajos y Polonia.

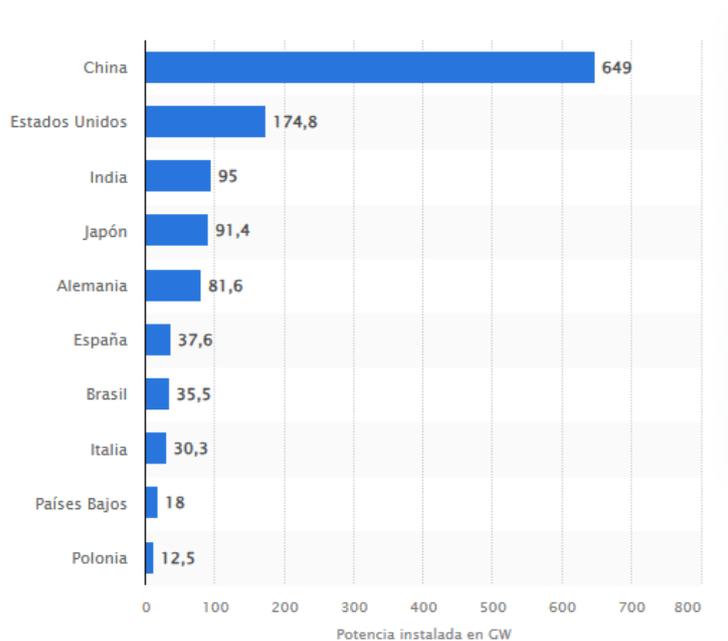


Figura 6 - Ranking mundial de los países con mayor potencia solar fotovoltaica instalada en 2023. Fuente: <https://es.statista.com/estadisticas/641225/potencia-solar-fotovoltaica-instalada-por-paises/>

4.2. Situación nacional

En 2023 a nivel nacional, la energía solar fotovoltaica representó el 20,3% de la potencia instalada total en España. Esto supone un tercio de la potencia instalada de las energías renovables. Según la Red Eléctrica Española, el país cuenta con 25549 MW instalados, de los cuales 5594 MW se instalaron durante el año 2023 [19]. Si se compara con el año 2022, se incorporaron 1096 MW más en 2023, lo que indica la clara progresión que está teniendo esta tecnología como demuestra la Figura 7.

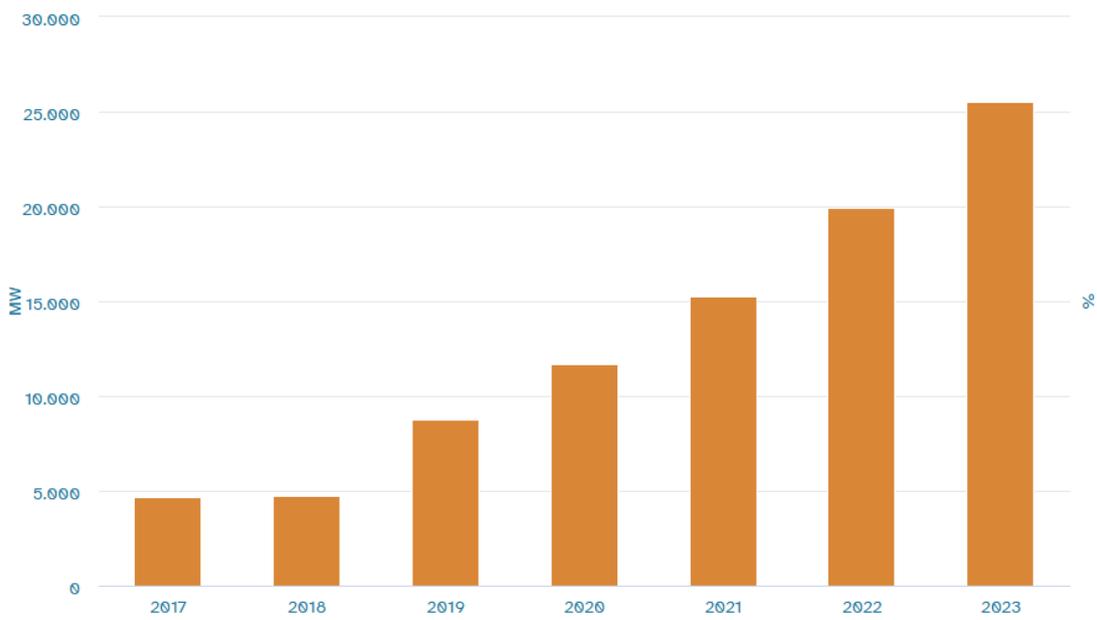


Figura 7 - Evolución anual de la potencia solar fotovoltaica en España. Fuente: [Solar fotovoltaica \(Sol\)\(Potencia\) | Informes del sistema \(sistemaelectrico-ree.es\)](#)

En la Figura 8 se puede observar la potencia solar fotovoltaica de cada comunidad autónoma con respecto a la nacional. Encabeza la tabla Extremadura con el 25,1%, lo que equivale a 6410 MW, mientras que Castilla la Mancha, la cual adelantó a Andalucía durante 2023, la sigue de cerca con el 24% del total. Si añadimos a Andalucía con el 21,1%, solo estas tres comunidades suman más del 70% de la potencia solar fotovoltaica instalada en España. Por otro lado, se encuentran las comunidades autónomas del norte, las cuales destacan por su escasa potencia instalada. Esto se debe a las escasas horas de sol a causa del clima, por lo que son menos eficientes las placas fotovoltaicas instaladas en estas comunidades que en las de más al sur. Destacan negativamente Asturias con 1 MW, siendo la comunidad autónoma con menos potencia instalada (obviando Ceuta y Melilla), seguido de Cantabria con 5 MW [20].

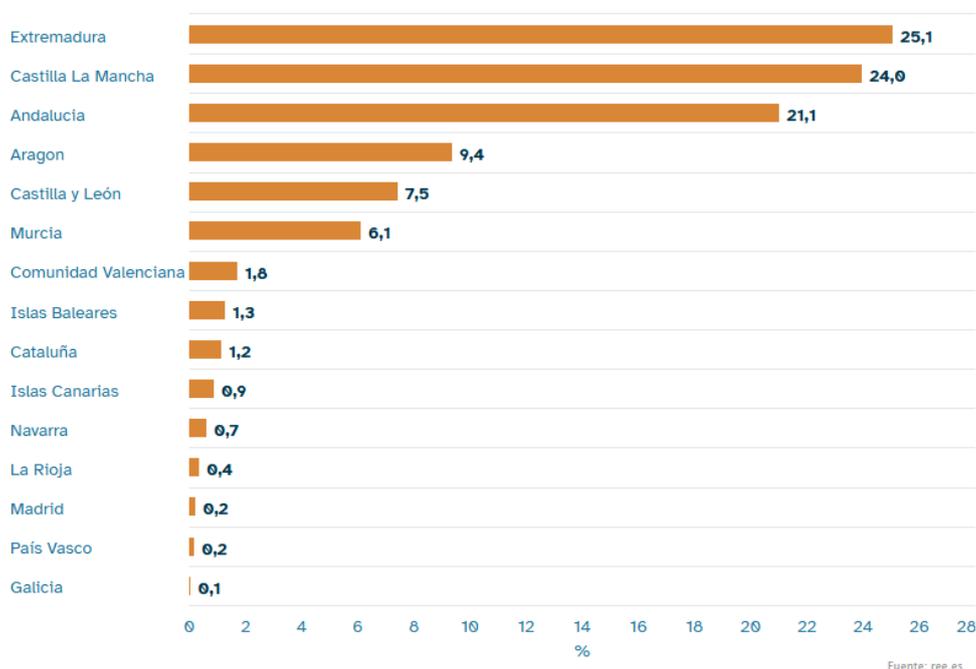


Figura 8 - Potencia solar fotovoltaica de cada comunidad autónoma sobre la potencia solar fotovoltaica nacional. Fuente: [Solar fotovoltaica \(Sol\)\(Potencia\) | Informes del sistema \(sistemaelectrico-ree.es\)](#)

5. Desarrollo de la aplicación

En este apartado se va a explicar el procedimiento que se ha seguido para crear la aplicación, así como su funcionamiento.

El objetivo de la aplicación es ayudar en el proceso de aprendizaje del diseño y dimensionamiento de instalaciones solares fotovoltaicas. Se centra en la selección de un modelo de panel solar fotovoltaico y de un inversor, y en el posterior dimensionamiento del generador fotovoltaico frente al inversor seleccionado, realizando así el dimensionamiento en tensión, corriente y potencia.

La aplicación ha sido desarrollada usando el software “Microsoft Visual Studio”, en lenguaje de programación C# [21].

5.1. Explicación ejercicio

De cara a comprender la utilidad de las funcionalidades implementadas en la aplicación que se ha desarrollado, se va a presentar previamente un ejercicio de dimensionamiento creado para la aplicación, muy similar a los propuestos en la asignatura *Energía y Telecomunicaciones* en el curso académico 2023/24. Como se puede observar en este ejercicio, cuyo enunciado se muestra en la Figura 9, se pide a los alumnos realizar una serie de cálculos básicos asociados al dimensionamiento fotovoltaico, en particular calcular las variaciones en las tensiones de salida para un módulo FV, así como el número máximo y mínimo de paneles y las variaciones en las corrientes y en las potencias de salida. A continuación, se va a relatar de manera resumida cómo debería resolverse este ejercicio, de cara a entender posteriormente mejor las funcionalidades de la aplicación.

Usando el panel y el inversor que el alumno desee (dentro de los disponibles), resuelva el ejercicio apoyándose en la aplicación.

Suponiendo un rango de temperaturas de módulo de:

$$-10^{\circ}\text{C} < T < 70^{\circ}\text{C}$$

- Calcula las variaciones de V_{oc} y V_{mpp} para el rango de temperaturas dado.
- Calcula el número mínimo y máximo de paneles que se pueden conectar en serie a cada una de las entradas del inversor en este caso.
- Calcula las variaciones de I_{sc} .
- Calcula las variaciones de P_{max} .

Eligiendo un número de paneles que esté dentro del rango calculado en el apartado b),

- Usando el criterio de caída de tensión, calcula la sección del cable (DC) a usar en la instalación, suponiendo una caída de tensión máxima del 1,5%. ¿Cuál sería la sección estándar (comercial) que se usaría en la realidad?
- Con ayuda de PVGIS determina la energía generada en un mes tomando la irradiación solar de 2020 como referencia, y utilizando como localización la ETSIIT de la Universidad de Cantabria.

Utilice la aplicación para comprobar sus resultados o, en caso de no saber resolver algún apartado, como guía.

Figura 9 - Enunciado del ejercicio de dimensionamiento creado para la aplicación, similar a los usados en la asignatura "Energía y Telecomunicaciones".

Para la resolución del ejercicio se va a utilizar el panel "Jasolar JAM72S03" y el inversor "Sunny Boy 6000-US".

El primer apartado del ejercicio pide las variaciones de V_{oc} y V_{mp} para el rango de temperaturas de módulo de $[-10^{\circ}\text{C}, 70^{\circ}\text{C}]$.

A continuación, se representan las 4 ecuaciones utilizadas:

$$V_{oc}[-10^{\circ}\text{C}] = V_{oc} + (-10 - 25) * \left(\frac{\text{Coef. } T^{\text{a}} V}{100} * V_{oc} \right)$$

$$Voc[70^{\circ}C] = Voc + (70 - 25) * \left(\frac{Coef. T^a V}{100} * Voc \right)$$

$$Vmp[-10^{\circ}C] = Vmp + (-10 - 25) * \left(\frac{Coef. T^a V}{100} * Voc \right)$$

$$Vmp[70^{\circ}C] = Vmp + (70 - 25) * \left(\frac{Coef. T^a V}{100} * Voc \right)$$

Sustituyendo los valores del panel seleccionado quedaría:

$$Voc[-10^{\circ}C] = 49,17 + (-10 - 25) * \left(\frac{-0,289}{100} * 49,17 \right) = 54,14 V$$

$$Voc[70^{\circ}C] = 49,17 + (70 - 25) * \left(\frac{-0,289}{100} * 49,17 \right) = 42,78 V$$

$$Vmp[-10^{\circ}C] = 40,92 + (-10 - 25) * \left(\frac{-0,289}{100} * 49,17 \right) = 45,89 V$$

$$Vmp[70^{\circ}C] = 40,92 + (70 - 25) * \left(\frac{-0,289}{100} * 49,17 \right) = 34,53 V$$

El apartado b) pide calcular el número máximo de paneles que se puede conectar en serie a cada una de las entradas del inversor. Para ello se utilizan las tensiones mínimas y máximas que pueden tener los paneles, que son la $Vmp[70^{\circ}C]$ y la $Voc[-10^{\circ}C]$ respectivamente, y las tensiones mínimas y máximas que soporta el inversor.

Estas son las ecuaciones utilizadas:

$$Número\ mínimo = \frac{Vmin}{Vmp[70^{\circ}C]}$$

$$Número\ máximo = \frac{Vmax}{Voc[-10^{\circ}C]}$$

Sustituyendo:

$$Número\ mínimo = \frac{250}{34,53} = 7,24$$

$$Número\ máximo = \frac{600}{54,14} = 11,08$$

Por lo tanto, el número mínimo de paneles será 8 y el número máximo será 11.

En el apartado c) se pide calcular las variaciones debido a la temperatura de Isc .

Estas son las ecuaciones:

$$Isc[-10^{\circ}C] = Isc + (-10 - 25) * \left(\frac{Coef. T^a I}{100} * Isc \right)$$

$$I_{sc}[70^{\circ}C] = I_{sc} + (70 - 25) * \left(\frac{Coef. T^a I}{100} * I_{sc} \right)$$

Sustituyendo:

$$I_{sc}[-10^{\circ}C] = 10,34 + (-10 - 25) * \left(\frac{0,051}{100} * 10,34 \right) = 10,16 A$$

$$I_{sc}[70^{\circ}C] = 10,34 + (70 - 25) * \left(\frac{0,051}{100} * 10,34 \right) = 10,58 A$$

El siguiente apartado pide calcular las variaciones debido a la temperatura de la potencia máxima.

Estas son las ecuaciones utilizadas:

$$P_{max}[-10^{\circ}C] = P_{max} + (-10 - 25) * \left(\frac{Coef. T^a P}{100} * P_{max} \right)$$

$$P_{max}[70^{\circ}C] = P_{max} + (70 - 25) * \left(\frac{Coef. T^a P}{100} * P_{max} \right)$$

Sustituyendo:

$$P_{max}[-10^{\circ}C] = 400 + (-10 - 25) * \left(\frac{-0,36}{100} * 400 \right) = 450,4 W$$

$$P_{max}[70^{\circ}C] = 400 + (70 - 25) * \left(\frac{-0,38}{100} * 400 \right) = 335,2 W$$

En el apartado e) se pide calcular la sección estándar del cable a utilizar en una instalación usando el criterio de la caída de tensión. La ecuación usada es la siguiente:

$$S = \frac{2 * L * I}{k * \%}$$

Siendo L (m) la longitud de los cables, I (A) la corriente I_{mp} , k ($S \cdot m^{-1}$) la conductividad generalmente del cobre y % de caída de tensión (V) admisible sobre la tensión en el cable.

La longitud se calcula de la siguiente manera:

$$L = \frac{n^{\circ} \text{ paneles} * \text{alto} * 1,2}{1000}$$

“Alto” se refiere al lado más largo del panel en mm, mientras que el 1,2 se añade como sobredimensionamiento.

El % de caída de tensión se calcula de la siguiente manera:

$$\% \text{ caída de tensión} = \frac{1,5 * V_{mp} * n^{\circ} \text{ paneles}}{100}$$

El 1,5 hace referencia al criterio de la caída de tensión, que establece que la sección del conductor debe ser tal que asegure que la caída de tensión no sea superior al 1,5% [22].

Escogiendo 10 paneles que midan 2000 mm de alto, la longitud de los cables sería de 24 m. Si los paneles tienen V_{mp} de 40,8 V, la caída de tensión sería de 6,12. Con estos datos, y sabiendo que la I_{mp} es de 9,69 A y que la k del cobre es 56, se calcula la sección del cable:

$$S = \frac{2 * 24 * 9,69}{56 * 6,12} = 1,37 \text{ mm}^2$$

Por último, el apartado f) pide determinar la energía generada en un mes, utilizando la aplicación “PVGIS”. Para la explicación se va a usar la localización de la ETSIIT en la Universidad de Cantabria. En la aplicación se calcula la energía generada en cada mes del año, así que aquí se explicará de esa manera, aunque PVGIS proporciona también el dato anual.

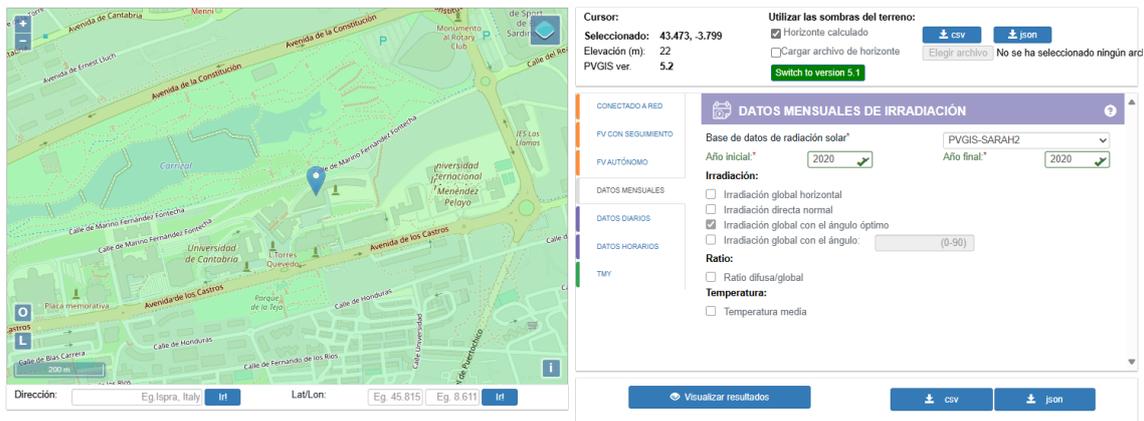


Figura 10 – Uso de la aplicación PVGIS para el ejercicio propuesto. Fuente: [*JRC Photovoltaic Geographical Information System \(PVGIS\) - European Commission \(europa.eu\)*](http://JRC Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS) - European Commission (europa.eu))

Como se observa en la Figura 10, se va al apartado llamado “Datos Mensuales”, se selecciona un año (2020 en este caso) y la opción “Irradiación global con el ángulo óptimo”. Una vez configurado PVGIS, se visualizan los resultados.

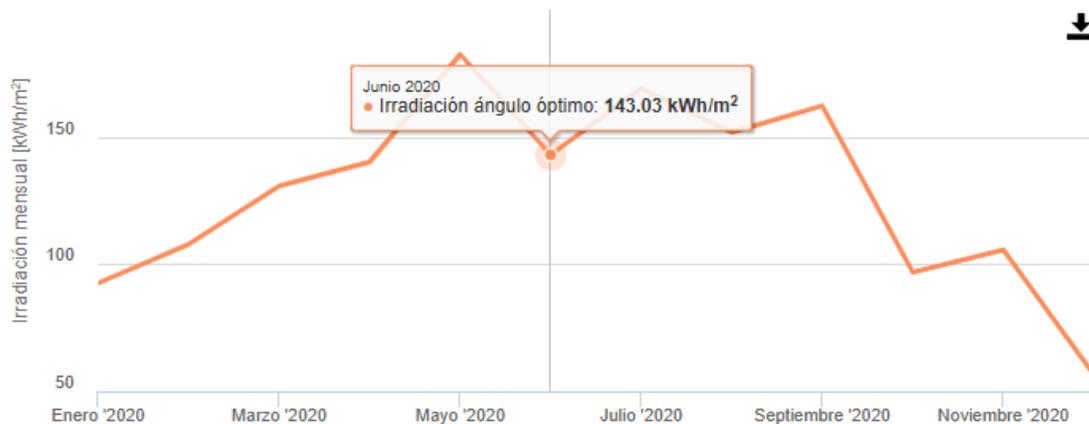


Figura 11 - Resultados irradiación mensual en PVGIS. Fuente: [*JRC Photovoltaic Geographical Information System \(PVGIS\) - European Commission \(europa.eu\)*](http://JRC Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS) - European Commission (europa.eu))

La aplicación muestra una gráfica con los valores de la irradiación en la Escuela durante cada mes de 2020. El siguiente paso es convertir el valor de la irradiación en Horas Solar Pico. Se va a utilizar el valor de enero: 92,49 kWh/m². Para convertirlo en HSP se utiliza la siguiente operación:

$$\frac{92,49 \text{ kWh/m}^2}{1000 \text{ W/m}^2} = 92,49 \text{ HSP}$$

Finalmente, para calcular la generación, se necesita saber la potencia del panel y el número de paneles. Por ejemplo, se escoge 5 paneles con 400 W.

Se sigue la siguiente ecuación:

$$\text{Energía Generada} = \text{HSP} * P_{\text{max}} * n^{\circ} \text{paneles} = 92,49 * 400 * 5 = 184,98 \text{ kWh}$$

En la aplicación se hace este cálculo para todos los meses del año y se muestra en una gráfica.

5.2. Base de datos

La primera funcionalidad de la aplicación (que se explicará más adelante) es la selección del panel y del inversor que se quiere usar para realizar los cálculos. Para ello, se decidió introducir todos los datos que se usan en las operaciones en una base de datos en Microsoft Access. La principal ventaja de usar una base de datos respecto a introducir los datos directamente en el código de la aplicación es la sencillez. Hace que el código sea mucho más compacto, y, por lo tanto, más fácil de manejar. También facilita los cambios de paneles o de inversores en caso de que se quiera, en un futuro, eliminar, añadir o modificar algún panel. Dentro de la base de datos, se separaron los datos en dos tablas: una de paneles y otra de inversores.

Los paneles solares fotovoltaicos seleccionados son los siguientes:

- Canadian Solar BiKu MODULE (350PB-AG) [23]
- Tallmax TSM-DE14 [24]
- Jasolar JAM72S03 [25]
- Jinko solar JKM315P [26]

De cada panel, se seleccionaron los datos de la Figura 12.

Id	NOMBRE	ALTO	ANCHO	VOC	VMP
1	Canadian Solar BiKu	2022	992	46,6	39,2
2	Tallmax TSM-DE14	2000	992	50,1	40,8
3	Jasolar JAM72S03	2000	991	49,17	40,92
4	Jinko solar JKM315P	1956	992	46,2	37,2

COEF T	POTENCIA	COEF T P	COEF T I	ISC	IMP
-0,28	350	-0,36	0,05	9,51	8,94
-0,29	395	-0,37	0,05	10,13	9,69
-0,289	400	-0,36	0,051	10,34	9,78
-0,31	315	-0,41	0,06	9,01	8,48

Figura 12 - Tabla de paneles dentro de la base de datos.

Los inversores elegidos son los siguientes:

- Sunny Boy 6000-US [27]
- Huawei SUN2000 -5KTL-L1 [28]

De cada inversor, se seleccionaron los datos de la Figura 13.

Id	NOMBRE	MIN V	MAX V
1	Sunny Boy 6000-US	250	600
2	Huawei SUN2000 -5KTL-L1	100	600

Figura 13 – Tabla de inversores dentro de la base de datos.

5.3. Funcionamiento de la aplicación

Nada más iniciar la aplicación se entra en la pantalla principal (Figura 14).

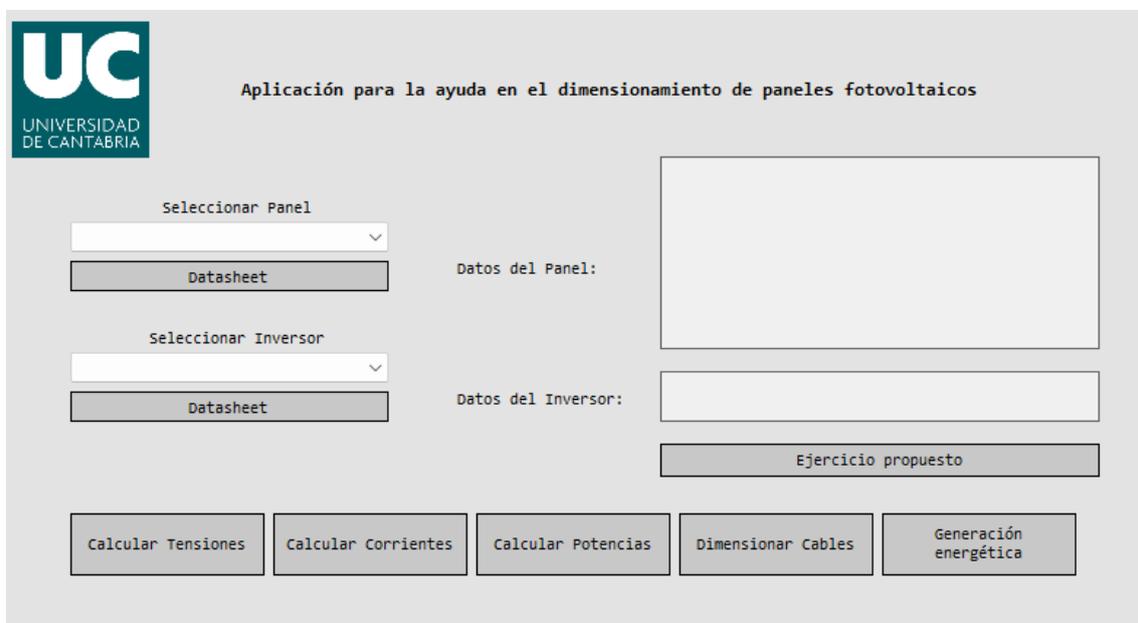


Figura 14 - Pantalla de inicio de la aplicación.

En la parte inferior se puede observar 5 botones, cada uno de ellos representa cada tipo de cálculo explicado en el apartado anterior. Además, se ha incorporado un botón llamado “Ejercicio propuesto” que abre el ejercicio explicado anteriormente.

En la parte izquierda se encuentran los seleccionadores de panel e inversor.

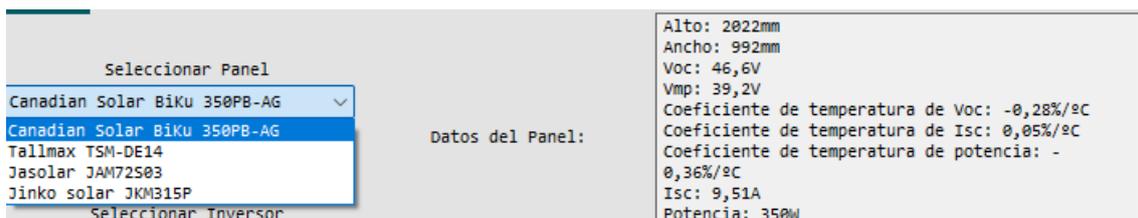


Figura 15 – Seleccionador y datos del panel.

Si se pincha en el seleccionador, se despliegan las opciones de paneles a elegir. Una vez elegido, se muestran sus datos en el recuadro situado a la derecha. Además, como se observa en la Figura 14, una vez seleccionado el panel se puede abrir su *datasheet* mediante un botón.

Lo mismo ocurre con los inversores.

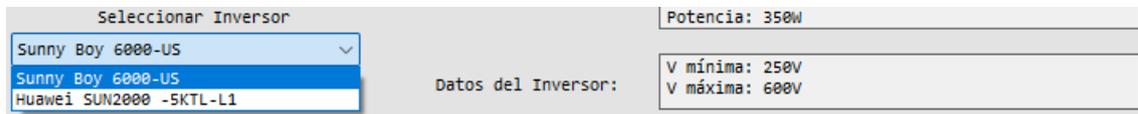


Figura 16 - Seleccionador y datos del inversor.

Para acceder a la base de datos se crea el código de la Figura 17. En él, se crea una conexión entre la aplicación y la tabla que se desee dentro de la base de datos, en este caso la de los paneles, y vuelca los datos en las variables que se van a usar.

```
1 referencia
private void cmb_paneles_SelectedIndexChanged(object sender, EventArgs e)
{
    connection.Open();

    panel = cmb_paneles.SelectedIndex;
    string query = "SELECT * FROM Paneles WHERE ID = @ID";
    OleDbCommand command = new OleDbCommand(query, connection);
    command.Parameters.AddWithValue("@ID", panel + 1);

    OleDbDataReader reader = command.ExecuteReader();

    reader.Read();

    nombre_pan = reader.GetString(reader.GetOrdinal("NOMBRE"));
    alto = reader.GetDouble(reader.GetOrdinal("ALTO"));
    ancho = reader.GetDouble(reader.GetOrdinal("ANCHO"));
    Voc = reader.GetDouble(reader.GetOrdinal("VOC"));
    coef_t = reader.GetDouble(reader.GetOrdinal("COEF T"));
    Vmp = reader.GetDouble(reader.GetOrdinal("VMP"));
    coef_t_p = reader.GetDouble(reader.GetOrdinal("COEF T P"));
    coef_t_i = reader.GetDouble(reader.GetOrdinal("COEF T I"));
    Isc = reader.GetDouble(reader.GetOrdinal("ISC"));
    potencia = reader.GetDouble(reader.GetOrdinal("POTENCIA"));
    Imp = reader.GetDouble(reader.GetOrdinal("IMP"));

    reader.Close();

    if (connection.State == ConnectionState.Open)
    {
        connection.Close();
    }
}
```

Figura 17 - Código para acceder a la tabla de paneles dentro de la base de datos.

Si se clicla en el botón “*Calcular Tensiones*” (Figura 14), se abre una pantalla donde se realizan los cálculos relacionados con las tensiones.

Variaciones debido a la temperatura de Voc y Vmp Cerrar Ventana

Introduce los valores con 2 decimales y con "coma"

Voc [-10°C] Incorrecto. La solución correcta es 55,19 V

Voc [70°C] Incorrecto. La solución correcta es 43,56 V

Vmp [-10°C] ¡Correcto!

Vmp [70°C] Incorrecto. La solución correcta es 34,26 V

Número mínimo y máximo de paneles que se pueden conectar en serie a cada entrada del inversor partir del rango de tensiones de salida del módulo

Número mínimo: La solución correcta es 3

Número máximo: La solución correcta es 10

Figura 18 - Pantalla de los cálculos de tensiones.

En la mitad superior de la pantalla se calcula las variaciones de V_{oc} y V_{mp} para las temperaturas de -10°C y 70°C .

En la mitad inferior se calcula el número mínimo y máximo de paneles que se pueden conectar en serie a cada entrada del inversor a partir del rango de tensiones de salida del módulo.

En esta pantalla (Figura 18), hay 4 tipos de botones diferentes. El botón de cerrar ventana es común a todas las pestañas que no son la de inicio, y lo que hace, como su propio nombre indica, es cerrar la ventana. Esto se debe a que estas se abren en pantallas independientes.

El siguiente botón es el de comprobar, que se está usando en los cálculos de las tensiones. Tiene 3 funcionalidades: si el usuario introduce algo que no sea un número o no esté en el formato correcto, muestra el mensaje “*El valor no es válido*”, si el valor que introduce el usuario es correcto, muestra el mensaje “*¡Correcto!*” en color verde, y si el valor no es correcto, muestra el mensaje “*Incorrecto. La solución correcta es xxxx V*” en color rojo.

El botón “*Mostrar Solución*” se está usando en el cálculo de número mínimo y máximo de paneles. Independientemente de si el usuario ha introducido un valor o no, la aplicación muestra el mensaje “*La solución correcta es xxxx*”.

Por último, el botón “*¿Cómo se calcula?*” abre otra pantalla independiente donde se explica los cálculos hechos.

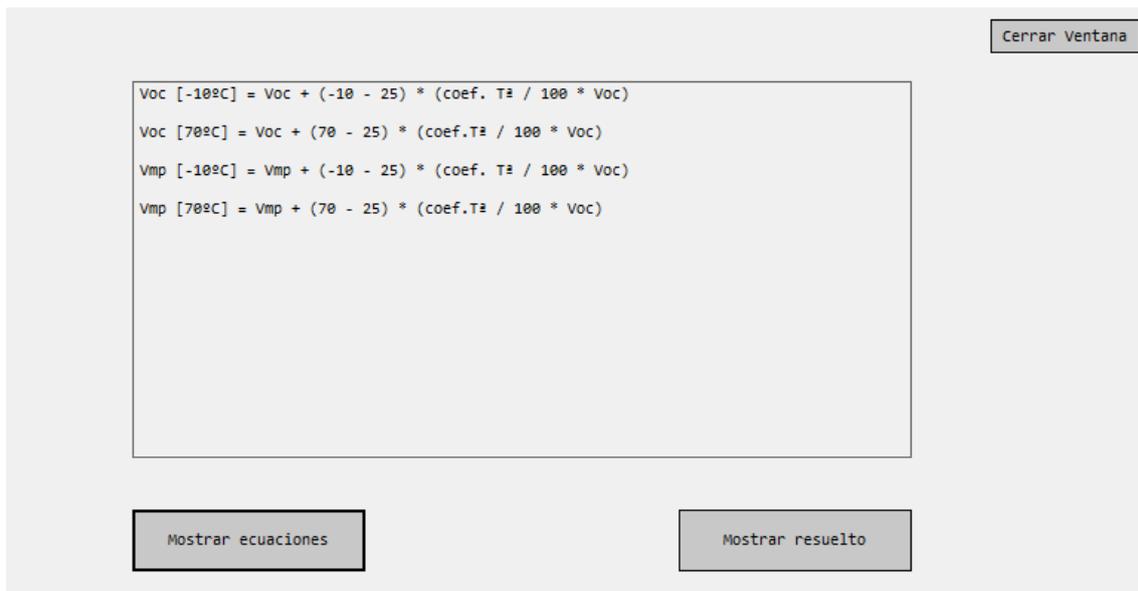


Figura 19 – Pantalla de la explicación de los cálculos de las tensiones.

Como se ve en la Figura 19, esta pantalla tiene 2 botones significativos. “Mostrar ecuaciones” enseña las fórmulas matemáticas usadas en los cálculos. “Mostrar resuelto” sustituye los valores de cada variable y resuelve las operaciones. Se puede observar su uso en la Figura 20, pantalla que aparece al pulsar el botón llamado “¿Cómo se calcula?” de la parte del cálculo de número mínimo y máximo de paneles.

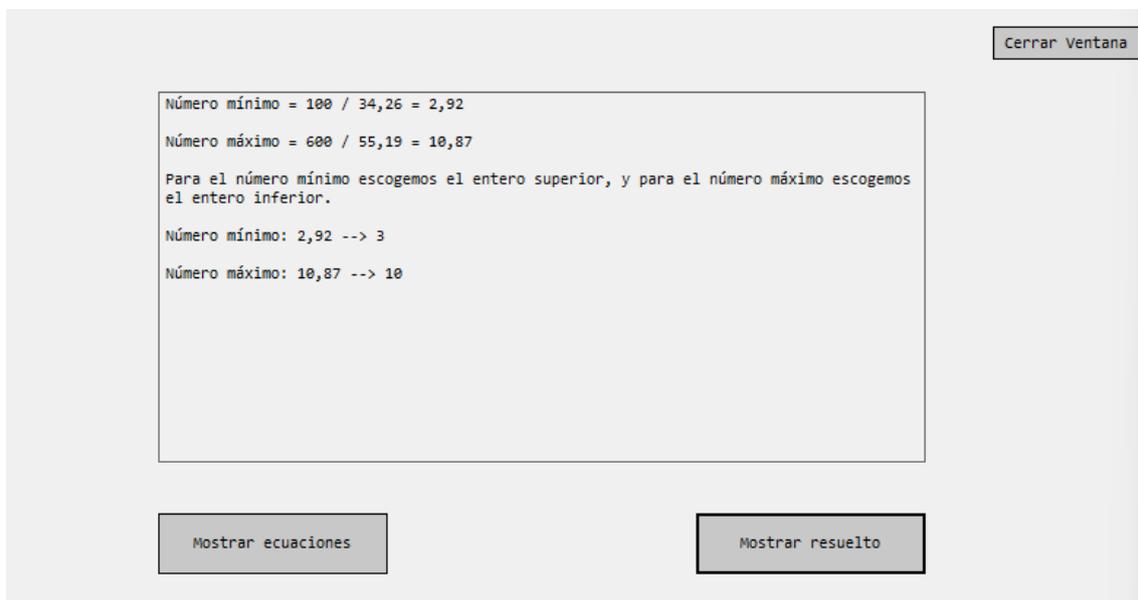


Figura 20 – Pantalla de la explicación de los cálculos de número mínimo y máximo de paneles

Si se vuelve a la pantalla de inicio y se pulsa el botón “Calcular Corrientes”, se abre la pantalla de la Figura 21.

Variaciones debido a la temperatura de Isc Cerrar Ventana

Introduce los valores con 2 decimales y con "coma"

Isc [-10°C] Incorrecto. La solución correcta es 9,09 A

Isc [70°C] ¡Correcto!

Figura 21 - Pantalla de los cálculos de las corrientes.

Las funcionalidades de los botones son las mismas que en la pantalla de tensiones. Al igual que antes, pulsando en “¿Cómo se calcula?” se abre otra pantalla con los cálculos resueltos.

Cerrar Ventana

Isc [-10°C] = $9,01 + (-10 + 25) * (0,06 / 100 * 9,01) = 9,09A$

Isc [70°C] = $9,01 + (70 + 25) * (0,06 / 100 * 9,01) = 9,52A$

Figura 22- Pantalla de la explicación de los cálculos de las corrientes.

En esta ocasión, en la Figura 22 se muestra el uso del botón “Mostrar resuelto”, donde las variables son sustituidas por sus valores y se resuelven las operaciones.

Volviendo a la pantalla de inicio, se pulsa el botón “Calcular potencias”.

Variaciones debido a la temperatura de Pmax

[Cerrar Ventana](#)

Introduce los valores con 2 decimales y con "coma"

Pmax [-10°C] La solución correcta es 295,63 W

Pmax [70°C] La solución correcta es 192,31 W

[Comprobar](#)
[Mostrar Solución](#)
[¿Cómo se calcula?](#)

Figura 23 – Pantalla de los cálculos de potencias.

Al igual que en los dos casos anteriores, las funcionalidades se repiten.

[Cerrar Ventana](#)

Pmax [-10°C] = $315 + (-10 + 25) * (-0,41 / 100 * 315) = 295,63W$

Pmax [70°C] = $315 + (70 + 25) * (-0,41 / 100 * 315) = 192,31W$

[Mostrar ecuaciones](#)
[Mostrar resuelto](#)

Figura 24 - Pantalla de la explicación de los cálculos de potencias.

El siguiente botón en la pantalla de inicio es el de “Dimensionar Cables”.

Sección del cable usando el criterio de caída de tensión Cerrar Ventana

Introduce el número de paneles:

Comprueba tu solución introduciendo el valor con dos decimales:

Sección: ¡Correcto!

Figura 25 - Pantalla de dimensionamiento de cables.

Como se observa en la Figura 25, la aplicación pide al usuario que introduzca el número de paneles. El alumno puede introducir el número mínimo o máximo de paneles que se han calculado en el apartado de tensiones, o un número intermedio.

A parte de los 3 botones que ya han sido explicado anteriormente, en esta pantalla se agrega uno más. Se trata del botón “Tabla de secciones”, cuya funcionalidad es abrir en otra pantalla una tabla con las secciones para cables de cobre (Figura 27).

Cerrar Ventana

Longitud del cable (m) = nº paneles * alto * 1.2 / 1000

Siendo `alto` el lado más largo del panel en mm
El 1.2 representa un sobredimensionamiento del 20%

% caída de tensión = 1.5 * Vmp * nº paneles / 100

Sección (mm) = (2 * Longitud del cable * Imp) / (k * % caída de tensión)

Siendo k la conductividad del cobre (56)

Figura 26 - Pantalla de explicaciones de los cálculos de la sección.

Tabla de secciones para cables de cobre Cerrar Ventana

Cobre	mm ²	2	3	4	5a	5b	6a	6b	7a	7b	8a	8b	9a	9b	10a	10b	11	12	13
	1,5	11	11,5	12,5	13,5	14	14,5	15,5	16	16,5	17	17,5	19	20	20	20	21	23	25
2,5	15	15,5	17	18	19	20	20	21	22	23	24	26	27	26	28	30	32	34	
4	20	20	22	24	25	26	28	29	30	31	32	34	36	36	38	40	44	46	
6	25	26	29	31	32	34	36	37	39	40	41	44	46	46	49	52	57	59	
10	33	36	40	43	45	46	49	52	54	54	57	60	63	65	68	72	78	82	
16	45	48	53	59	61	63	66	69	72	73	77	81	85	87	91	97	104	110	
25	59	63	69	77	80	82	86	87	91	95	100	103	108	110	115	122	135	146	
35	72	77	85	95	100	101	106	109	114	119	124	127	133	137	143	153	168	182	
50	86	94	103	116	121	122	128	133	139	145	151	155	162	167	174	188	204	220	
70	109	118	130	148	155	155	162	170	178	185	193	199	208	214	223	243	262	282	
95	131	143	156	180	188	187	196	207	216	224	234	241	252	259	271	298	320	343	
120	150	164	179	207	217	216	226	240	251	260	272	280	293	301	314	350	373	397	
150	171	188	196	224	236	247	259	276	289	299	313	322	337	343	359	401	430	458	
185	194	213	222	256	268	281	294	314	329	341	356	368	385	391	409	460	493	523	
240	227	249	258	299	315	330	345	368	385	401	419	435	455	468	489	545	583	617	
300	259	285	295	343	360	398	396	432	414	461	468	516	524	547	549	630	674	713	

Figura 27 - Tabla de secciones para cables de cobre.

El último botón en la pantalla de inicio se llama “Generación Energética”.

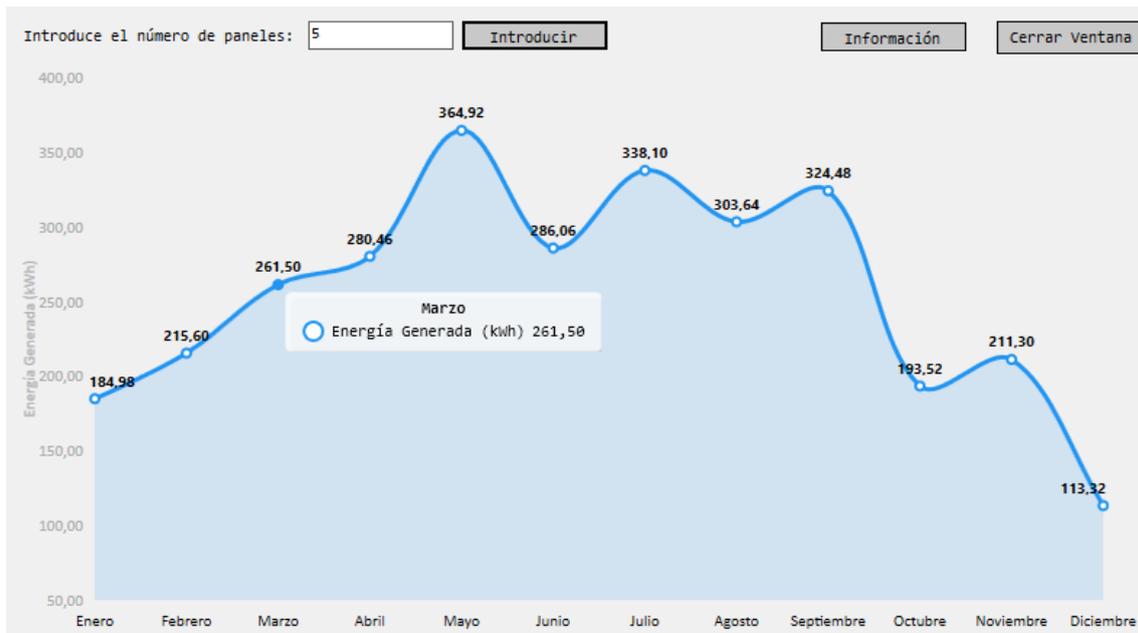


Figura 28 - Pantalla de generación energética.

Al igual que en el apartado de dimensionamiento de cables, la aplicación vuelve a pedir al usuario el número de paneles. Una vez se pulsa el botón “Introducir”, se genera una gráfica con los valores de energía generada en kWh para cada mes del año. Pulsando en el botón “Información”, se abre otra pantalla donde, además de enseñar las ecuaciones y mostrar los cálculos resueltos, explica cómo obtener los datos de irradiancia de PVGIS (Figura 28).

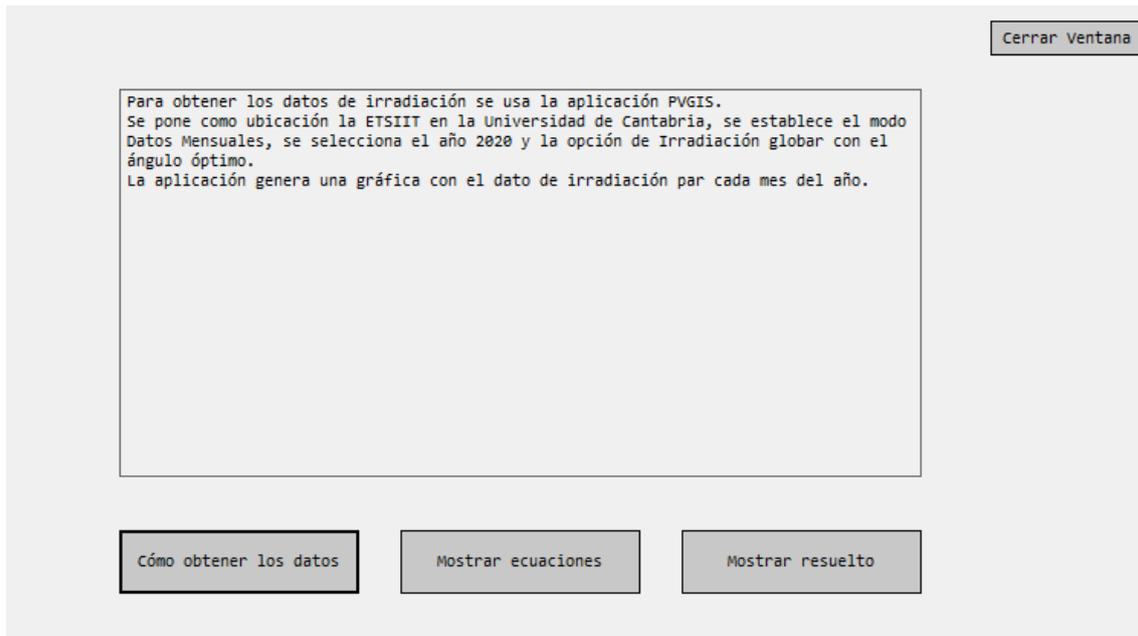


Figura 29 - Pantalla explicativa de la obtención de los datos de irradiación.

6. Conclusiones y líneas futuras

6.1. Conclusiones

En conclusión, este Trabajo de Fin de Grado ha cumplido el objetivo propuesto. Se ha creado una aplicación para que los alumnos entiendan con más facilidad cómo resolver los cálculos más comunes en el dimensionamiento de instalaciones fotovoltaicas. A través de ella, se pueden calcular las variaciones por temperatura de V_{oc} , V_{mp} , I_{sc} y P_{max} , la longitud y sección de los cables a utilizar en una instalación, y una estimación de la generación energética en base a la irradiancia. Esto no solo ahorra tiempo a los estudiantes, sino que también les ayuda a comprender mejor el proceso detrás del diseño de una instalación solar fotovoltaica. Además, la herramienta proporciona una interfaz intuitiva que permite a los estudiantes obtener resultados rápidamente.

A nivel personal ha sido una experiencia muy positiva. He utilizado dos softwares (Microsoft Visual Studio y Microsoft Access) y un lenguaje de programación (C#) totalmente nuevos para mí, lo cual cumple mi objetivo personal desde el principio: ampliar mis competencias en programación y aprender a utilizarla a un nivel más práctico. Inicialmente se me hizo complicado comprender el funcionamiento del Visual Studio, ya que es una manera de programar que no tiene relación con lo que había hecho anteriormente, pero una vez entendí lo básico, el proyecto se me hizo mucho más sencillo.

6.2. Líneas futuras

Dada la naturaleza del proyecto, las funcionalidades de la aplicación se pueden ampliar a cualquier tipo de ejercicio de dimensionamiento fotovoltaico que se quiera plantear en la asignatura. Por ejemplo, se podría introducir el máximo número de paneles que entran en un tejado, seleccionando el área del tejado mediante un mapa incorporado en la aplicación. Este mapa también podría utilizarse para el apartado de generación energética, así se podría usar cualquier ubicación, no solo la ETSIT. Como la generación utiliza la irradiación, y esta varía dependiendo de la ubicación, habría que utilizar una API para acceder a los datos de PVGIS. Para el dimensionamiento del cableado, se podría incluir los otros dos criterios, el térmico y el de corriente de cortocircuito. Otra funcionalidad interesante podría ser coger datos de manera dinámica de bases de datos meteorológicas.

Al tratarse de una aplicación de escritorio de Windows, puede ser limitante el hecho de tener un ordenador, por lo que sería interesante adaptar la aplicación para dispositivos móviles.

7. Bibliografía

- [1] “Tipos de energías renovables y por qué son importantes | Repsol”. REPSOL. Disponible: <https://www.repsol.com/es/conocenos/que-hacemos/desarrollo-energias-renovables/tipos-energia-renovable/index.cshtml>
- [2] “La importancia de las energías renovables y sus características”. EDP Blog. Disponible: <https://www.edpenergia.es/es/blog/sostenibilidad/importancia-energias-renovables/>
- [3] “Las renovables aceleran su competitividad, pese a la inflación”. IRENA - International Renewable Energy Agency. Disponible: <https://www.irena.org/News/pressreleases/2023/Aug/Renewables-Competitiveness-Accelerates-Despite-Cost-Inflation-ES>
- [4] “¿Qué beneficios tiene la energía eólica? | ACCIONA | Business as unusual”. ACCIONA. Disponible: <https://www.acciona.com/es/energias-renovables/energia-eolica/>
- [5] “¿Qué es la energía solar térmica? | Repsol”. REPSOL. Disponible: <https://www.repsol.es/particulares/asesoramiento-consumo/energia-solar-termica/>
- [6] “España planea la planta undimotriz más grande de la historia en esta región: 2 MW y energía gratis para 20 años”. ECOTicias. Disponible: <https://www.ecoticias.com/energias-renovables/planta-undimotriz-espana>
- [7] “Generación total de energía eléctrica | Informes del sistema”. Home | Informes del sistema. Disponible: <https://www.sistemaelectrico-ree.es/informe-del-sistema-electrico/generacion/generacion-de-energia-electrica/generacion-total-de-energia-electrica>
- [8] “España se lanza a por la energía geotérmica a gran escala con varios estudios en Canarias y... ¡Madrid!” El Periódico de la Energía. Disponible: <https://elperiodicodelaenergia.com/espana-se-lanza-a-por-la-energia-geotermica-a-gran-escala-con-varios-estudios-en-canarias-y-madrid/>
- [9] “El consumo de biomasa en España | Formación de ingenieros”. TECPA. Disponible: <https://www.tecpa.es/consumo-biomasa/>
- [10] “Placas solares para casas en el campo”. Instalación de placas solares. Solar360. Disponible: <https://www.solar360.es/blog/autoconsumo/energia-solar-en-zonas-rurales>
- [11] “¿Qué Tipos de Placas Solares Existen y para qué se Utilizan? - Plenitude”. Disponible: <https://eniplenitude.es/blog/autoconsumo/tipos-placas-solares/>

- [12] “Tipos de paneles solares y cómo funciona cada uno”. REPSOL. Disponible: [Tipos de paneles solares y cómo funciona cada uno | Repsol](#)
- [13] “¿En cuánto tiempo se recupera la inversión de paneles solares? | Geesol”. Disponible: <https://www.geesol.com/en-cuanto-tiempo-se-recupera-la-inversion-de-paneles-solares/>
- [14] “Vida útil de las placas solares”. EDP Blog. Disponible: <https://www.edpenergia.es/es/blog/energia-fotovoltaica/vida-util-placas-solares/>
- [15] Apuntes Energía Solar Fotovoltaica: Fundamentos. Jesús Mirapeix.
- [16] “Executive summary – Renewables 2023 - Analysis” – IEA. Disponible: [Executive summary – Renewables 2023 – Analysis - IEA](#)
- [17] “PVPS Annual Report 2023” – Photovoltaic Power Systems Programme. Disponible: [PVPS Annual Report 2023 v4-6.pdf \(iea-pvps.org\)](#)
- [18] “En 2023 se instalaron en el mundo 345,5 GW fotovoltaicos, según IRENA” - pv magazine España. Disponible: <https://www.pv-magazine.es/2024/03/27/en-2023-se-instalaron-en-el-mundo-3455-gw-fotovoltaicos-segun-irena/#:~:text=Redes%20%20Integración-,En%202023%20se%20instalaron%20en%20el%20mundo%20345,5%20GW,eléctrico%20con%20473%20GW%20desplegados.>
- [19] “España pone en servicio en 2023 la mayor cifra de potencia instalada solar fotovoltaica de su historia” – Red Eléctrica. Disponible: [España pone en servicio en 2023 la mayor cifra de potencia instalada solar fotovoltaica de su historia | Red Eléctrica \(ree.es\)](#)
- [20] “Potencia instalada, solar fotovoltaica” – Red Eléctrica. Disponible: [Solar fotovoltaica \(Sol\)\(Potencia\) | Informes del sistema \(sistemaelectrico-ree.es\)](#)
- [21] “Visual Studio: IDE y Editor de código para desarrolladores de software y Teams” Visual Studio. Disponible: <https://visualstudio.microsoft.com/es/>
- [22] Apuntes Energía Solar Fotovoltaica: Fundamentos. Jesús Mirapeix.
- [23] “Datasheet Canadian Solar BiKu MODULE (350PB-AG)” – Canadian Solar. Disponible: [Canadian Solar-Datasheet- BiKu CS3U-PB-AG High Efficiency \(1000V&1500V\) EN \(canadiansolar.com\)](#)
- [24] “Datasheet Tallmax TSM-DE14” – Disponible: [DEG5C.07\(II\)_V3 \(trinasolar.com\)](#)
- [25] “Datasheet Jasolar JAM72S03” – Disponible: [JAM72S03 380-400 PR \(d3g1qce46u5dao.cloudfront.net\)](#)
- [26] “Datasheet Jinko solar JKM315P” – Disponible: [panel solar jinko 72 celdas 295-315 w \(paneles-solares.co\)](#)

[27] “Datasheet Sunny Boy 6000-US” – Disponible: [SUNNY BOY 5000-US/6000-US/7000-US/8000-US - Versatile performer with UL Certification](#)

[28] “Datasheet Huawei SUN2000 -5KTL-L1” – Disponible: [SUN2000-2/3/3.68/4/4.6/5/6KTL-L1 \(autosolar.es\)](#)