



UNIVERSIDAD DE JAÉN

Centro de Estudios de Postgrado

Trabajo Fin de Máster

**REVISIÓN DE HERRAMIENTAS DE
AYUDA AL CALCULO DE VIABILIDAD,
DISEÑO Y SIMULACIÓN DE SISTEMAS
FOTOVOLTAICOS**

Alumna: **GARCÍA VILLAR, ARANCHA**

Tutor/a: **D. Juan D. Aguilar Peña**

Dpto: **Ingeniería Electrónica y Automática**

SEPTIEMBRE, 2020

INDICE

Centro de Estudios de Postgrado.....	1
CAPITULO 1: INTRODUCCION	10
1.1.- ANTECEDENTES	16
1.2.- JUSTIFICACIÓN	19
1.3.- OBJETIVOS	20
CAPITULO 2: FUNDAMENTOS Y MODELOS	22
CAPITULO 3: REVISION DE SOFTWARE Y ESTADO DEL ARTE	37
CAPITULO 4: CLASIFICACION DE SOFTWARES	41
CAPITULO 5: DESCRIPCION DE HERRAMIENTAS.....	45
CAPITULO 6: HERRAMIENTAS DE CARÁCTER DOCENTE.....	65
CAPITULO 7: CONCLUSIONES	81
ANEXO 1: FICHAS TÉCNICAS	85
Referencias	87

TABLA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1.- Segmentación de las Instalaciones Fotovoltaicas.....	11
Ilustración 2.- Capacidad Global Solar PV y Adiciones Anuales, 2007-2017	13
Ilustración 3.- Inversión anual regional en capacidad solar fotovoltaica.....	14
Ilustración 4.- Circuito equivalente del modelo del comportamiento de una célula fotovoltaica	23
Ilustración 5.- Curva característica V-I.	24
Ilustración 6.- Características de celda fotovoltaica y curvas de potencia para diferentes Rs....	25
Ilustración 7.- Características de la célula fotovoltaica y curvas de potencia en variación de Rsh.	26
Ilustración 8.- Curvas I-V para distintas irradiancias.....	29
Ilustración 9.- Curvas I-V para distintas Temperaturas.....	29
Ilustración 10.- Curvas de potencia del módulo fotovoltaico y curvas dP/dV para una variación de radiación.....	30
Ilustración 11.- Criterios de clasificación de software según Lalwani, Mahendra [15]	38
Ilustración 12.- Pantalla de Inicio Retscreen	46
Ilustración 13.- Estimaciones de generación de energía generadas junto con el análisis financiero.	47
Ilustración 14.- Selección de parámetros en Pvsyst.	48
Ilustración 15.- Datos de entrada de PVWATTS.	50
Ilustración 16.- Mapa de PWatts.	51
Ilustración 17.- Estimación de la Irradiación en PVSol.....	52
Ilustración 18.- Representación de sombras en PVSol.....	53
Ilustración 19.- Carga eléctrica del sistema fotovoltaico junto con datos climáticos.....	54
Ilustración 20.- Ventana de Simulación de Homer.	55
Ilustración 21.- Interfaz de diseño con vista esquemática	56
Ilustración 22.- Informe de Simulación Homer.....	57
Ilustración 23.- Página Principal Helioscope.....	58
Ilustración 24.- Simulación y diseño con HelioScope.....	59
Ilustración 25.- Función interactiva para ubicar ubicación	60
Ilustración 26.- datos de radiación solar de la ubicación seleccionada	61
Ilustración 27. Menú de inicio de Calensoft.....	66
Ilustración 28.- Pantalla de Introducción de datos de Calensoft.....	67
Ilustración 29.- Instalación fotovoltaica	68
Ilustración 30.- Instalación Eólica	69
Ilustración 31.- Instalación mixta.....	69
Ilustración 32.- Tabla Inicio Orientsol	70
Ilustración 33.- Datos de radiación Global Diaria	71
Ilustración 34.- Página de Inicio PVGIS.....	72
Ilustración 35.- Herramientas proporcionadas por PVGIS	73
Ilustración 36.- Ventana de SFV con seguimiento en PVGIS.	74
Ilustración 37.- Pantalla de parámetros de un sistema autónomo	75
Ilustración 38.- Datos mensuales irradiación en PVGIS	75
Ilustración 39.- Datos Promedio Diarios de Irradiancia.	76
Ilustración 40.- Salidas de cálculo: Gráfico de producción de energía Fotovoltaica por mes.	77
Ilustración 41- PV Excel Jaén 3.0.....	78
Ilustración 42.- Base de datos de Provincias Españolas.....	80

RESUMEN

Es interesante disponer de herramientas de ayuda al diseño y evaluación de instalaciones de energía solar fotovoltaica aplicados a la docencia de esta materia en distintos niveles de la enseñanza.

En la actualidad existen distintos recursos que se podrían aprovechar y por tanto es necesario estudiar y analizar que herramientas tenemos a nuestra disposición tanto para profesionales como para docentes y sobre todo saber cuál es la más idónea de aplicación según nuestras necesidades. Este documento se centra en la actualización de las herramientas que hay para el cálculo, dimensionamiento y simulación de los sistemas fotovoltaicos. Junto con la actualización y desarrollo de las herramientas se establece una tabla comparativa entre ellas.

PALABRAS CLAVE

Energía Solar Fotovoltaica, software didáctico solar

ABSTRACT

It is interesting to have tools to help the design and evaluation of solar photovoltaic energy installations applied to the teaching of this subject at different levels of teaching.

At present, there are different resources that could be used and therefore it is necessary to study and analyze what tools we have at our disposal for both professionals and teachers and above all know which is the most suitable application according to our needs. This document focuses on updating the tools available for the calculation, sizing and simulation of photovoltaic systems. Along with updating and developing the tools, a comparative table is established between them.

KEY WORDS

Solar Engineering, Software Tools

CAPITULO 1: INTRODUCCION

La Rápida reducción de los recursos de combustibles fósiles y creciente evidencia de fenómenos de calentamiento global han causado la necesidad de la búsqueda urgente de fuentes de energía alternativas. En todos los estudios se han demostrado que las energías renovables tienen un gran potencial y puede utilizarse para satisfacer la demanda energética mundial [1] .

La fotovoltaica en la Unión Europea ha crecido significativamente. En 2019 hubo un crecimiento del 104% de GW instalados con respecto a 2018, estos fueron unos de los crecimientos más significativos desde el 2010. Las previsiones apuntaban a un crecimiento antes de la irrupción de la covid-19. Se estimaban incrementos de capacidad anual entre 20-30 GW en adelante hasta 2023. Estas predicciones se entienden que su tendencia tiene que ser a largo plazo, porque no se tuvo en cuenta la ralentización en la economía que ha podido suponer por la covid-19. [2]

Gracias a la transición de apoyo de las energías renovables en formas de tarifas se están viendo acelerados los cambios en los mercados eléctricos junto con la reducción de precios en los proyectos, para que crezcan en competitividad. En el año 2018 [3] se firmaron contratos a largo plazo por una potencia de 14 GW aproximadamente. A consecuencia se reducen las instalaciones en tejado en los últimos cinco años y el mercado de las grandes plantas representa cada año un porcentaje mayor como se puede observar en la ilustración 1.

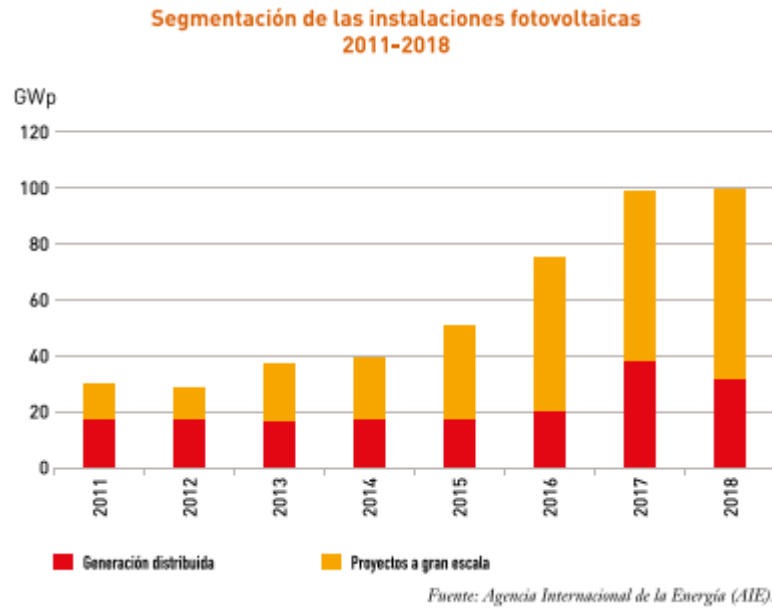


Ilustración 1.- Segmentación de las Instalaciones Fotovoltáicas

La energía generada por un sistema fotovoltaico depende principalmente de la energía solar disponible en el sitio. La ubicación geográfica, la temperatura ambiente, el índice de claridad, la inclinación y la orientación del panel fotovoltaico que son algunos de los principales factores que afectan a la energía solar recogida y convertida en electricidad por un panel fotovoltaico. Por lo tanto, el estudio de estos datos meteorológicos es muy crucial en el diseño preliminar de un sistema fotovoltaico. Otros factores pueden afectar la energía generada, como son el efecto de sombreado, elementos del sistema y pérdidas de configuraciones.

Los sistemas fotovoltaicos pueden dividirse generalmente en dos grupos básicos:

1. Sistemas fotovoltaicos no conectados a la red, sistemas autónomos.
2. Sistemas fotovoltaicos conectados a la red eléctrica pública.

Hay muchos subtipos diferentes de sistemas fotovoltaicos según el tipo y el método de conectarse a la red, o una forma de almacenar energía en sistemas independientes.

Antes de recomendar e instalar un sistema fotovoltaico, es crucial asegurarse de que el sistema no está por encima o de bajo tamaño porque dependiendo del tipo de instalación se hará de una forma u otra. En otras palabras, el diseñador tiene que investigar cuidadosamente la viabilidad del sistema. Para utilizar de manera eficiente y económica la energía solar por eso mismo, es necesario un dimensionamiento óptimo del sistema para que el sistema propuesto pueda funcionar en condiciones óptimas en términos de costos de unidades producidas y fiabilidad de la energía [4]. El consumo de electricidad es muy importante en cuando se trata de dimensionamiento del sistema fotovoltaico como autoconsumo, así como su análisis económico, ya que la sobreproducción puede afectar negativamente a la viabilidad del sistema. Por lo tanto, es deseable un buen cálculo de autoconsumo para asegurar la inversión más baja para el uso completo de la planta fotovoltaica y / o banco de baterías.

La tecnología solar fotovoltaica es uno de los recursos más importantes de energía renovable, por lo tanto, es necesario para realizar un adecuado diseño de la instalación desarrollar herramientas de software que sean capaces de determinar las características potenciales de producción de energía y rendimiento de los sistemas fotovoltaicos. Esto ayudará a comparar el rendimiento y el costo de producción de energía de diferentes configuraciones del sistema.

La energía producida por un módulo fotovoltaico depende en gran medida de los materiales fotovoltaicos y de la irradiación solar. Con el tiempo, la producción de energía eléctrica generada por un sistema fotovoltaico, disminuirá principalmente debido al envejecimiento de los materiales empleados en la instalación, y a otros factores tales como la humedad, y temperatura donde estos conducen a una cierta degradación permanente, corrosión, decoloración, delaminación, y agrietamiento de las células. Además de los factores internos, hay un factor ambiental que reduce significativamente lo producido por un

módulo fotovoltaico temporalmente que es el polvo, aunque el rendimiento fotovoltaico podría recuperarse a su máxima capacidad mediante actividades de limpieza [5].

El año 2017 fue un hito para la energía solar fotovoltaica (PV) el mundo añadió más capacidad de energía solar fotovoltaica que de cualquier otro tipo de tecnología en generación de energía. Se instaló más energía solar fotovoltaica que las adiciones de capacidad neta de combustibles fósiles y energía nuclear conjuntas [6]. En 2017, la energía solar fotovoltaica fue la principal fuente de nueva capacidad de energía en varios mercados importantes, incluidos China, India, Japón y los Estados Unidos [7]. A nivel mundial, se instalaron al menos 98 GW de capacidad solar fotovoltaica (dentro y fuera de la red), aumentando la capacidad total en casi un tercio, para un total acumulado de aproximadamente 402 GW como se puede ver en la Ilustración 2. En promedio, se instaló el equivalente a más de 40.000 paneles solares cada hora del año.

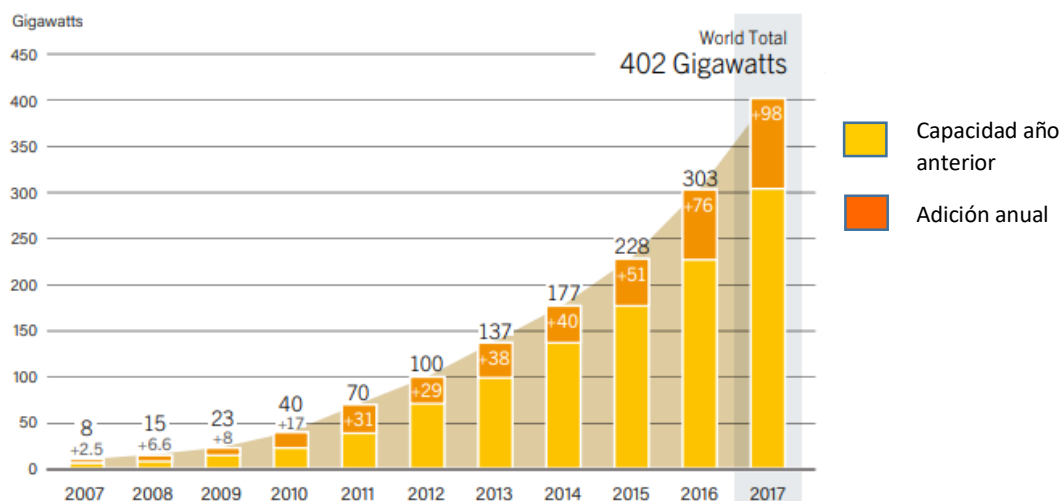


Ilustración 2.- Capacidad Global Solar PV y Adiciones Anuales, 2007-2017

Fuente: Unef 2017: El Inicio de una nueva era para el sector Fotovoltaico

Según [8] La energía solar fotovoltaica es una de las energías de más rápido crecimiento y ahora es la segunda tecnología de energía renovable más

implementada en el mundo por capacidad instalada, después de la energía eólica. A pesar del crecimiento de la demanda en los últimos años, los módulos e inversores fotovoltaicos solares han bajado de precio, beneficiando a los desarrolladores de proyectos y perjudicando a fabricantes, que han luchado por mantener los márgenes.

La mayoría del mercado de fabricación de módulos fotovoltaicos está en manos de silicio cristalino (c-Si), gracias a la madurez de la tecnología y los menores costos de inversión debido a la caída en el precio del polisilicio.

La mayor parte de la inversión en el mundo se trasladaría a Asia, con 113 mil millones por año desde ahora hasta 2050, y China e India están a la vanguardia representando aproximadamente el 57% y 18% de la inversión anual total, respectivamente. A Asia le sigue América del Norte con USD 37 mil millones por año y luego Europa a USD 19 mil millones por año (Ilustración 3)

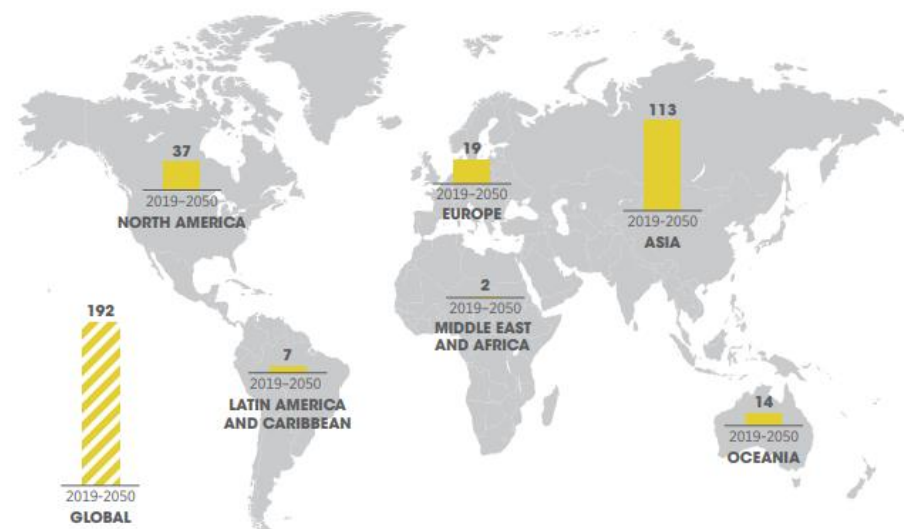


Ilustración 3.- Inversión anual regional en capacidad solar fotovoltaica.

Fuente: IRENA 2019

En este trabajo la mayoría de softwares mencionados están dirigidos al dimensionamiento y a la simulación de sistemas fotovoltaicos. Según [9], la simulación es una técnica para modelar e investigar el rendimiento del sistema o proceso.

Se han desarrollado numerosos software de simulación para evaluar el rendimiento y el potencial económico de un sistema fotovoltaico donde se simplifica el proceso de diseño y maximiza el uso de los recursos de energía renovable. En este trabajo no encontramos varios softwares de simulación fotovoltaica, como son SAM, PVSyst, HOMER, PV*SOL, RETScreen, Solarius PV, HelioScope, Solar Pro, SOLARGIS entre otros. También se han identificado análisis comparativos de estos softwares junto con sus limitaciones, ventajas, tipo de análisis y disponibilidad.

Existen herramientas que están enfocadas para el uso de profesionales en el ámbito fotovoltaico. Estas herramientas/software la mayoría tienen un coste anual y muchas de ellas han sido creadas por las mismas empresas que trabajan en ese campo. Se encuentran herramientas con una interfaz no muy compleja y fácil de manejar. Algunas de estas herramientas son comentadas a lo largo de este Trabajo.

Por otro lado encontramos herramientas que han sido creadas en distintas Universidades para facilitar la docencia e impartir contenidos relacionados con este tipo de instalaciones y los conocimientos que tienen que adquirir los propios alumnos. Algunas de estas herramientas se comentan en el penúltimo capítulo de este Trabajo.

1.1.- ANTECEDENTES

Para el presente estudio se ha realizado una recopilación de varios trabajos realizados con anterioridad relacionados con el tema que se trata en este trabajo fin de máster, como también se han recabado información de libros y publicaciones en revistas científicas relacionadas con el mismo tema.

Una revista de referencia en el ámbito fotovoltaico es “Photon International” [10], en algunos números de 2011 trata del estado y situación de la tecnología fotovoltaica en esa época. Dentro de esta revista encontramos puntos muy completos relacionados con el tema que tratamos, es decir encontramos un gran abanico de distintos software tanto para el dimensionamiento de los sistemas fotovoltaicos como herramientas para su simulación. En esta revista de referencia nos enfoca desde un primer momento los distintos software que hay en ese año junto con sus características de cada uno de ellos.

Partimos de dos trabajos previos relacionados en la E.P.S de Jaén. El primero de ellos trata de las “Herramientas básicas de ayuda en el diseño de sistemas fotovoltaicos. Análisis de software de ayuda de instalaciones fotovoltaicas” donde nos da una primera visión de las herramientas informáticas para el diseño y simulación de las instalaciones fotovoltaicas [11]. El segundo trabajo que hemos tomado como referencia es titulado “Simulación de Instalaciones Fotovoltaicas con PVsyst” [12] donde podemos encontrar un análisis del diseño de una instalación fotovoltaica con esta herramienta en concreto.

Profundizando un poco más en trabajos anteriormente realizados encontramos a Daniel Guasch con su Tesis Doctoral [13] que plantea un método de cálculo de parámetros el cual va a permitir adaptar los sistemas reales a

diseñar o analizar instalaciones fotovoltaicas. Este trabajo afecta a nuestro trabajo a tener un primer punto de vista de los distintos parámetros que tiene un sistema FV. Por otro lado el que nos da una ligera idea de cómo se pueden clasificar las distintas herramientas de dimensionamiento, simulación o el cálculo económico y viabilidad de un sistema fotovoltaico es en [14].

En [15] encontramos una ligera visión de los tipos de software que había en ese año para la simulación de las plantas fotovoltaicas destacando herramientas como Retscreen, PV F-Chart, SolarDEsignTool, Insel, PV Sol entre otros. Otro artículo interesante del estado relacionado con los programas de simulación/dimensionado es “Performance evaluation of 10 MW grid connected solar photovoltaic power plant in India” donde también nos facilita un ejemplo de la simulación de una central con una potencia de 10 MW y cuál sería el software adecuado para la investigación de análisis [16]

En cuanto al tema de modelos utilizados podemos encontrar una publicación de referencia realizada por el laboratorio Nacional Sandia, que analiza y comenta en “Models Used to Assess the Performance of Photovoltaic Systems” modelos de software de rendimiento desarrollados por este laboratorio (SNL). Además de analizar los modelos de rendimiento de PV, analiza sistemas híbridos y modelos de almacenamiento [17].

En las instalaciones de sistemas fotovoltaicos es de vital importancia obtener la máxima energía que se pueda obtener de las mismas, obteniendo un máximo rendimiento, para ello se hace trabajar al sistema en su punto de máxima potencia de la curva V-I del generador fotovoltaico para cada una de las condiciones de funcionamiento relacionadas con temperatura e irradiancia en [18] se discuten varios métodos para calcular el punto de máxima potencia, planteando cada uno de ellos sus ventajas e inconvenientes.

Para calcular los valores de voltaje en el punto de máxima potencia y corriente podemos encontrar expresiones analíticas en [19] donde también se debate la utilidad de la determinación del factor de calidad del diodo y la resistencia en serie. Unos de los primeros artículos encontrados por fecha de

publicación es [20] de 1982 donde ya en esta fecha se discutía el diseño, la teoría, los materiales, la fabricación y los sistemas de las células solares. Y sobre todo ya se combinaban de los propios dispositivos fotovoltaicos que había en esa fecha sus ecuaciones básicas.

Dentro del apartado de cálculo de energía generada por un sistema fotovoltaico encontramos una clasificación exhaustiva de los distintos métodos de cálculo en [21] donde encontramos dos tipos de métodos: directos e indirectos. Los directos como su propio nombre indica calcula directamente la energía y los indirectos calculan a partir de la potencia del generador fotovoltaico. Para la aplicación docente encontramos en [22] un modelo para el cálculo de la energía eléctrica de un SFV conectado a red. Además del cálculo de la energía para distintos valores de irradiancia y temperatura ambiente se pueden calcular los valores de corriente, tensión y máxima potencia del generador. En el año 2003 Lorenzo [23] describe en primer lugar la radiación solar que hay disponible para el lugar concreto de Argelia. Se analiza también en este artículo la discrepancia que hay entre los datos que hay de radiación solar y la incidencia que podría tener en términos de producción, junto con las incertidumbres sobre el tamaño del sistema fotovoltaico.

En el año 2014 Sharma [24] analiza los distintos software que hay disponibles en el mercado con un enfoque eminentemente didáctico aplicado a educación. Se evalúan los programas de simulación según distintos criterios: su representación gráfica de los parámetros de salida, valores de salida obtenidos y sobre todo su disponibilidad.

1.2.- JUSTIFICACIÓN

Unos de los primeros propósitos de realizar este trabajo es la finalización del Máster en Energías Renovables. Este tipo de energía como es la energía fotovoltaica es la que más demanda de empleo tiene en la actualidad, por ese motivo la finalización de este Máster es crucial a la hora de búsqueda de empleo en este sector. Tenerlo finalizado me abriría muchas puertas para poder trabajar en lo que he estudiado.

Por otra parte, dada la importancia en la actualidad que tiene la energía solar fotovoltaica se realiza este trabajo para tener un análisis profundo de los distintos software que pueden emplear los futuros profesionales en este sector, como los distintos recursos de software que hay enfocados a la docencia. Junto con una comparación de ellos para que a un simple golpe de vista se tenga claro de que herramienta informática usar para cualquier situación en concreto.

En la actualidad la mayoría de la Universidades introducen en sus grados materias relacionadas con el diseño de instalaciones y cálculo de la energía solar fotovoltaica, y es necesario poder disponer de herramientas adecuadas que ayuden a impartir dicha docencia. Existen en la actualidad dos tipos de software enfocados al cálculo y diseño de este tipo de instalaciones. Por una parte programas profesionales comerciales o programas que realizan las propias empresas como ayuda a los profesionales del sector, y por otra parte recursos enfocados directamente para la docencia, los cuales ayudan al profesorado a aclarar de forma didáctica la teoría que se imparte en sus clases.

Puede ser interesante aparte de utilizar herramientas docentes sencillas, algún programa de diseño que acerque al futuro profesional al mundo real, por lo que es necesario analizar lo que existe en la actualidad y ver las características más importantes de cada uno de ellos.

1.3.- OBJETIVOS

Este trabajo se encuadra dentro de una de las líneas de trabajo propuestas inicialmente dentro del master de Energías Renovables de la Universidad de Jaén, aplicaciones software para el diseño de sistemas fotovoltaicos o aplicaciones docentes para la enseñanza media y superior de los sistemas fotovoltaicos.

En la actualidad existen distintas herramientas software de ayuda al análisis, diseño, simulación de sistemas fotovoltaicos.

Existen en la actualidad, en principio dos tipos de enfoques en las herramientas software de ayuda al diseño de instalaciones solares fotovoltaicas, por una parte herramientas de ayuda al análisis de la energía generada y diseño del sistema junto con su estudio económico de viabilidad, por otra parte comportamiento desde el punto de vista de funcionamiento físico de los distintos componentes, haciendo énfasis en célula, módulo y generador fotovoltaico, permitiendo el estudio detallado para distintas condiciones de funcionamiento, mediante simuladores de circuitos eléctricos y electrónicos.

Con la realización de este trabajo se pretende

- Conocer el estado del arte actual de las herramientas de ayuda de evaluación, cálculo, diseño y simulación de instalaciones fotovoltaicas. Con las referencias adecuadas bibliográficas sobre las distintas herramientas.
- Conocer y describir algunos de los modelos teóricos utilizados de cálculo de las principales herramientas de simulación.
- Realizar una valoración y clasificación estandarizada atendiendo a parámetro tales como, claridad, entorno de usuario, métodos de cálculo, etc.

- Encontrar las herramientas software adecuadas para aplicaciones docentes en distintos niveles de la educación.

A continuación se describe de manera global de que va a tratar cada capítulo mencionado anteriormente:

En el Capítulo 1 se plasma una pequeña introducción de la evolución fotovoltaica como se ha visto anteriormente, una mención de los antecedentes de este trabajo, junto con la justificación y objetivos que se van a llevar a cabo a lo largo de todos los capítulos. Se va encontrar un 2 Capítulo donde se plantea una descripción los modelos teóricos de cálculos de célula, modulo y generador para el dimensionado fotovoltaico y cálculo de irradiación entre otros.

Se realiza un estudio del estado del arte actual de las herramientas de ayuda para la evaluación, el cálculo, el diseño y simulación de instalaciones fotovoltaicas en el Capítulo 3. La mayoría de las herramientas que nos podemos encontrar en este capítulo, incluyen el cálculo, diseño y dimensionamiento conjunto, incluso algunas de ellos calculan la viabilidad que puede llegar a tener dichos sistemas.

Se establece una clasificación según referencias encontradas de capítulos anteriores en el capítulo 4, donde se propone un criterio de clasificación de las distintas herramientas encontradas. Capítulo 5, se desarrollan cada una de las distintas herramientas, describiendo sus características más importantes.

En el capítulo 6, se introduce del tema docente junto con herramientas aplicadas a este ámbito y descripción de las mismas. Y por último se finaliza con el capítulo 7 donde se habla de las conclusiones que se llegan al finalizar este trabajo

CAPITULO 2: FUNDAMENTOS Y MODELOS

El objetivo de este capítulo es saber la importancia que tiene conocer los distintos modelos que se pueden utilizar para realizar el cálculo del funcionamiento/comportamiento de una célula, módulo o generador fotovoltaico. También se referencian algunos cálculos importantes de energía que puede generar un generador fotovoltaico.

La importancia de las células fotovoltaicas en la conversión directa de energía solar en energía eléctrica es bien conocida y está bien establecida. Como el silicio es uno de los materiales más abundantes y sobre todo disponibles, el interés de producir células fotovoltaicas a partir de silicio ha dominado la industria. Se ha informado que las células solares de silicio cristalino experimentales han alcanzado una eficiencia confirmada del 26,7% y que las células comerciales de eficiencia del 17-18% son las más vendidas [25].

En un sistema FV los módulos están conectados en serie y en paralelo para formar un sistema fotovoltaico según los requisitos del sistema de voltaje y corriente. Desde este punto de vista en [26] aborda el estudio de simulación de célula/módulo; A continuación se desarrollan distintos tipos de modelos teóricos de este estudio:

CÁLCULO SIMULACIÓN CÉLULA/MÓDULO

La ecuación exponencial única (*Ecuación 1*) que modela una celda PV se deriva de la física de la unión PN y generalmente se acepta como reflejo del comportamiento de la celda PV. Se puede utilizar una ecuación exponencial doble para las células de silicio policristalino [20]

$$I = I_{ph} - I_s \left(\exp \frac{q (V + IR_s)}{N \cdot K \cdot T} - 1 \right) - \frac{(V + IR_s)}{R_{sh}} \quad [1]$$

Donde:

I_{ph} : corriente fotogenerada

I_s : corriente de saturación de oscuridad

R_s : resistencia en serie

N : factor de idealidad del diodo

R_{sh} : resistencia paralelo

K : constante de Boltzman ($1,380658 \cdot 10^{23}$)

KT/q : potencial térmico (25,7 mV a 25°C)

Se puede determinar fácilmente un circuito equivalente, y esto ayuda al desarrollo del modelo de simulación (Ecuación 1). Este modelo de circuito equivalente se muestra en la ilustración 4.

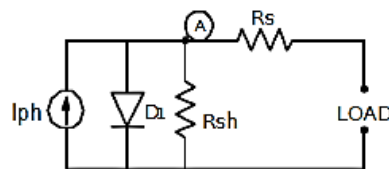


Ilustración 4.- Circuito equivalente del modelo del comportamiento de una célula fotovoltaica

El comportamiento completo de las células PV se describe mediante cinco parámetros del modelo (I_{ph} , N , I_s , R_s , R_{sh}) que es representativo de una célula / módulo PV físico. De hecho, estos cinco parámetros de la celda / módulo FV están relacionados con dos parámetros ambientales de radiación y temperatura solar y, debido a la naturaleza no lineal de la ecuación 1, su determinación no es sencilla.

Variación de los parámetros

El modelo de circuito de la ilustración 3 ofrece fácilmente una investigación en la variación de cinco parámetros del modelo, de los cuales dos I_s y N están relacionados con el modelo de Diodo, un I_{ph} está relacionado con la corriente generada por luz o fotón y la resistencia R_s y R_{sh} representan varias pérdidas en la celda PV. En [26], se estudia el efecto de la variación de estos cinco parámetros y su influencia en el gráfico V-I de la célula PV utilizando el simulador de circuito PSpice.

Variación del parámetro de diodo (I_s y N)

La ilustración 5 muestra las "características V-I" de una celda PV para tres valores diferentes de N correspondientes a 1, 1.5 y 2, respectivamente. Obviamente, a medida que aumentamos el valor de N , se necesita más voltaje de barrido para explorar completamente sus características V-I. El valor ideal del factor de idealidad ' N ' es la unidad, pero su valor práctico para la celda de silicio PV se encuentra entre 1 y 2. Se puede observar que a medida que aumentamos el valor de N , el voltaje de circuito abierto de la celda aumenta, y este hecho puede efectivamente ser utilizado en la simulación de un módulo fotovoltaico.

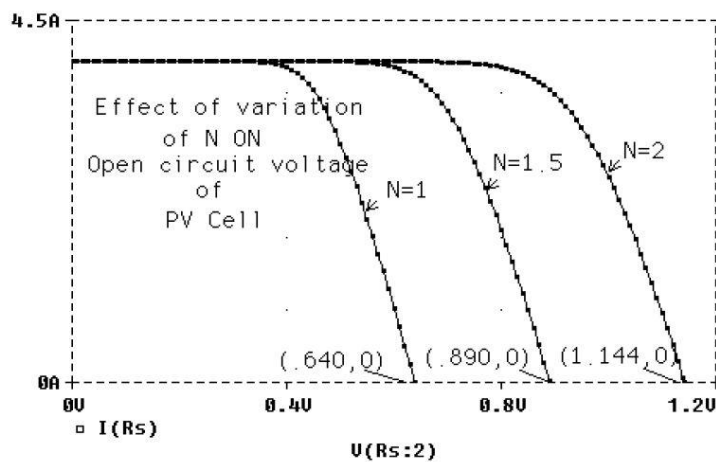


Ilustración 5.- Curva característica V-I.

Fuente: Computer Simulation Based Study of Photovoltaic Cells/Modules and their Experimental Verification

Variación en R_s

El modelo de celda PV de la ilustración 4 tiene dos componentes representativos de pérdida R_s y R_{sh} . El efecto de aumentar el valor de R_s se puede ver en Pspice mediante el análisis "Barrido DC". La simulación es producida para tres valores diferentes de R_s como $0,001\Omega$, $0,01\Omega$ y $0,1\Omega$. Las características V-I resultantes usando postprocesador "Probe" se tal y como se puede observar en la ilustración 6. Un peor comportamiento de la curva I/V en la que se aprecia una disminución del factor de forma en la célula fotovoltaica (FF) como en la ecuación 2, apareciendo una disminución apreciable del área abarcada por el producto de $V \cdot I$, es decir la potencia de salida obtenida. Efecto que agrava al aumentar el eje x de tensión, provocando una disminución de la corriente de salida.

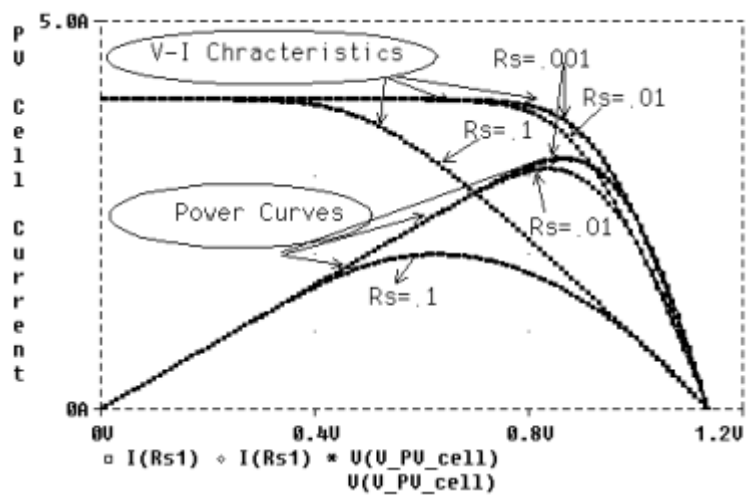


Ilustración 6.- Características de celda fotovoltaica y curvas de potencia para diferentes R_s .

Fuente: Computer Simulation Based Study of photovoltaic Cells/Modules and their Experimental Verification [26]

$$FF = \frac{P_{max}}{V_{oc} * I_{sc}} \quad [2]$$

El factor de forma se vuelve sensible bajo un mayor valor de R_s .

Variación R_{sh}

El efecto de la variación de R_{sh} de una célula fotovoltaica bajo PSpice se puede observar de la misma manera que con diferentes R_s . El parámetro Global ahora es R_{sh} en lugar de R_s . La simulación se produce para tres valores diferentes de R_{sh} : $1k\Omega$, 100Ω , 10Ω . Las características V-I resultantes y las curvas de potencia trazadas con el postprocesador "Probe" se puede observar en la ilustración 7. Se observa que el valor más pequeño de R_{sh} hace que la corriente de la célula fotovoltaica caiga más pronunciadamente produciéndose una mayor pérdida de energía y un factor de forma bajo.

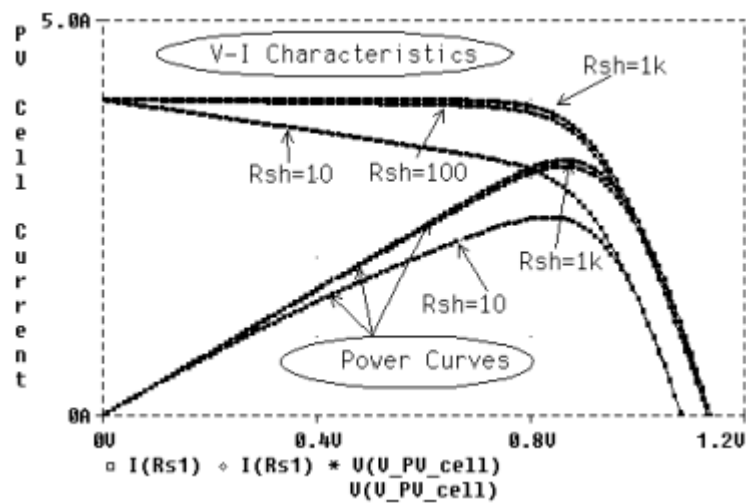


Ilustración 7.- Características de la célula fotovoltaica y curvas de potencia en variación de R_{sh} .

Por lo tanto, todas las células fotovoltaicas deben tener un alto valor de R_{sh} y un valor bajo de R_s para que el comportamiento de la célula sea el adecuado, no se produzca una disminución del factor de forma y se obtenga toda la potencia que será la célula de proporcionar para unas condiciones de irradiancia y temperatura dadas.

Célula fotovoltaica bajo temperatura variable

El efecto de la temperatura variable en la salida de células fotovoltaicas afecta:

- (i) Corriente de cortocircuito 'Isc' de la célula dada por la ecuación 3.

$$I_{ph} = [I_{ISCT} + K_1 (T - 298)] \frac{G}{1000} \quad [3]$$

Donde $K_1 = 0.0017 \text{ A/}^\circ\text{C}$

G: irradiancia estándar

La fotocorriente aumenta ligeramente con la temperatura, debido en parte al aumento de las longitudes de difusión de los minoritarios y parte al estrechamiento de la banda prohibida, que desplaza el umbral de absorción hacia fotones de menos energía. La mejora de la fotocorriente con la temperatura es menos acusada en las células de Si pero, en todos los casos, la variación es pequeña y, en primera aproximación IL puede considerarse independiente de la temperatura. [27]

- (ii) Cambia la corriente de saturación del diodo en la célula fotovoltaica aproximadamente como potencia cúbica y es dada por la ecuación 4

$$I_S (T) = I_S \left[\frac{T}{T_{nom}} \right]^3 \exp\left[\left(\frac{T}{T_{nom}} - 1\right) \frac{E_g}{N V_t}\right] \quad [4]$$

Los parámetros del modelo de células solares varían según las condiciones ambientales, siendo la temperatura y la irradiancia los dos efectos más importantes. El voltaje de circuito abierto de la célula solar disminuye con el aumento de la temperatura, y la corriente de cortocircuito es proporcional a la cantidad de irradiancia. Las curvas de corriente frente a la tensión (curvas I-V) para diversas irradiancias se muestran en la Ilustración 8 y en la ilustración 9 respectivamente.

$$I_{ph} = I_{ph|T_{ref}} [1 + K_0 (T - T_{ref})] \quad [5]$$

$$I_s = I_s|T_{ref} \left(\frac{T}{T_{ref}}\right)^3 \exp\left\{\frac{-qE_g}{nK} \left(\frac{1}{T_{ref}} - \frac{1}{T}\right)\right\} \quad [6]$$

$$R_s = R_s|T_{ref} [1 - K_3 (T - T_{ref})] \quad [7]$$

$$R_p = R_p|T_{ref} \exp\{-K_4 T\} \quad [8]$$

Donde T_{ref} es la temperatura de referencia de la célula, E_g es la energía de banda del semiconductor, K_0 es el coeficiente de temperatura de cortocircuito, K_3 y K_4 son los coeficientes de temperatura de resistencia. Cada valor de parámetro varía en relación con el valor de la temperatura de referencia de la célula.

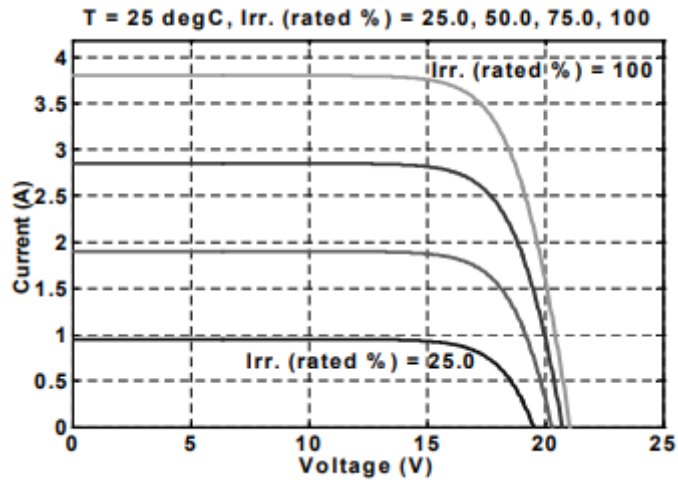


Ilustración 8.- Curvas I-V para distintas irradiancias.

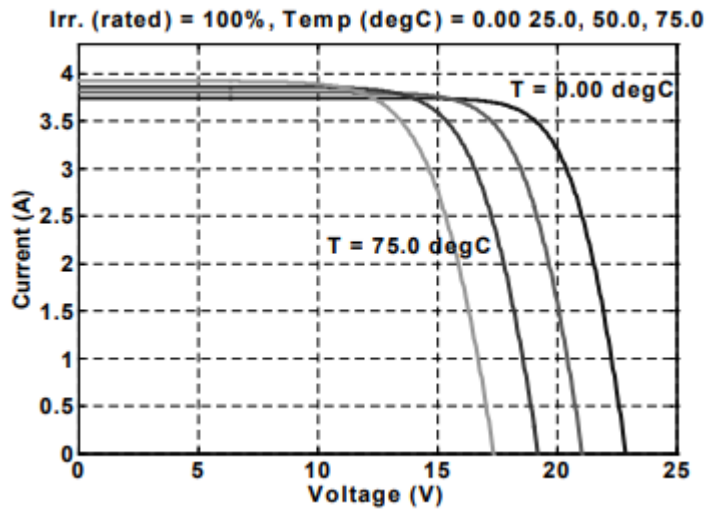


Ilustración 9.- Curvas I-V para distintas Temperaturas

Otros de los modelos de cálculo en [26] es el seguimiento del punto de máxima potencia donde a través de una función derivada de “Probe” obtenemos una gráfica dP/dV como se puede ver en la ilustración 10.

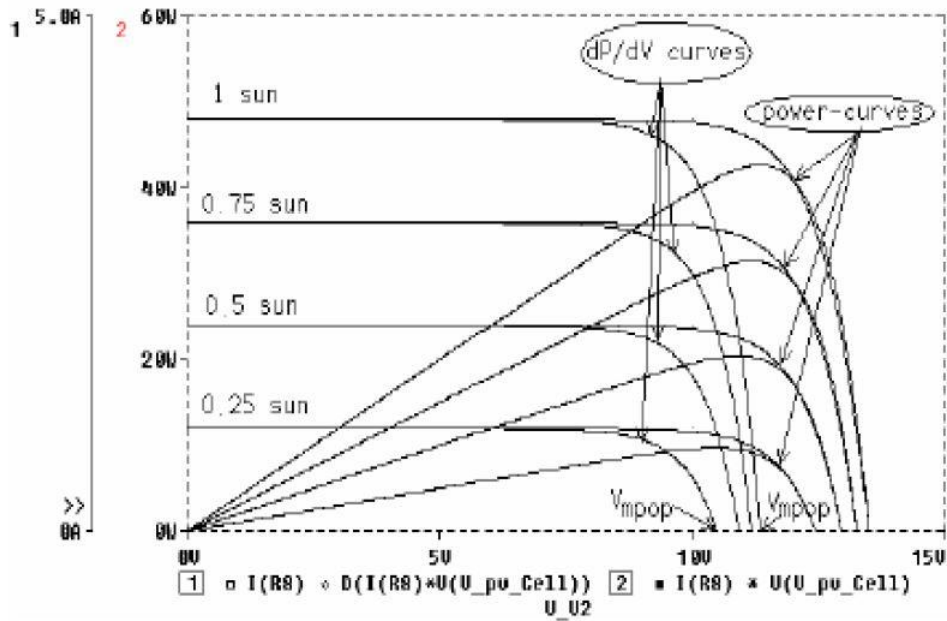


Ilustración 10.- Curvas de potencia del módulo fotovoltaico y curvas dP/dV para una variación de radiación.

La intersección del gráfico dP/dV en eje de tensión, es decir, el eje X proporciona la tensión correspondiente a potencia máxima del módulo fotovoltaico (ya que en eje de tensión, el dP/dV=0). El valor de dP/dV es negativo en el lado derecho del MPP y positivo en el lado izquierdo.

Muchas técnicas y algoritmos de punto de potencia máximo están disponibles en Literatura que puede localizar MPP tales que dP/dV=0 en un instante dado y en condiciones ambientales puntuales de radiación Solar y temperatura.

Se encuentra otro modelo de cálculo parecido al mencionado anteriormente donde se utiliza el programa Pspice para el cálculo solar de la célula y el modulo fotovoltaico [28], centralizado en el efecto que tiene la temperatura de la celda solar sobre los parámetros fotovoltaicos. La comprobación se realiza sobre una celula solar de silicio monocristalino para diferentes temperaturas: 25°, 40°, 50° y 60° y unas ciertas intensidades de luz constantes.

En [29] encontramos una simulación de los distintos modelos utilizando dos programas de simulación, por una parte Pspice para la parte de potencia y por otra Matlab para la parte de los algoritmos de control. Donde el circuito básico de una celda PV se modela en Pspice. Para tener en cuenta la temperatura de la celda y los efectos de insolación en la corriente de la celda solar se describe la ecuación 5, donde se simula un modelo con las herramientas Matlab / Simulink.

$$I_{ph} = [I_{SC} + \alpha (T_c - T_{ref})] * G \quad [9]$$

Donde $\alpha = 0.0012 * I_{SC}$ el cuál es el coeficiente de temperatura de la corriente de cortocircuito.

G = irradiancia solar (kW / m^2)

Otro artículo el cual utiliza un algoritmo para el seguimiento del punto de máxima potencia es [30] donde eligen un algoritmo basado en criterios de máxima simplicidad para la simulación del MPP con Spice

CALCULO DE LA ENERGÍA DE UN SFV

Por otro lado, la estimación de la energía proporcionada por los generadores de sistemas fotovoltaicos conectados a la red es importante para analizar su viabilidad económica y supervisar su funcionamiento. El cálculo de la energía de un generador fotovoltaico no es trivial; hay una gran cantidad de modelos para este cálculo.

Después de revisar algunas de las referencias especializadas de este se llega a la conclusión de que la mayoría utiliza los mismos métodos. Encontramos

en [21] una clasificación en la cual se divide en dos grupos el cálculo de energía de un generador de un sistema fotovoltaico conectado a red:

1. los que calculan indirectamente la energía, es decir, primero calculan la potencia y a partir de esto, se calcula la energía.
2. Los que calculan directamente la energía.

Además, los métodos indirectos mostrados en este artículo se agrupan en dos categorías: los que primero calculan la curva I-V del generador y a partir de esto, calculan la potencia, y los que calculan directamente la potencia. La clasificación propuesta es útil para elegir el método más adecuado para cada aplicación específica.

Comenta en [21] que es interesante tener una clasificación de los métodos con el fin de ayudar a los investigadores y profesionales en la elección del método más adecuado para cada aplicación específica. Donde encontramos:

Métodos indirectos: primero calculan la potencia del generador en cada instante y después integran estos valores para obtener la energía anual.

$$E = \int_{t_1}^{t_2} P(t) dt \quad [10]$$

Siendo $P(t)$ la potencia de cálculo en un instante t y t_1, t_2 que definen el intervalo de integración.

Métodos directos: calculan directamente la recolección anual de energía teniendo en cuenta varios parámetros que definen el comportamiento de los generadores, como la eficiencia o la relación de rendimiento.

En [22] se detalla un modelo de cálculo de energía suministrada por un sistema fotovoltaico, de una manera didáctica, proponiendo un procedimiento para cálculo de la irradiancia en el plano generador. Se escoge este modelo entre otros porque es el más claro en su explicación. Se basa en calcular en el punto de máxima potencia el valor de la corriente y tensión en intervalos, cada diez

minutos o cada hora dependiendo como aplicación didáctica a partir de unos valores medios diarios de temperatura e irradiación, obtenidos por ejemplo de las bases de datos de la NASA y del Joint Research Centre (JRC) y de los parámetros de célula en condiciones estándar, dados por el fabricante.

A continuación se exponen brevemente los pasos de [22]:

1. Calculo del procedimiento de la irradiancia del plano generador

Se puede encontrar tres pasos bien diferenciados donde el primero sería estimar las irradiaciones tanto directas como difusas medias diarias mensuales de la irradiación diaria horizontal. En el segundo paso se tendrá que estimar la irradiación difusa y directa horizontal en intervalos de una hora. El tercer paso se estimará en intervalos de una hora la irradiancia global sobre una superficie inclinada

2. Sobre intervalos de una hora, cálculo de la estimación de la evolución temporal de la temperatura ambiente de “un día representativo”

Se utiliza un modelo para que a lo largo de un día “el más representativo”, se estime la variación de la temperatura ambiente a partir de la temperatura mínima y máxima de ese día.

3. Generador fotovoltaico

El objetivo de este procedimiento es obtener unos valores específicos de temperatura ambiente e irradiancia, unos valores determinados de corriente, tensión y potencia máxima. En este método a partir de los valores característicos de la célula se calcula la corriente y la tensión de máxima potencia de la misma.

Se obtiene los valores de la célula con un proceso secuencialmente de cálculo el cual comprende nueve relaciones:

1. Corriente de cortocircuito de la célula:

$$I_{SC} = G \left(\frac{W}{m^2} \right) \frac{I_{SC\ stc}}{\frac{1000W}{m^2}} \quad [11]$$

2. Temperatura de la célula

$$T_c (^{\circ}C) = T_a (^{\circ}C) + \left(\frac{T_{ONC} (^{\circ}C) - 20}{\frac{800W}{m^2}} \right) G \left(\frac{W}{m^2} \right) \quad [12]$$

3. Tensión de circuito abierto de la célula

$$V_{OC} (V) = V_{OC\ STC} (V) - 0.0023 (T_c (^{\circ}C) - 25) \quad [13]$$

4. Tensión de célula normalizada

$$u_{oc} = \frac{V_{OC}}{V_1} \quad [14]$$

Siendo V_1 el voltaje térmico

Donde:

$$V_1 (V) = 0.025 \frac{T_c (^{\circ}C) + 273}{300} \quad [15]$$

5. Sin considerar la resistencia serie, cálculo del factor de forma para una célula ideal

$$FF_0 = \frac{u_{oc} - \ln(u_{oc} + 0.72)}{u_{oc} + 1} \quad [16]$$

6. Resistencia normalizada

$$r_s = 1 - \frac{FF_{STC}}{FF_0} \quad [17]$$

7. Para el punto máxima potencia cálculo de la corriente y tensión de célula

$$V_{max} = V_{OC} \left[1 - \frac{b}{u_{oc}} * \ln a - r_s (1 - a^{-b}) \right] \quad [18]$$

$$I_{max} = I_{SC} * (1 - a^{-b}) \quad [19]$$

Donde:

$$a = u_{oc} + 1 - 2 u_{oc} r_s \quad [20]$$

$$b = \frac{a}{1 + a} \quad [21]$$

8. Máxima potencia de la célula (P_{max})

$$P_{max} = V_{max} I_{max} \quad [22]$$

9. Valores de operación para el generador:

$$V_{maxG} = = V_{max} N_{ms} N_{cs} \quad [23]$$

$$I_{maxG} = = I_{max} N_{mp} N_{cp} \quad [24]$$

$$P_{maxG} = = P_{max} N_{mp} N_{cp} N_{ms} N_{cs} \quad [25]$$

4. Por último muestra el cálculo de la energía donde se utiliza una expresión en función de la potencia de entrada de la eficiencia del inversor

A partir del rendimiento del inversor se calcula la potencia alterna que se entregaría al final y por tanto la energía para un intervalo de tiempo determinado (un año):

$$\eta_b = \frac{P_{salida}}{P_{entrada}} = \frac{P_{entrada} - P_{perdidas}}{P_{entrada}} = \frac{P_{in} - (b_0 + b_1 P_{in} + b_2 P_{in}^2)}{P_{in}} \quad [26]$$

Como se ha demostrado, hay una gran cantidad de métodos para el cálculo anual de la energía. Los métodos existentes presentan diferentes niveles de simplicidad y precisión. La elección de uno de ellos no es trivial y depende de la aplicación, en general, los métodos directos son más fáciles de usar que los métodos basados en curvas I-V.

CAPITULO 3: REVISION DE SOFTWARE Y ESTADO DEL ARTE

El modelado y análisis de simulación se está volviendo cada vez más popular como técnica para mejorar o investigar el rendimiento del proceso. Los recientes avances en metodologías de simulación, disponibilidad de software y desarrollos técnicos., han hecho de la simulación una de las herramientas más utilizadas y aceptadas en el análisis de sistemas y la investigación de operaciones. Por lo tanto, el mercado contiene un número cada vez mayor de productos de software de simulación. El alcance de la simulación se ha ampliado debido a que los softwares se están volviendo baratos y contienen idiomas fáciles de aprender.

En el campo de la energía solar, cuando se va a diseñar/dimensionar un sistema fotovoltaico, encontramos herramientas informáticas adecuadas a lo que se quiere calcular. Es decir, encontramos herramientas que calculan el dimensionamiento y el diseño del SFV solamente o herramientas muy completas que tiene todos los campos de cálculo: dimensionamiento, diseño, viabilidad..etc

Como Lalwani 2012 comenta en su revisión [15] es necesario seguir algunos criterios de clasificación para los distintos tipos de software que hay en el mercado. Se realizó una búsqueda exhaustiva en todo el mundo para proporcionar un diagnóstico de software de simulación fotovoltaica también se discute las características de estos productos en base a los cinco criterios de evaluación del software de simulación presentados en la ilustración 11.

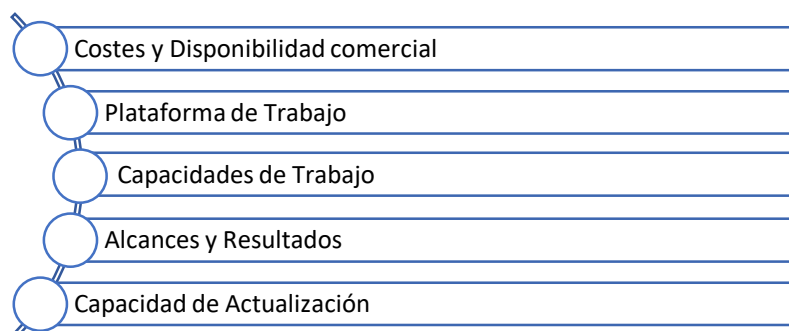


Ilustración 11.- Criterios de clasificación de software según Lalwani, Mahendra [15]

Al final este artículo [15] destaca doce herramientas de software de ayuda para simular el Sistema Solar fotovoltaico: Retscreen, Trnsys, Homer, Insel, PV F-chart, Nrel Solar Advisor Model (SAM), PVSyst, SolarDesign Tool, ESP-r 11.5, Solar Pro, PV DesignPro-G, PV*Sol Expert.

En [24] se clasifican de la misma forma, y presenta las herramientas principales que hay disponibles en el mercado en ese momento, junto con los parámetros de evaluación de esas herramientas de simulación. Ayuda al usuario final a seleccionar la más adecuada para un trabajo particular como es la simulación del SFV, evaluación económica, análisis o planificación del propio sistema fotovoltaico.

Se encuentra en [17] una clasificación de las distintas herramientas que hay en ese año (2009):

- 1) Por modelos de rendimiento fotovoltaico
- 2) por modelos híbridos de rendimiento del sistema
- 3) Por modelos de almacenamiento de batería

En el primer punto se encuentran herramientas fotovoltaicas como PVSS, SOLCEL, Facinelli Model, PVForm, PVSIM, Sandia Photovoltaic Array Performance Model, Sandia Inverter Performance Model, PVDesignPro, Solar Advisor Model entre muchos otros; en el segundo punto están clasificados según modelos híbridos en los que se pueden encontrar SOLSTOR, HybSim, Hysim, HOMER, Hybrid2, UW-Hybrid (TRNSYS), RETScreen, PVToolbox, IPSYS, etc. Y en el tercer punto encontramos herramientas de almacenamiento de energía tales como SIZEPV, Artificial Neural Network Technique, KiBaM, CIEMAT y CEDRL.

En [31] aporta una visión del estado en el que se encuentra en esa época las herramientas relacionadas con los sistemas fotovoltaicos y sobre todo justifica la elección de los programas Matlab/Simulink como las herramientas centrales de la tesis debido a la gran potencia y flexibilidad que ofrece. Utiliza un método de extracción automática de parámetros llamada “Método de Levenberg-Marquardt” permitiendo diagnosticar y caracterizar instalaciones fotovoltaicas con la utilización combinada de sistemas y modelos de dispositivos.

Para finalizar este capítulo, una revisión muy completa la podemos encontrar en varios artículos aparecidos en la revista [10] donde se analizan una gran variedad de herramientas. Dentro de esta revista tenemos todas las herramientas de simulación que había en esa época, plasmadas en una tabla donde tenemos información general de los programas, sus principales funciones, a quien va destinado, idiomas en los que se encuentran, actualizaciones disponibles, precio...etc. Más adelante se encuentra pequeños artículos enfocados en una herramienta en concreto, donde se explica más en profundidad su funcionalidad con pequeños proyectos llevados a cabo.

En [10] destaca en uno de sus artículos la herramienta PV Simulation como un programa para profesionales, donde el modelo de simulación es poco complejo y de fácil manejo. Matiza el inconveniente de esta herramientas es que los factores de pérdidas (sombreado, suciedad) solo se configura de forma global y no se puede averiguar los valores correctos. Encontramos más adelante que esta revista para la planificación de instalaciones fotovoltaicas ha sometido a test diez softwares. Llegando a la conclusión que de los tres escenarios predefinidos y considerando la facilidad de manejo y su volumen de funcionamiento, la mayoría de los programas resultaron útiles.

CAPITULO 4: CLASIFICACION DE SOFTWARES

En la actualidad nos podemos encontrar una multitud de distintas herramientas informáticas las cuales nos llevarían a unos resultados de dimensionamiento, viabilidad y simulación de distintos sistemas fotovoltaicos. De hecho, es crucial predecir el rendimiento del sistema en una ubicación determinada y sobre todo la operación esperada. Además, el tamaño del sistema debe determinarse en la fase inicial de planificación y diseño. Por eso es muy importante saber que herramienta se adapta mejor para la fase inicial del sistema fotovoltaico como puede ser el dimensionamiento, posteriormente calcular el diseño de este y por ultimo saber si llega a ser viable el sistema fotovoltaico elegido.

Por lo tanto en este capítulo se establece una clasificación de las herramientas que hay actualmente según sus funciones principales. Donde las herramientas se distinguen de la siguiente manera:

- Herramientas para el cálculo de viabilidad
- Herramientas para el cálculo de dimensionado
- Herramientas para el cálculo de la simulación
- Herramientas de evaluación económica

A continuación se explica con más detalle en que consiste cada una de ellas:

Herramientas para el cálculo de la viabilidad: la viabilidad de un proyecto desde el punto de vista externo es la capacidad de este para conseguir los objetivos del motivo que lo justifica. Pero los cálculos que debe realizar un ingeniero manualmente para el cálculo de la viabilidad ya no son necesarios, debido a que ya existen herramientas que realizan este cálculo automáticamente. A través de la cantidad de energía proporcionada o el coste

económico de la instalación se puede determinar qué tipo de sistema y aplicación es la idónea.

El programa que destaca en esta área es RetScreen:

- RETScreen: es una herramienta de conciencia de energía limpia, apoyo a la toma de decisiones y creación de capacidad. El núcleo de la herramienta consiste en un software de análisis de proyectos de energía limpia estandarizado e integrado que se puede utilizar en todo el mundo para evaluar la producción de energía, los costos del ciclo de vida y las reducciones de emisiones de gases de efecto invernadero para diversos tipos de eficiencia energética y tecnologías de energías renovables.

Herramientas para el cálculo de dimensionado: el objetivo del cálculo de dimensionado es obtener el número de módulos y baterías que son necesarias en un año atípico para suministrar de modo íntegro un determinado consumo. En otras palabras se entiende por dimensionado de un sistema fotovoltaico al cálculo del tamaño óptimo de dicha instalación. Todo proyecto mezcla siempre dos objetivos que son habitualmente opuestos es decir el mínimo coste y la máxima fiabilidad. Por tanto, según donde se ubique la instalación fotovoltaica existirán una gran variedad de factores que alterarán al diseño del proyecto como por ejemplo la radiación solar del lugar o el consumo de las cargas que alimentan la instalación fotovoltaica.

En este campo, son varios los programas los cuales se caracterizan por calcular el dimensionado de un sistema fotovoltaico como por ejemplo:

- PVWATTS: fue fundada por National Renewable Energy Laboratory y calcula de modo online para un sistema fotovoltaico la producción de energía eléctrica.
- HOMER: (Hybrid Optimisation Model for Electric Renewable) fundado por la empresa NREL permite comparar resultados con diferentes configuraciones y dimensionados las posibles simulaciones que pueden llegar a tener.

- DIAFEM: aplicación desarrollada por la Agencia Andaluza de la Energía y la Universidad de Jaén donde podemos encontrar el diseño y cálculos de cualquier instalación fotovoltaica que nos interese. Esta herramienta está enfocada de carácter docente y particulares

Herramientas de simulación:

Las herramientas de simulación son software programado para simular o predecir actuaciones del sistema de energía según lo diseñado por los usuarios, utilizando el mejor algoritmo meteorológico y/o recolectado por una base meteorológica. Estos programas normalmente son creados por grupos de investigación especializados o por las propias universidades con el apoyo de sus propios alumnos. Esta aplicación a partir de lo que especifique el usuario como es la naturaleza y las dimensiones del sistema esta consecutivamente nos proporciona un análisis muy amplio de las características que componen el sistema fotovoltaico. Estas herramientas también son empleadas sobre todo para analizar las condiciones extremas, respecto a parámetros concretos a la investigación de la sensibilidad del diseño.

Las herramientas más destacadas que el cálculo principal es el de simulación son como por ejemplo:

- PVSyst: es una herramienta la cual integra dos cálculos como el de simulaciones de sistemas fotovoltaicos con el de análisis de viabilidad y dimensionado. Este programa es en la actualidad unos de los programas mas reconocidos y utilizados tanto en el ámbito docente como profesional
- PVSol: fue creada por Valentin Energy Software y está creada para la simulación, diseño y planificación de sistemas fotovoltaicos.
- SolarGis: es una herramienta con su propio software de simulación PVPlanner
- Helioscope: desarrollado por Folsom LAb donde tiene incluida la funcionalidad de Autocard y algunas características de PVSyst.

Herramientas de evaluación económica

Los softwares que se clasifican como herramientas de evaluación económica es capaz de proporcionar análisis económicos para el sistema propuesto por los usuarios. Para determinar si el sistema es factible o para maximizar el beneficio neto del consumo en los servicios de electricidad, el usuario necesita clave en todos los costos y parámetros como entrada y, posteriormente se puede ejecutar el análisis. El análisis es necesario para minimizar los costes totales del proyecto y para satisfacer la demanda de carga o restricciones del proyecto. A continuación nombramos las herramientas que destacan en el cálculo de la evaluación económica

- El modelo de optimización híbrida para electricidad renovable (HOMER) es un modelado energético desarrollado por el laboratorio nacional de energías renovables (NREL) USA. El software es adecuado para diseñar y analizar el sistema de energía híbrida, incluyendo generadores convencionales, cogeneración, turbinas eólicas, solares fotovoltaicas, entre ellas también la biomasa.
- PVWatts es un software automatizado de calculadora simple, que da respuesta rápida para la energía esperada producción y ahorro de costes en el sistema conectado a la red.

CAPITULO 5: DESCRIPCION DE HERRAMIENTAS

Se ha encontrado diferentes programas de simulación para evaluar el rendimiento y el potencial económico de los sistemas fotovoltaicos los cuales simplifican y ayudan al proceso de diseño.

En este estudio se desarrollan 8 softwares de simulación fotovoltaica: PVDesignPro, PVSyst, HOMER, PV*SOL, RETScreen, HelioScope, PVWatts y SOLARGIS. Se han escogido estos ocho porque son los más usados por los profesionales y los más completos y fiables a la hora de los resultados. Al final de este capítulo se desarrolla una tabla resumen de todas estas herramientas junto con sus ventajas e inconvenientes, tipo de análisis que realiza y un enlace url de descarga de la versión del mismo.

A continuación se desarrolla las herramientas mencionadas anteriormente:

RETSCREEN

Este programa fue desarrollado por Natural Resources Canada para evaluar costos, beneficios financieros y ambientales para muchas energías renovables. RETScreen tiene un modelo de proyecto fotovoltaico específico que puede modelar el rendimiento del sistema fotovoltaico para diversas ubicaciones de todo el mundo.

Según Evans D.L en [32] este software permite a profesionales de forma rápida evaluar e identificar si un proyecto tiene una viabilidad financiera y técnica como también permite el cálculo del rendimiento real de la instalación junto con los datos de ahorro de energía que pudiera tener [33].



Ilustración 12.- Pantalla de Inicio Retscreen

En la página Web del programa [34] podemos encontrar tres etapas de diseño de un proyecto, entre las cuales se encuentra:

- Diseño Conceptual: es la primera aproximación que se estima, y se lleva a cabo el emplazamiento y alternativas que se usan.
- Diseño básico: en esta etapa se evalúan alternativas y se deciden por las más adecuadas al proyecto.
- Diseño de detalle: en esta última etapa se diseña todo el proyecto con todos los aspectos detallados que puede incluir.

Podemos encontrar en este tipo de software la opción de análisis económico del sistema en este programa en el cual nos hace un análisis financiero del sistema junto con un gráfico de flujo de carga acumulado como se puede ver en la ilustración 13.

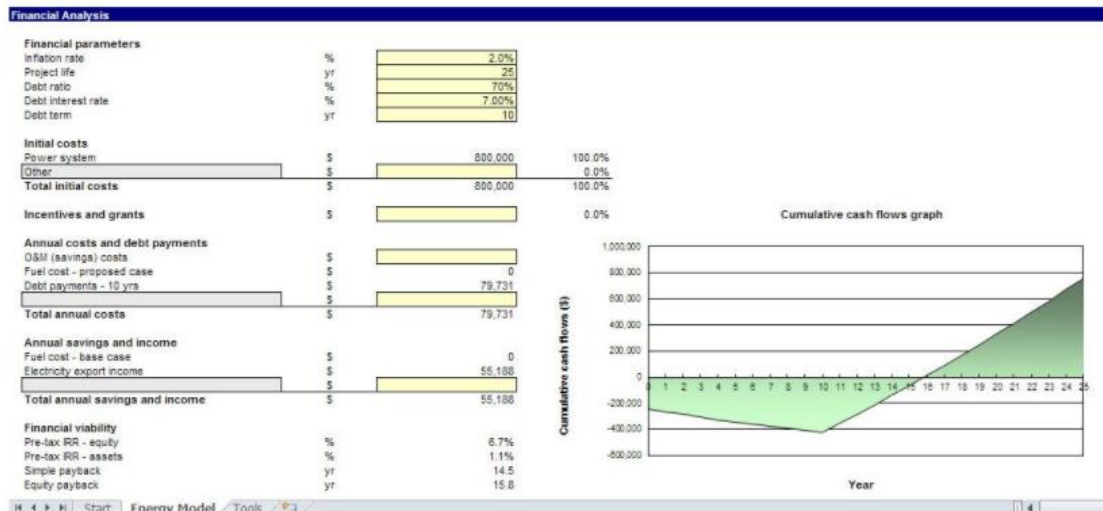


Ilustración 13.- Estimaciones de generación de energía generadas junto con el análisis financiero.

En [35] se usa Retscreen para calcular el tamaño de los sistemas FV donde comenta que la herramienta no proporciona una función o un método para que el diseño sea óptimo.

PVSYST

Pvsyst es un programa de análisis de sistemas fotovoltaicos desarrollados por el grupo de Energía de la Universidad de Ginebra en Suiza [36] se puede utilizar en cualquier lugar que tenga datos meteorológicos y irradiación solar. Es ampliamente utilizado debido a la gran variedad de parámetros que dispone y algunos de ellos modificables.

Está diseñado para ser utilizado por arquitectos, ingenieros e investigadores. También es una herramienta educativa muy útil. Incluye un menú de ayuda contextual detallado que explica los modelos y procedimientos que se utilizan, donde se ofrecen un enfoque fácil de usar con una guía para desarrollar un proyecto. PVsyst puede importar datos meteorológicos, así como datos personales de muchas fuentes diferentes

Para un proyecto dado, es decir un sitio definido meteorológicamente, se puede construir varias variaciones para un sistema fotovoltaico donde permite la simulación y análisis de datos completos del sistema como se puede ver en la ilustración 14.

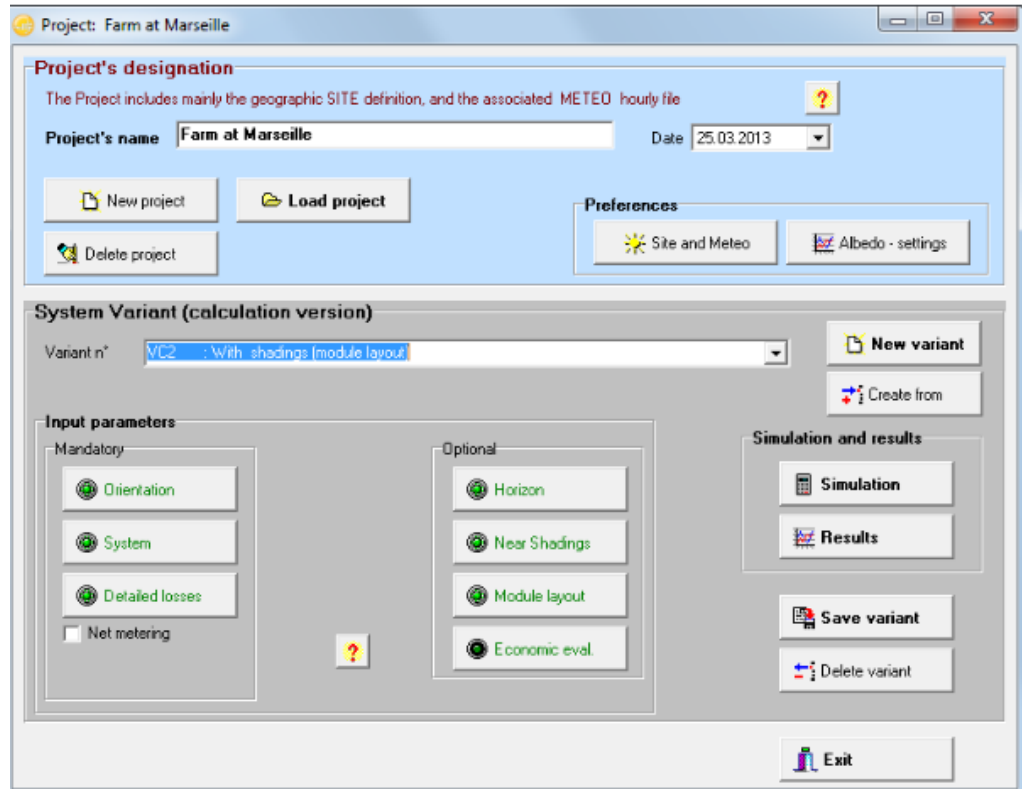


Ilustración 14.- Selección de parámetros en Pvsyst.

Consiste en un procedimiento básico y sencillo en donde hay que especificar la potencia deseada o el área disponible y desde la base de datos interna hay que elegir el módulo e inversor deseado.

Otras características interesantes es que incluye una herramienta de sombreado 3D que permite al usuario dibujar una estructura con módulos fotovoltaicos y ver posibles impactos de sombreado de obstrucciones simuladas. Se puede determinar parámetros I_{sc} y V_{oc} más específicos, así como facilita el sombreado de celda/módulo y otras pérdidas de voltaje debido al cableado y la suciedad. Otras características útiles es que incluyen un modificador de ángulo de incidencia y una corrección espectral de masa de aire para módulos de

película delgada, así como la capacidad para que el usuario introduzca parámetros y coeficientes conocidos si los datos medidos están disponibles tanto para módulos fotovoltaicos como para inversores.

Debido a su amplia utilización, al ser unos de los softwares más utilizados tanto a nivel profesional como docente, podemos encontrar múltiples referencias [12] [37] y amplia documentación del mismo [38]. Distintos modelados de sistemas fotovoltaicos de distinta potencia, pérdidas en el sistema en e incluso se utiliza para ver la dependencia de los valores de salida en función de los distintos parámetros como temperatura, inclinación en [39].

En [40] se encuentra los diversos tipos de pérdidas de energía calculados por PVSYST y la determinación de la cantidad total de la energía eléctrica generada por un sistema fotovoltaico

PVWATTS

PVWatts es una herramienta de modelado fotovoltaico conectada a la red desarrollada por NREL basado en algoritmos. Está disponible como una aplicación la cual incluye dos versiones diferentes donde se describen más adelante. Esta herramienta permite al usuario elegir entre las ubicaciones predefinidas junto con valores de sistemas fotovoltaicos que incluyen factores de reducción, tipo de sistema fotovoltaico (inclinación fija, seguimiento de 1 o 2 ejes), inclinación de matriz y acimut como se puede ver en la ilustración 15.



Ilustración 15.- Datos de entrada de PVWATTS.

Esta herramienta permite a los propietarios de viviendas, de pequeños edificios, instaladores y fabricantes, desarrollar fácilmente estimaciones del rendimiento de las posibles instalaciones fotovoltaicas. Nos aporta datos meteorológicos típicos del año para la ubicación seleccionada y determina la radiación solar incidente de la matriz fotovoltaica en forma de tabla como se puede ver en la tabla 1.

Mes	Radiación solar ² (kWh / m ² / día)	Energía AC (kWh)	Valor P\$
enero	2,32	244	N / A
febrero	3,03	286	N / A
marzo	3,95	404	N / A
abril	4,69	459	N / A
Mayo	5,55	546	N / A
junio	6,19	574	N / A
julio	7,13	664	N / A
agosto	6,71	629	N / A
septiembre	5,35	497	N / A
octubre	3,92	392	N / A
noviembre	2,69	268	N / A
diciembre	2,21	231	N / A
Anual	4.48	5.194	0

Tabla 1.-Resultados facilitados por PVWATTS para un sistema fotovoltaico

La disponibilidad y mantenimiento de PVWatts está disponible en dos versiones [41] . La primera versión se puede utilizar para evaluar la salida del sistema para lugares del todo el mundo como se puede ver en la ilustración 16.



Ilustración 16.- Mapa de PWatts.

Existe una segunda versión para los EE.UU [42] y sus territorios donde proporcionan más información meteorológica específica del territorio respecto a la versión 1. Se encuentra una revisión [43] de este programa donde en pocos pasos explica su funcionamiento.

PVSOL

PVSol es un programa de software de análisis de sistemas fotovoltaicos desarrollado por Valentin Energy Software en Alemania [44], con una versión en inglés distribuida por Solar Design Company con sede en el Reino Unido. La primera versión de PVSol fue lanzada en 1998. La edición Experto tiene la mayoría de las características, incluyendo un programa de sombreado 3D.

Este programa contiene un modificador de ángulo de incidencia para determinar cuánto se refleja la radiación. Donde incluye las siguientes características:

- Sistemas autónomos y conectados a red.
- Los distintos generadores pueden ser configurados en varios ángulos
- Fácil selección de inversores del sistema y módulos.
- Calcula la sombra del horizonte sobre los objetos que tiene alrededor
- Datos detallados del consumo de energía mensual, pagos recibidos por la conexión de red, costes del sistema.
- Cálculo del rendimiento anual
- Cálculo de emisiones contaminantes
- Cálculo de la irradiación anual como se puede ver en la ilustración 17.

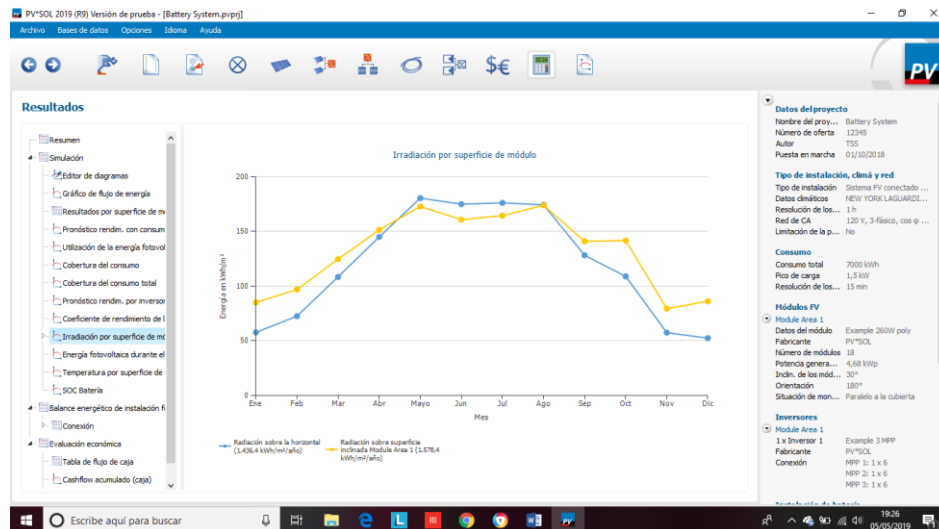


Ilustración 17.- Estimación de la Irradiación en PVSol.

- Cálculo de eficiencia económica
- Para el suministro desde la red y de energía, calcula la entrada de tarifas
- Para los módulos fotovoltaicos e inversores, cálculo de monitorización del rendimiento de carga parcial de estos.

Una de las características que hemos comentado anteriormente, es que aporta un análisis de sombreado donde a través de los objetos circundantes nos

hace una representación del mundo real del sombreado, esto facilita el cálculo con precisión de los rendimientos del sistema como se puede ver la ilustración 18.



Ilustración 18.- Representación de sombras en PVSol

Se encuentra una versión demo en [45] por tiempo limitado.

PVDesignPro

Según Maui Solar Energy Software Corporation [46], el software PVDesignPro es un modelo de software disponible comercialmente desarrollado para el modelado de sistemas fotovoltaicos. El software incorpora algoritmos de ambos modelos de rendimiento de generador fotovoltaico e inversor y utiliza una versión personalizada de PVDesignPro para comparar diferentes tecnologías fotovoltaicas donde incluye una opción de predicción del rendimiento del módulo fotovoltaico

El propósito de este programa es ayudar en el diseño del sistema fotovoltaico proporcionando información precisa y en profundidad sobre la probable potencia del sistema, el consumo de carga, la energía de respaldo

necesaria durante el funcionamiento del sistema, y los impactos financieros de instalación del sistema propuesto.

PV-DesignPro está dirigido a diseñadores e investigadores profesionales de sistemas fotovoltaicos, pero la herramienta se ha remodelado de tal manera, que es posible que diseñadores principiantes puedan evaluar los diseños que nos proporciona PV-DesignPro [17]. Se puede seleccionar distintos datos climáticos como se puede apreciar en la ilustración 19.

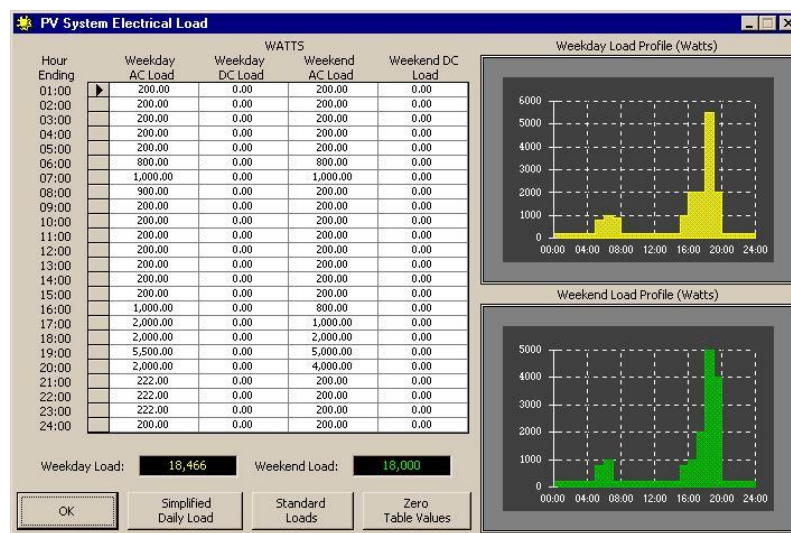


Ilustración 19.- Carga eléctrica del sistema fotovoltaico junto con datos climáticos.

En [47] calculan el ángulo óptimo con la herramienta PV-Design y compara los datos de rendimiento con los resultados que nos aporta este software junto con el de otros dos más, donde al final del artículo discuten la variación de los resultados de los distintos programas. Encontramos una comparación de esta herramienta con otras en [48].

Modelo de Optimización Híbrida para Renovables Eléctricas (HOMER)

Homer es un software de optimización de micro-red desarrollado por NREL (National Renewable Energy Laboratory), USA [49] y posteriormente se ha mejorado y distribuido por Homer Energy que incluye herramientas de simulación, optimización y análisis de sensibilidad. Según se comenta en [49] es el estándar mundial para la optimización del diseño de micro-redes. Puede importar datos TMY2/TMY3 desde el sitio web de NREL. También los datos de la NASA y SolarGIS se pueden importar desde sus sitios web. Cabe destacar que no viene con datos meteorológicos gratuitos.

Este software utiliza entradas como ubicación, recursos, cargas, componentes del sistema, costo de componentes, etc. para poder ejecutar la simulación (Ilustración 20). Esta aplicación de software se utiliza para diseñar y evaluar técnica y financieramente las opciones para sistemas de energía fuera de la red y en la red para aplicaciones de generaciones remotas, independientes y distribuidas como se puede ver en la ilustración 21.

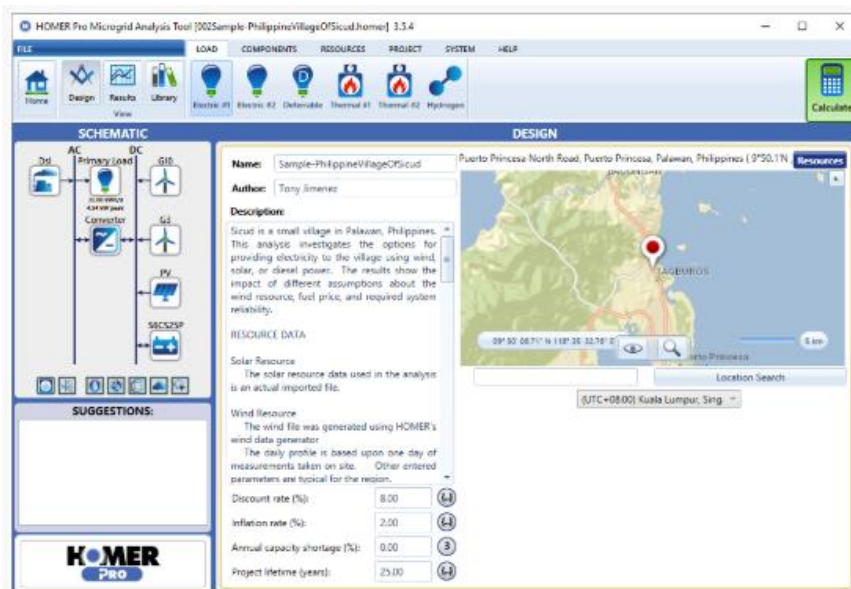


Ilustración 20.- Ventana de Simulación de Homer.

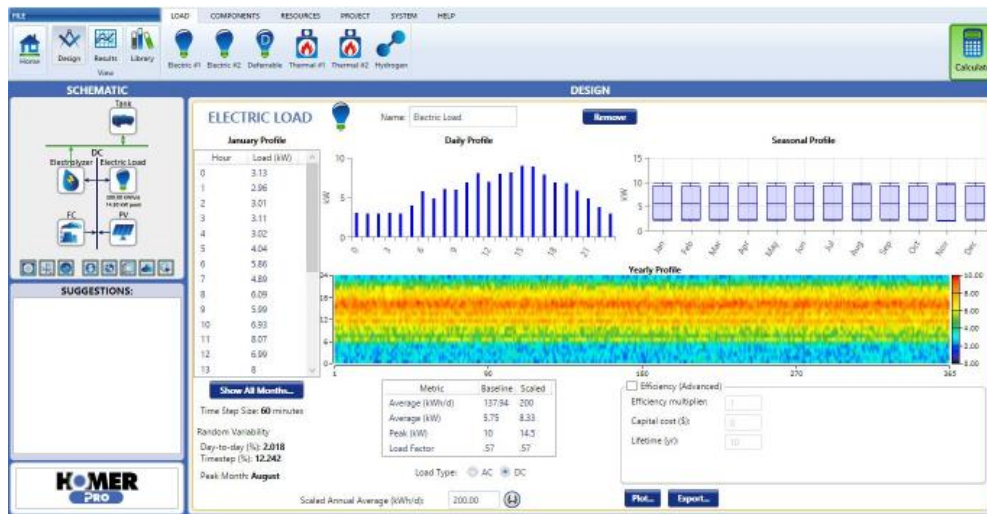
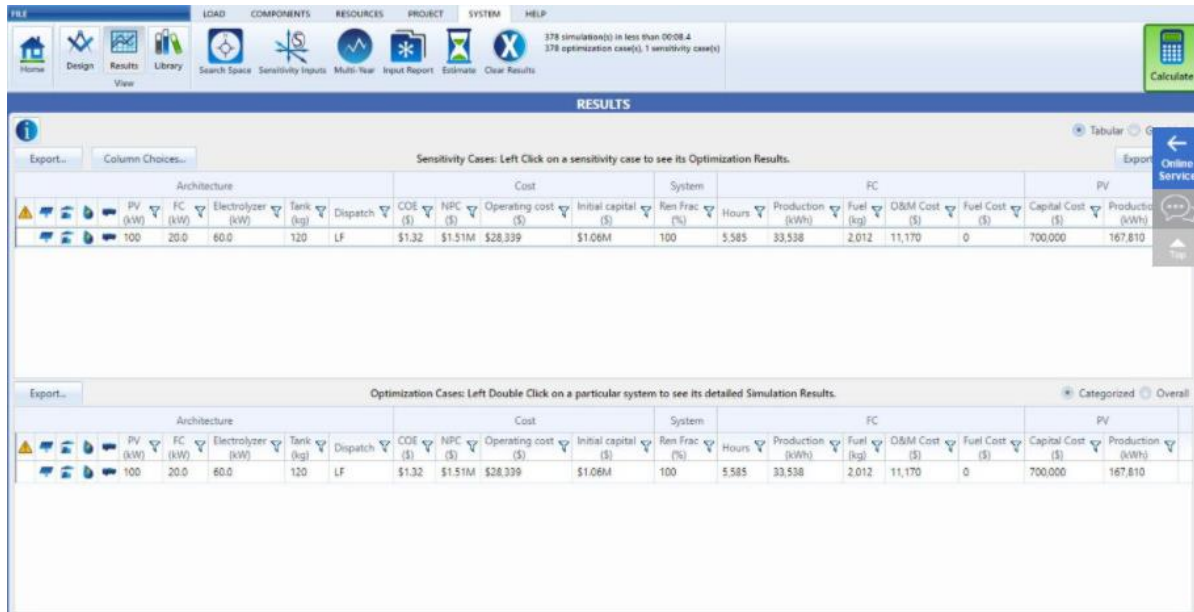


Ilustración 21.- Interfaz de diseño con vista esquemática

Homer permite al usuario considerar un gran número de opciones tecnológicas para tener en cuenta la disponibilidad de recursos energéticos y otras variables. HOMER simula el funcionamiento de un sistema realizando cálculos de balance energético en cada paso de tiempo o intervalo del año y compara la demanda eléctrica y térmica en ese paso de tiempo con la energía que el sistema puede suministrar en ese paso de tiempo, y calcula el flujo de energía hacia y desde cada componente del sistema como se puede observar en el informe de simulación (Ilustración 22)



Architecture		Cost				System	FC			PV						
PV (kW)	FC (kW)	Electrolyzer (kW)	Tank (kg)	Dispatch	COE (\$)	NPC (\$)	Operating cost (\$)	Initial capital (\$)	Ren. Frac. (%)	Hours	Production (kWh)	Fuel (kg)	D&M Cost (\$)	Fuel Cost (\$)	Capital Cost (\$)	Production (kWh)
100	20.0	60.0	120	LF	\$1.32	\$1.51M	\$28,339	\$1.06M	100	5,585	33,538	2,012	11,170	0	700,000	167,810

Ilustración 22.- Informe de Simulación Homer

Para los sistemas que incluyen baterías o generadores de combustible, HOMER también decide en cada paso de tiempo cómo operar los generadores y si cargar o descargar las baterías. Esta herramienta puede realizar cálculos de balance de energía para cualquier configuración del sistema.

Esta herramienta también muestra los resultados de la simulación [50] en una amplia variedad de tablas y gráficos que ayudan al usuario a comparar configuraciones y evaluarlas en sus méritos económicos y técnicos. Las tablas y los gráficos se pueden exportar para informes y presentaciones. HOMER Pro se ejecuta en todos los sistemas operativos Windows que son compatibles actualmente con Microsoft.

Encontramos en [51] un caso de estudio de diseño híbrido autónomo de micro red ubicado en una isla sin posibilidad de conexión. En [52] se demuestra el uso del software de simulación Homer Pro para la simulación de rendimiento energético de un sistema fotovoltaico.

HELIOSCOPE

HelioScope es un nuevo programa introducido por Folsom Lab USA [53] para el diseño de sistemas fotovoltaicos; tiene algunas características de PVSyst y añade la funcionalidad de diseño de AutoCAD, lo que permite a los ingenieros realizar un diseño completo con un solo paquete. La dirección de la ubicación, la configuración del módulo y generador fotovoltaico junto con la especificación del inversor son las principales entradas requeridas por HelioScope (Ilustración 23).

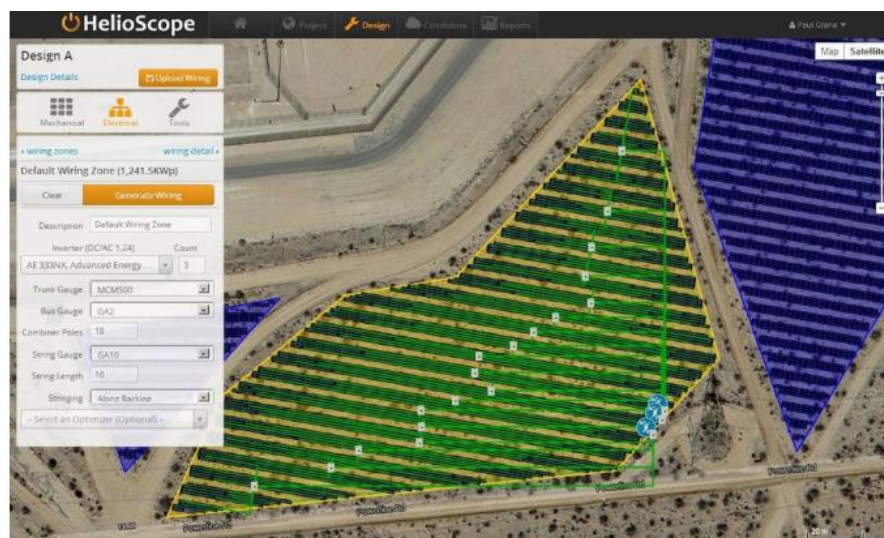


Ilustración 23.- Página Principal Helioscope.

Este software permite al usuario estimar la producción anual de energía del sistema fotovoltaico, el conjunto de datos meteorológicos, el sombreado, cableado, las eficiencias de los componentes, las discordancias de paneles y el envejecimiento. HelioScope te da la opción de comparar resultados y elegir la mejor opción de configuración de diseño, cuando se seleccionan los

componentes del sistema y se ejecutan las múltiples simulaciones para una misma ubicación como se puede ver en la Ilustración 24.

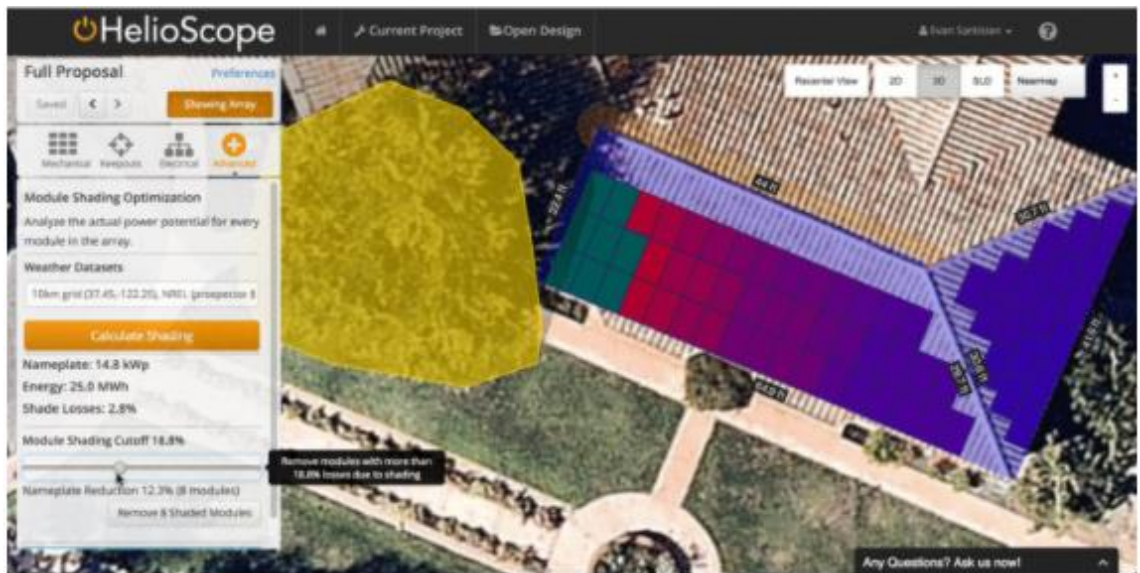


Ilustración 24.- Simulación y diseño con HelioScope.

HelioScope [54] es una herramienta que se ejecuta online y se puede utilizar desde cualquier ordenador conectado a Internet. En lugar de comprar el programa, puede pagar una cuota mensual o anual. Debe registrarse con una cuenta de HelioScope para la versión de prueba de 30 días.

Un ejemplo de diseño fotovoltaico con HelioScope lo podemos encontrar en [55] donde llegan a la conclusión de que la pérdida de sombreado tiene contribuciones en dos factores principales:

- Un sombreado cercano: debido al tipo de trasiego y espaciado del módulo
- Un sombreado en las estructuras externas del entorno del SFV.

SOLARGIS

En 2010 Solargis desarrolló software de simulación de sistema fotovoltaico llamado PvPlanner [56] Solargis PvPlanner es una herramienta de simulación online compatible con mapas para la planificación, optimización de sistemas fotovoltaicos utilizando algoritmos de alto rendimiento, datos climáticos y geográficos con alta resolución temporal y espacial. Esta aplicación está diseñada para la prospección del sitio y la comparación del rendimiento energético de varias opciones de tecnología fotovoltaica y sistemas de montaje a través de simulaciones simples y rápidas.

En la pantalla principal de Solargis el usuario puede buscar la ubicación deseada, seleccionar la configuración del sistema fotovoltaico que incluye la capacidad del sistema, el tipo de módulo, las especificaciones del inversor, el sistema de montaje, el acimut y el ángulo de inclinación, etc. para ejecutar las simulaciones como se puede ver en la ilustración 25.

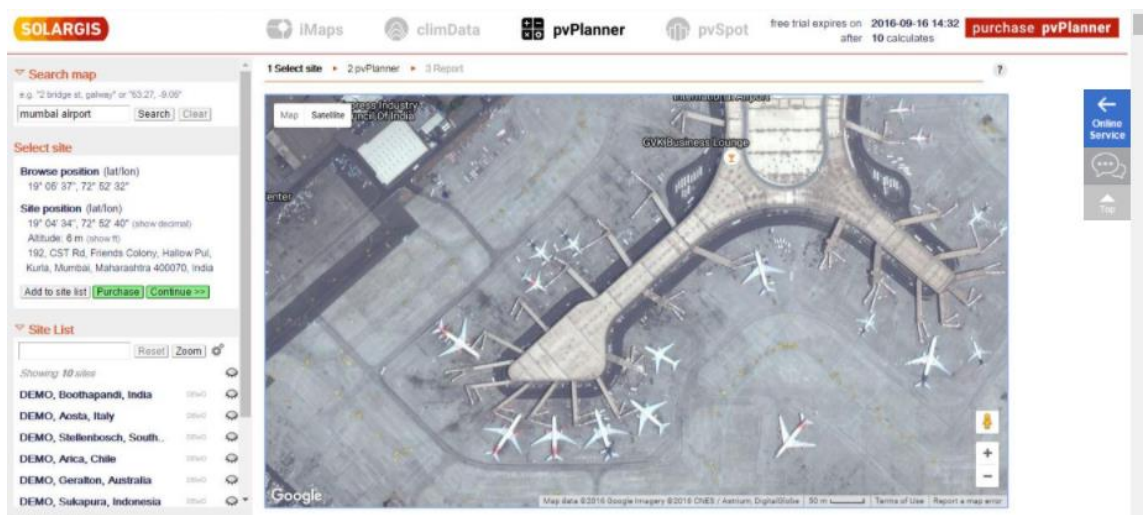


Ilustración 25.- Función interactiva para ubicar ubicación

Estos modelos leen los datos de entrada de 19 satélites geostacionarios en cinco posiciones principales, y de modelos atmosféricos y meteorológicos operados por centros de plazo rendimiento de la electricidad fotovoltaica (PVOUT), los valores de la relación de rendimiento (PR), la irradiación horizontal global (GHI), la irradiación global en plano o inclinada (GTI), la irradiación horizontal difusa (DIF), la irradiación reflejada (RI) y la temperatura (TEMP) como se puede ver en la Ilustración 26, datos meteorológicos ECMWF y NOAA. Las principales salidas del proceso de simulación son los valores mensuales y anuales a largo

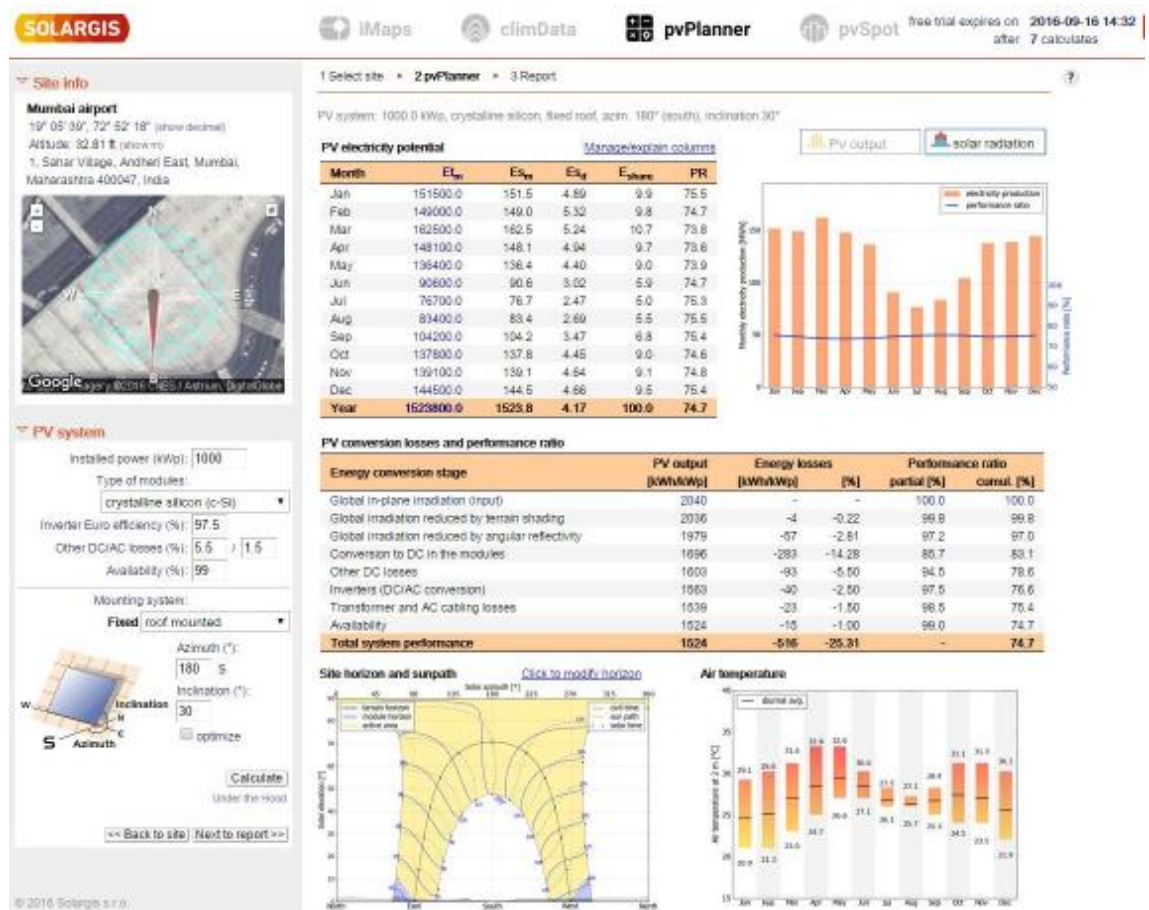


Ilustración 26.- datos de radiación solar de la ubicación seleccionada

Su metodología consiste en: modelos meteorológicos, modelado de radiación solar, modelado de energía fotovoltaica y adaptación del sitio de los datos de SolarGis.

Esta herramienta se puede encontrar en varios artículos, como en [57] donde nos da una ligera explicación de en qué consiste y posteriormente la usa como ejemplo para el diseño de un determinado sistema fotovoltaico. Y por otro lado encontramos en [58] un modelo de simulación donde dimensiona y evalúa el rendimiento de un sistema fotovoltaico a partir de esta herramienta.

A continuación, se detalla una clasificación de las herramientas anteriormente desarrolladas:

SOFTWARE	DESARROLLADO POR	TIPO DE ANÁLISIS	VENTAJAS	DESVENTAJAS	DISPONIBILIDAD
PVSYST	Institute of Environmental Sciences (ISE), University of Geneva, Switzerland	Análisis de rendimiento; Estimación financiera utilizada tanto para sistemas fotovoltaicos conectados a la red, autónomos, de bombeo como de red de CC, dimensionado del sistema, resultados de sombreado, resultado de simulación.	Amplias bases de datos de componentes meteorológicos y fotovoltaicos; Tiene capacidad para identificar las debilidades del diseño del sistema a través del diagrama de pérdida; Los resultados incluyen varias docenas de variables de simulación	La pantalla del programa no se puede maximizar para permitir al usuario ver todos los parámetros si utiliza un monitor pequeño; Incapacidad para manejar el análisis de sombras;	La versión de 30 días de prueba gratuita se puede encontrar en: http://www.pvsyst.com/en/
HOMER	Valentine Energy Software, Germany	Análisis de sombreado y visualización 3D; Análisis de rendimiento; Análisis económico	Amplia base de datos meteorológica con más de 8000 localidades climáticas en todo el mundo junto con base de datos de inversores con más de 13000 módulos y 3100 inversores;	No se admite el análisis de sensibilidad; Complejidad en el modelado de edificios y sitios. Se agrega manualmente módulos e inversores personalizados	la versión de 30 días de prueba gratuita se puede encontrar en: https://www.valentin-software.com/en/products/photovoltaics/57/pvsol-premium
RETSCREEN	Natural Resources Canada	Análisis de simulación, viabilidad y rendimiento.	Fuerte base de datos meteorológica y de productos; Contiene un amplio material de capacitación integrado; Alta resolución en resultados de análisis financiero.	Incapacidad para guardar, imprimir y exportar archivos cuando se utiliza la versión gratuita; Problema de intercambio de datos; No admite cálculos avanzados en la versión gratuita.	Está disponible de forma gratuita en: http://www.nrcan.gc.ca/energy/software-tools/7465
HELIOSCOPE	Folsom Lab, San Francisco, USA	Análisis de simulación y análisis de sombreado.	Fácil de usar; Proporciona un diagrama final de cableado detallado; Tiene diseño de modelo 3D.	No admite el análisis financiero ni de viabilidad económica.	La versión de prueba de 30 días está disponible en: https://www.helioscope.com/ Uso online, no hay software para descargar.
SOLARGIS	Solargis, Slovakia. 2010	Análisis técnico; Planificación y optimización de los sistemas	Fácil de usar; es una herramienta basada en la web, por lo que no hay software para	No es adecuado para el análisis financiero; Menos parámetros técnicos; No se admite el análisis de	La versión de prueba de 30 días está disponible en: https://solargis.info/pvplanner

			descargar; Proporciona una salida detallada con gráficos y tablas.	viabilidad; Internet es necesario para ejecutar la simulación.	
PVWATTS	National Renewable Energy Laboratory (NREL)	Calcula la producción de energía y el costo de la energía de los sistemas de energía fotovoltaica	Calculo de sistemas Fotovoltaicos en todo el mundo. Tanto para profesionales como para propietarios de viviendas.	Para situaciones complejas se tiene que trabajar con un profesional calificado.	Está disponible de forma gratuita en: https://pvwatts.nrel.gov/
PVSOL	Valentin Energy Software en Alemania	Calculo de seguimiento solar, balance económico y dimensionado	Análisis de rendimiento, sombreado, visualización 3D, análisis económico, sistemas domésticos o para autoconsumo en industrias medianas y grandes	Software de pago. Sólo contiene una versión demo por tiempo limitado y no con todos los parámetros de cálculos disponibles	Se encuentra la versión de prueba de 30 días en: https://valentin-software.com/downloads/
PVDESING PRO	Maui Solar Energy Software Corporation	Viabilidad, dimensionado, analiza el comportamiento del sistema con gran cantidad de gráficos y datos de salida.	Obtención de resultados muy completos	Limitación de base de datos climáticos con sólo 239 localizaciones. Software de pago	Es disponible de forma gratuita en: http://www.mauisolarsoftware.com/

Tabla 2.- Comparativa de Herramientas Fotovoltaicas

CAPITULO 6: HERRAMIENTAS DE CARÁCTER DOCENTE

Este capítulo del trabajo está enfocado en herramientas fotovoltaicas de tipo software que utilizan los docentes tanto de universidades como de la rama formación profesional. La mayoría de dichas herramientas han sido desarrolladas por los mismos alumnos y profesores donde anualmente la mayoría de ellas son actualizadas.

Muchos de los docentes utilizan la teoría constructivista [59] donde utilizan actividades basadas en experiencias para la construcción de nuevos conocimientos, es decir no se centra en la reproducción del conocimiento sino en la construcción del mismo.

Se encuentra aplicaciones docentes las cuales sirven de apoyo para una enseñanza de tipo semipresencial “B-Learning” [60] las cuales son sencillas y están relacionadas con tecnología fotovoltaica. Una aplicación destacada en la Universidad de Jaén es Orcad-Pspice la cual es efectiva para la docencia semipresencial debido a que emplea métodos E-Learning. En la Universidad de Jaén destacan software diseñados por profesores y alumnos. En el campo de la ingeniería eléctrica y electrónica destacan dos herramientas que son muy utilizadas como son PSIM y PSPICE . J.D Aguilar en [60] nos comenta que la más utilizada es PSPICE por ser una herramienta de simulación versátil y robusta para ser utilizada por circuitos electrónicos.

A continuación se van a describir una serie de programas que son mayormente softwares fáciles, ideales para la enseñanza porque además ofrecen unos resultados que son fáciles de interpretar:

CALENSOFT

Este programa nos permite la simulación de un determinado sistema fotovoltaico pudiendo utilizar los datos previos almacenados en su base de datos o en caso de no disponer de ellos se pueden incluir de manera manual. Se realizó en la Escuela Politécnica Superior de Jaén y se ha estado utilizando desde entonces como herramienta docente.



Ilustración 27. Menú de inicio de Calensoft

Posteriormente al menú de inicio (Ilustración 27) podemos encontrar distintos apartados como por ejemplo cálculos, base de datos numéricos y base de datos gráficos y una sección de ayuda.

En la sección de cálculos como se puede observar en la Ilustración 28, en primer lugar hay que seleccionar el lugar de estudio donde nos encontramos un desplegable con algunas localidades puntuales a nivel nacional, o para un lugar más en concreto deberíamos introducir la latitud y longitud de dicha ciudad. Posteriormente seleccionamos el módulo fotovoltaico deseado y el programa obtiene los siguientes resultados:

- Valores de tensión de circuito abierto e intensidad de cortocircuito (V_{oc} e I_{sc}).
- Representación gráfica de la temperatura de la célula y ambiente, irradiancia, intensidad y tensión en el punto de máxima potencia, eficiencia, potencia continua y potencia alterna obtenida.
- Representación numérica de los parámetros anteriormente citados.
- Energía y eficiencia del inversor.

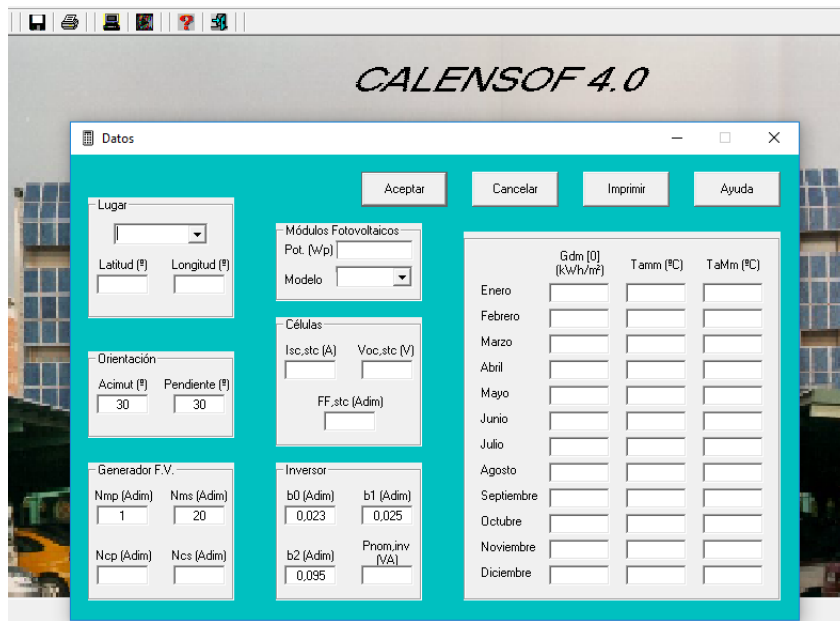


Ilustración 28.- Pantalla de Introducción de datos de Calensoft

Según los parámetros introducidos por el usuario este software nos permite realizar un análisis económico del sistema, dando lugar a un análisis económico con préstamo o sin préstamo.

Este programa es gratuito y se puede descargar en <http://www.ujaen.es/investiga/solar/06software/software.htm>

DIAFEM

Herramienta gratuita online diseñada para cualquier tipo de persona interesada en las energías renovables en la cual te permite el diseño y cálculo de instalaciones eléctricas no conectadas a la red eléctrica [61]. Esta herramienta solicita una serie de datos técnicos para identificar el proyecto y sobre todo una demanda de energía específica, con el fin de realizar el cálculo y diseño de la instalación deseada. Los resultados obtenidos se detallan en un informe técnico.

Está centrada en instalaciones de diseño de pequeñas turbinas eólicas como se puede ver en la ilustración 30, pequeñas instalaciones fotovoltaicas como la que aparece en la ilustración 29 e instalaciones mixtas, es decir un combinado de eólica y fotovoltaica como se aprecia en la ilustración 31.

Este programa ha sido desarrollado junto con la Universidad de Jaén, la Agencia Andaluza de la Energía

Este software se alimenta de otras herramientas las cuales también ha sido creada por la Agencia Andaluza donde contienen una base de datos específicamente para este sistema. Esta base de datos recoge información de reguladores, inversores, medio centenar de diferentes electrodomésticos, aerogeneradores y baterías más usados habitualmente [12]

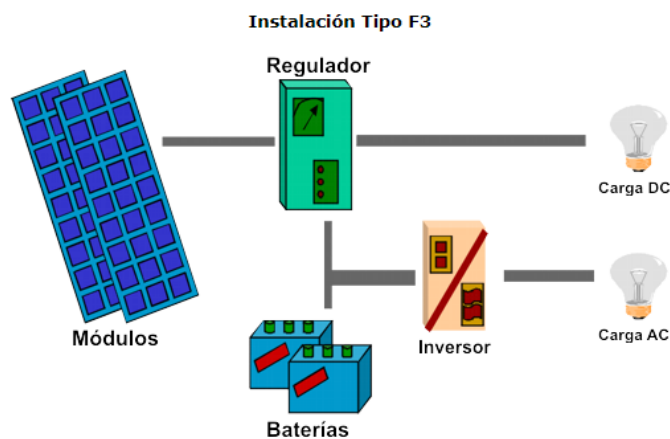


Ilustración 29.- Instalación fotovoltaica

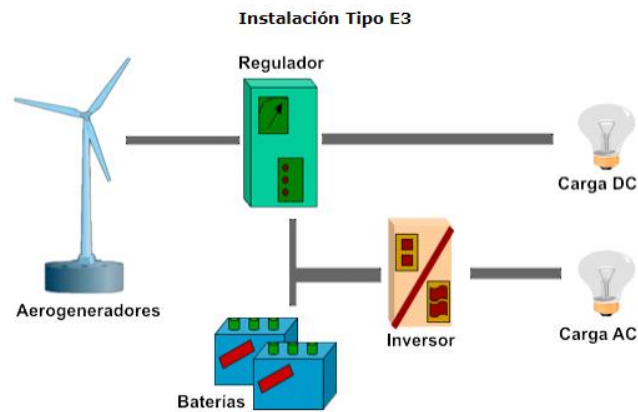


Ilustración 30.- Instalación Eólica

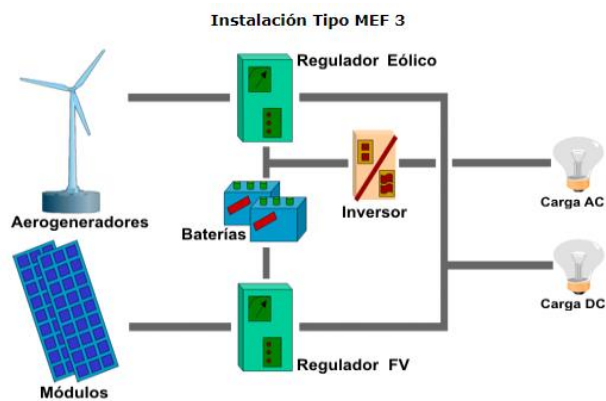


Ilustración 31.- Instalación mixta

Los usuarios interesados solo deben de introducir el consumo habitual de energía que precisan. Por ejemplo, los equipos que van a conectar a dicha instalación como pueden ser electrodomésticos, sistemas de iluminación, la situación geográfica donde se va a situar...etc. Esto hace que el usuario en este programa se guíe de forma intuitiva de la conexión de todos los componentes de su sistema.

ORIENTSOL

Es una herramienta desarrollada por integrantes del grupo de investigación IDEA [62] de la Universidad de Jaén, en sus distintas versiones fruto de distintos trabajos fin de carrera. Esta herramienta estudia para un determinado sistema fotovoltaico las pérdidas de captación energética y es de carácter didáctico.



Ilustración 32.- Tabla Inicio OrientSol

Se reconoce a OrientSol 2.0 [63] por su página de inicio como se puede ver en la ilustración 32, donde nos ofrece la posibilidad de realizar el estudio de la situación óptima de cualquier emplazamiento geográfico del que se dispongan la latitud de este y las radiaciones globales diarias sobre el plano horizontal. También ofrece la posibilidad de realizar dicho estudio en 95 ciudades entre las que se encuentra 52 capitales españolas y las ciudades más importantes del continente Asiático, Europeo, Africano y Americano.



Ilustración 33.- Datos de radiación Global Diaria

Mediante tablas o gráficos este software nos permite obtener la radiación en una determinada ciudad como se puede ver en la ilustración 33, las pérdidas energéticas que se producirían en el caso de utilizar sobre el plano horizontal módulos fotovoltaicos o las siguientes opciones:

- Seguimiento total
- Inclinación óptima mensual
- Inclinación óptima estacional
- Inclinación óptima anual
- Orientación variable e inclinación fija.

Los valores obtenidos ofrecen este sistema la posibilidad de exportarlos en una hoja de Excel para una manipulación mejor de los datos obtenidos.

Se puede descargar gratuitamente en: <http://pfherramientassfv.blogspot.com/p/software-propios.html>

PVGIS

PVGIS ha sido desarrollado desde hace más de 10 años en el centro común de investigación de la Comisión Europea [64], en el sitio del CCI en Ispra, Italia. Esta herramienta proporciona información sobre la radiación solar y el rendimiento de sistema fotovoltaico. También nos aporta información de la energía que se puede obtener de un sistema fotovoltaico en cualquier parte del mundo.

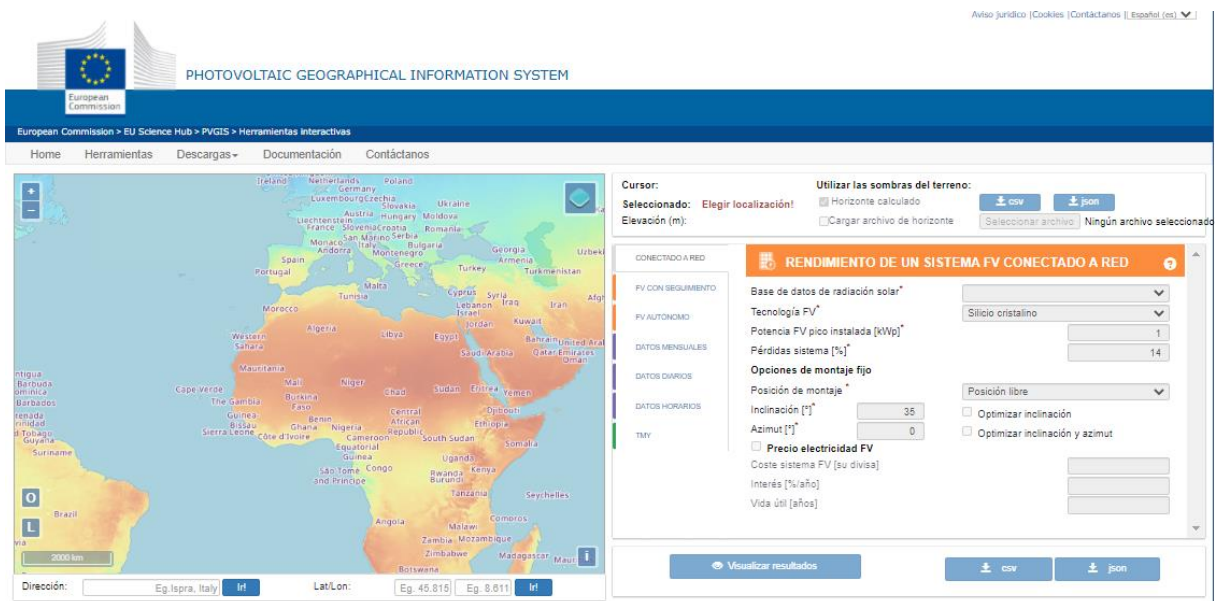


Ilustración 34.- Página de Inicio PVGIS

La elección inicial estará determinada por el tipo de sistema que se elija como: un sistema fotovoltaico conectado a red, un sistema autónomo o para un sistema fotovoltaico con seguimiento como se puede ver en la Ilustración 34. También nos permite estimar la producción media de energía mensual y anual de un sistema conectado a red, sin almacenamiento de baterías. Se tienen en cuenta la radiación solar, la velocidad del viento, el tipo de módulo y la temperatura para el cálculo del sistema FV.

El usuario puede solicitar a PVGIS que calcule la orientación óptima y la pendiente para maximizar la producción de energía anual. El propio usuario

también puede elegir como se montan los módulos del sistema fotovoltaico. Esta herramienta da varias opciones de posición de módulos tales como: colocación del módulo de pie donde los ángulos pueden ser definidos por el usuario y otra opción es la colocación de los módulos en un edificio con ángulos predefinidos de inclinación u orientación. Según la base de datos de radiación solar seleccionada, se realizarán los cálculos de cobertura temporal completa del sistema.

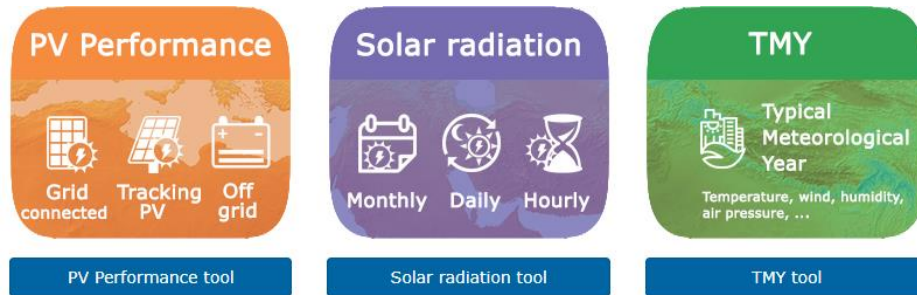


Ilustración 35.- Herramientas proporcionadas por PVGIS

Como se puede ver en la ilustración 35, PVGIS proporciona acceso libre y gratuito a:

- Para diferentes tecnologías y configuraciones de sistemas conectados a red y autónomos ofrece el cálculo del potencial fotovoltaico del propio sistema.
- Como promedios mensuales o perfiles diarios ofrece la radiación solar y la temperatura del sistema.
- Para valores de rendimiento fotovoltaico y valores horarios de radiación solar proporciona una serie completa de dichos valores.
- Listos para imprimir proporciona los mapas, por país o región de los distintos recursos solares y potencial fotovoltaico.
- Para nueve variables climáticas ofrece los datos típicos del año meteorológico.

Las distintas elecciones de sistemas fotovoltaicos viene cada una con unos parámetros diferentes de selección. En la Ilustración 34 se puede ver los parámetros un sistema FV conectado a red donde podemos elegir qué tipo de

tecnología FV queremos en nuestro sistema, la posición de montaje, la potencia FV pico instalada (kWp), entre otros. Otro tipo de elección que podemos hacer es un sistema FV con seguimiento aquí como podemos ver en la ilustración 36 donde nos da la elección de grados de inclinación en el eje vertical y en el eje inclinado.

CONECTADO A RED

FV CON SEGUIMIENTO

FV AUTÓNOMO

DATOS MENSUALES

DATOS DIARIOS

DATOS HORARIOS

TMY

RENDIMIENTO DE UN SISTEMA FV CON SEGUIMIENTO

Base de datos de radiación solar* PVGIS-SARAH

Tecnología FV* Silicio cristalino

Potencia FV pico instalada [kWp]* 1

Pérdidas sistema [%]* 14

Opciones de sistemas de seguimiento

Eje vertical Inclinación [°] (0- Optimizar

Eje inclinado Inclinación [°] (0- Optimizar

Dos ejes

Ilustración 36.- Ventana de SFV con seguimiento en PVGIS.

Si queremos que nuestro sistema sea autónomo debemos introducir los parámetros más importantes para este sistema: potencia FV pico instalada (Wp), capacidad de la batería (Wh), límites de descarga (%), consumo diario (Wh), inclinación y azimut como se puede ver en la ilustración 37.

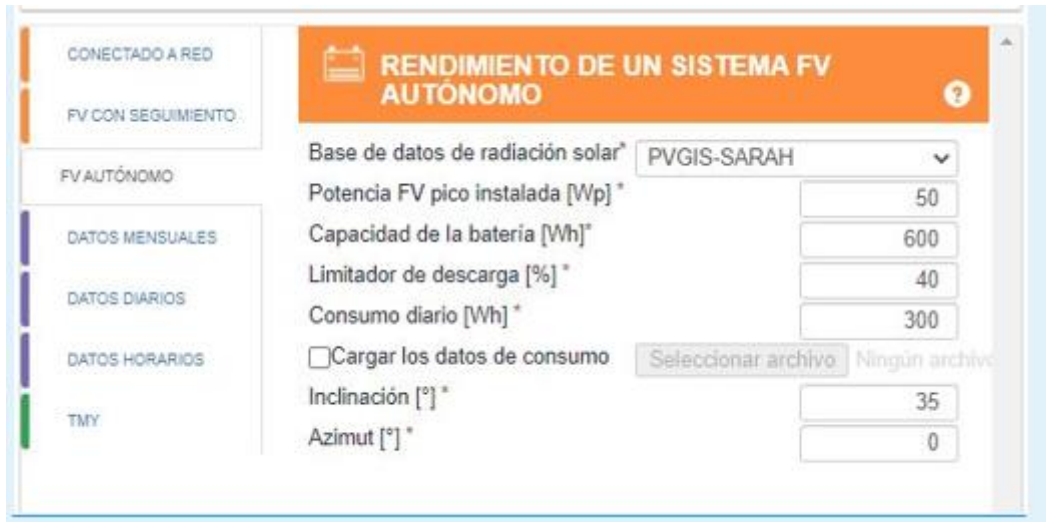


Ilustración 37.- Pantalla de parámetros de un sistema autónomo

Encontramos también una pestaña para los datos mensuales de irradiación, donde podemos marcar el año inicial y final el cual queremos disponer y que tipo de irradiación tenemos (Ilustración 38). Posteriormente podemos incluir los datos promedio diarios de irradiancia, como el tipo de hora, si va la instalación sobre plano fijo o con seguimiento (ilustración 39).



Ilustración 38.- Datos mensuales irradiación en PVGIS

Ilustración 39.- Datos Promedio Diarios de Irradiancia.

PVGIS está disponible para gran parte de Asia y América, también para cualquier lugar de Europa y África y se encuentra en una gran variedad de idiomas tales como: español, francés, italiano e inglés.

PVGIS nos da diferentes salidas según el tipo de sistema fotovoltaico que se haya seleccionado previamente. Por ejemplo un tipo de resultado que nos proporciona esta herramienta es la que se puede ver en la Ilustración 40, es un ejemplo del cálculo de un sistema fotovoltaico conectado a red de montaje fijo, donde a la izquierda nos proporciona una tabla con un resumen anual de los datos de más interés y a la derecha un gráfico de la producción de energía fotovoltaica por mes que nos daría el sistema.

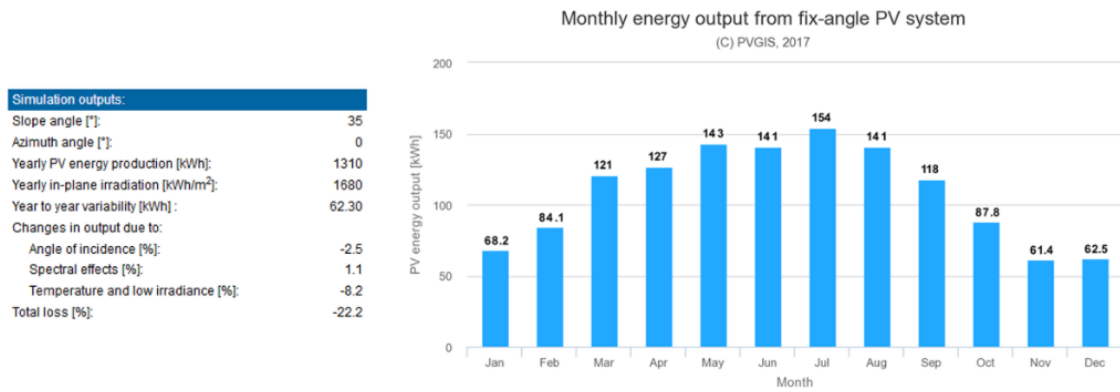


Ilustración 40.- Salidas de cálculo: Gráfico de producción de energía Fotovoltaica por mes.

Fuente: PVGIS Comunidades Europeas 2001-2017

Se puede encontrar gran cantidad de documentación relacionada con PVGIS, como por ejemplo el manual detallado del propio sistema en: <https://ec.europa.eu/jrc/en/PVGIS/docs/usermanual>

Incluso los métodos utilizados para el cálculo de los distintos parámetros los podemos encontrar en la propia página web: <https://ec.europa.eu/jrc/en/PVGIS/docs/methods>

Sobre esta herramienta se encuentra una infinidad de artículos donde se explica cómo funciona, que base de datos nos proporciona, tipo de cálculo y resultados que nos da para un tipo concreto de sistema fotovoltaico..etc, todo esto lo podemos encontrar en [65], [66], [67].

Un ejemplo donde encontramos un estudio sobre el rendimiento de un sistema fotovoltaico en la zona de Europa y Asia es en [68] donde utiliza la herramienta PVGIS y presenta resultados de datos de radiación a partir de datos satélites en la Instalación de Aplicación de Satélites de Monitoreo del Clima (CM-SAF).

PV EXCEL JAÉN 3.0

Esta herramienta desarrollada en el departamento de Ingeniería Electrónica y Automática de la Universidad de Jaén, y se centra en el cálculo de la energía generada por un sistema fotovoltaico.

Simula el comportamiento del sistema fotovoltaico y nos aporta unos resultados tales como: la corriente del generador, tensión, balance energético y económico del sistema, y algo interesante como el impacto medioambiental que puede llegar a ocasionar nuestro sistema fotovoltaico. [69]

Esta herramienta docente está realizada en Microsoft Excel, incluyendo macros en Visual Basic (VBA). En la pantalla de Inicio la podemos reconocer mediante la ilustración 41.

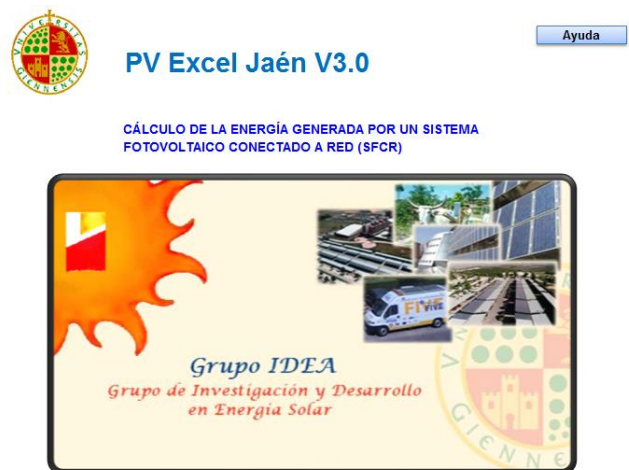


Ilustración 41- PV Excel Jaén 3.0

Posteriormente a esta página, se elige el tipo de diseño de sistema fotovoltaico pudiendo elegir 3 opciones:

- 1.- A partir del módulo fotovoltaico que se quiera emplear.
- 2.- Según la estimación mínima de energía eléctrica que se deben de incorporar a los edificios de nueva construcción según normativa.

3.- según las dimensiones y el tipo de superficie donde se quiera instalar el SFV.

Los datos de salida de esta herramienta según los parámetros introducciones previamente son [69]:

- Diferentes componentes diarias mensuales de la irradiación horizontal
- Irradiancia diaria media mensual
- Evolución diaria media mensual de la temperatura ambiente
- Energía generada según distintas potencias de salida del sistema
- Tensiones diarias medias mensuales a la salida del generador
- Resumen del generador: tipo de fabricante, modelo de célula, tipo de material, total de células...etc.
- Balance de perdidas mensual y anual del sistema fotovoltaico
- Balance medioambiental de emisiones evitadas a la atmosfera.

Los datos finales obtenidos se presentan tabulados y graficados previamente en el desarrollo de esta herramienta se han validado con algunas instalaciones reales, no apreciándose diferencias entre el cálculo y los valores monitorizados.

Se encuentra un Trabajo Final de Grado [70] donde calcula el dimensionado de sistemas FV conectados a red y realiza una comparativa de ayuda al diseño de programas. En [71] utilizan esta herramienta Excel para el cálculo de la energía generada por un SFV conectado a red.

Existe una versión actualizada V4.0 que corrige errores e incorpora alguna que otra funcionalidad. Incorpora una base de datos de todas las capitales de provincias Españolas así como de las principales Europeas (Ilustración 42)

The screenshot shows a window titled "Localización" with a "País" dropdown set to "España" and a "Ciudad" list where "Jaén" is selected. The "Datos" section shows coordinates for Jaén: Latitud: 37,717 and Longitud: -3,883. Below this is a table of monthly climate data for Jaén.

	Gdm(0)	Tmin	Tmax	Tmed
Enero	2463	2,1	19,9	10,98
Febrero	3151	4,9	13,6	9,26
Marzo	4670	6,5	15,6	11,04
Abril	5278	9,1	17,7	13,38
Mayo	6621	12	20,5	16,25
Junio	7205	17	26,1	21,55
Julio	7059	23	32	27,5
Agosto	6238	24,1	32,3	28,2
Septiembre	4978	19,4	29	24,2
Octubre	3758	12,4	23,1	17,75
Noviembre	2478	6	17,5	11,76
Diciembre	2085	3,6	13,9	8,74
Año	4674	11,67	21,77	16,72

Ilustración 42.- Base de datos de Provincias Españolas

CAPITULO 7: CONCLUSIONES

La energía fotovoltaica ya es una de las energías renovables más importantes que hay en la actualidad a nivel mundial. Por tanto el dimensionado de instalaciones de gran potencia como del pequeño consumidor es de vital importancia para saber si es viable la instalación.

El objetivo de este trabajo es el análisis de las distintas herramientas que puede llegar a tener un usuario particular, profesional o docente a la hora de dimensionar una planta fotovoltaica. Para llevar a cabo dicho análisis se recapitularon algunos de los programas más comunes que hay actualmente en el mercado. Llegándose a las siguientes conclusiones:

- Se han aportado una actualización con respecto a trabajos anteriores, de las distintas herramientas más utilizadas a la hora de dimensionar o simular un sistema fotovoltaico. Junto con sus nuevas versiones.
- Con respecto a los programas que se han planteado en este Trabajo Fin de Máster, un usuario particular como un profesional pueden llegar a utilizar prácticamente los mismos programas. Pero los programas enfocados a profesionales son más complejos a la hora de su utilización. Y se necesita de unos conocimientos previos a la hora de interpretar los resultados.
- Por otro lado, se han recopilado algunas de las herramientas más importantes que usan los docentes. Aquí cabe destacar dos herramientas: Calensoft y PVexcel 4.0 donde ambas en ámbito docente son de gran utilidad debido a su fácil comprensión. Otro programa a destacar anteriormente citado es PVGIS desarrollado en European Commission Joint Research Centre de la Comisión Europea, en el sitio del JRC en Ispra, Italia. . El enfoque de PVGIS es la investigación en evaluación de recursos solares, estudios de rendimiento

fotovoltaico (PV) y la difusión de conocimiento y datos sobre energía solar. radiación y rendimiento fotovoltaico. La parte más conocida del trabajo es la aplicación web PVGIS en línea, se han realizado una gran cantidad de investigaciones para que los resultados de PVGIS sean lo más precisos posible. La aplicación web PVGIS ha sufrido una serie de cambios a lo largo de los años, siendo la versión actual PVGIS 5.

Cabe destacar que las herramientas más adecuadas para el uso de profesionales a modo general son:

Para el cálculo del dimensionado destacan PvWatts, Homer y Diafem

Para el cálculo de la simulación: PVSyst, PVSol, Solargis y Helioscope

Para la evaluación económica del sistema FV: de nuevo Homer y PvWatts.

Para el cálculo de la viabilidad del sistema FV destaca Retscreen.

Donde las más completas a la hora de su uso y aportación de resultados son:

PVSyst: aparte del cálculo de simulación, dimensiona, da resultados del sombreado y una estimación financiera del sistema fotovoltaico. Ofrece una base de datos para cualquier parte del mundo donde es una ventaja con respecto a otros programas.

Homer: proporciona el cálculo de simulación, económico y rendimiento del sistema FV junto con un análisis de sombreado en 3D. Tiene una de las bases de datos más amplia con respecto a otras herramientas. Destaca sus resultados de análisis financiero.

Recapitulando todo el Trabajo Fin de máster, se llega a completar todos los objetivos iniciales tales como el estado del arte de las herramientas de ayuda a la evaluación, descripción de algunos de los modelos teóricos de cálculo utilizados de las distintas herramientas y el desarrollo de las herramientas más adecuadas para el ámbito docente y profesional.

Para finalizar, sería interesante establecer unos puntos en los que sería necesario profundizar más en la continuación de este trabajo:

- Profundizar en el capítulo de fundamentos y modelos debido a que hay una gran cantidad de artículos de revista, publicaciones...etc, los cuales investigan sobre los distintos modelos de cálculo en parámetros de la célula/módulo.
- Recopilar el software que últimamente aparece de ayuda al diseño y simulación online de instalaciones en sistemas fotovoltaicos, como por ejemplo SISIFO (Servicio web que permitirá a cualquier usuario o empresa realizar simulaciones precisas de sistemas FV, desarrollado merced al soporte de la Comisión Europea.). Se puede encontrar en: <https://www.sisifo.info/es/DataInput>.
- Búsqueda de recursos docentes relacionados con el cálculo y diseño de instalaciones solares fotovoltaicas, así como conceptos relacionados con la energía solar.

-

ANEXO 1: FICHAS TÉCNICAS

FICHA DE CATALOGACION DE SOFTWARE EN SFV

Título DIAFEM. Dimensionado de Instalaciones Aisladas de Fotovoltaica, Eólica y Mixta.

Autor Agencia Andaluza de la Energía

URL <http://www.agenciaandaluzadelaenergia.es/Diafem/>

Colección/Editorial

Idiomas Español

temática

- | | |
|---|---|
| <input type="checkbox"/> analisis economico | <input checked="" type="checkbox"/> SFV autonomos |
| <input type="checkbox"/> bombeo | <input type="checkbox"/> SFV conectados a red |
| <input checked="" type="checkbox"/> calculo radiacion solar | <input checked="" type="checkbox"/> Sistemas hibridos |
| <input checked="" type="checkbox"/> dimensionado de SFV | <input type="checkbox"/> sombreado |
| <input type="checkbox"/> Seguimiento solar | <input checked="" type="checkbox"/> otros |

Informacion obtenida

<input checked="" type="checkbox"/> Grafica
<input checked="" type="checkbox"/> Numerica
<input checked="" type="checkbox"/> Tabulada

Tipo de Tecnologia Silicio monocristalino y policristalino

Licencias Freeware

Interfaz Grafica Simple

Comentarios DIAFEM permite diseñar instalaciones fotovoltaicas, minieólicas y mixtas. Se puede utilizar online sin necesidad de instalar el software en el ordenador.

FICHA DE CATALOGACION DE SOFTWARE EN SFV

Título	RETScreen
Autor	RETScreen International
URL	https://www.nrcan.gc.ca/energy/software-tools/7465
Colección/Editorial	

Idiomas Inglés, Aleman, Frances y Español entre otros.

Temática

- | | |
|---|--|
| <input checked="" type="checkbox"/> Analisis economico | <input checked="" type="checkbox"/> SFV autonomos |
| <input checked="" type="checkbox"/> Bombeo | <input checked="" type="checkbox"/> SFV conectados a red |
| <input checked="" type="checkbox"/> Calculo radiacion solar | <input checked="" type="checkbox"/> Sistemas hibridos |
| <input checked="" type="checkbox"/> Dimensionado de SFV | <input type="checkbox"/> Sombreado |
| <input checked="" type="checkbox"/> Seguimiento solar | <input type="checkbox"/> Otros |

Informacion obtenida

- | |
|--|
| <input checked="" type="checkbox"/> Grafica |
| <input checked="" type="checkbox"/> Numerica |
| <input checked="" type="checkbox"/> Tabulada |

Tipo de Tecnologia Silicio monocristalino y policristalino entre otros

Licencias Freeware

Interfaz Grafica Compleja

Comentarios Aplicación de diseño de instalaciones de cualquier energia renovable

FICHA DE CATALOGACION DE SOFTWARE EN SFV

Título	OrientSol
Autor	Miriam López Pedregosa
URL	http://www.ujaen.es/investiga/solar/06software/software.htm
Colección/Editorial	

Idiomas Español

Temática

- | | |
|---|---|
| <input type="checkbox"/> Analisis economico | <input type="checkbox"/> SFV autonomos |
| <input type="checkbox"/> Bombeo | <input type="checkbox"/> SFV conectados a red |
| <input checked="" type="checkbox"/> Calculo radiacion solar | <input type="checkbox"/> Sistemas hibridos |
| <input type="checkbox"/> Dimensionado de SFV | <input type="checkbox"/> Sombreado |
| <input checked="" type="checkbox"/> Seguimiento solar | <input type="checkbox"/> Otros |

Informacion obtenida

- | |
|--|
| <input checked="" type="checkbox"/> Grafica |
| <input type="checkbox"/> Numerica |
| <input checked="" type="checkbox"/> Tabulada |

Tipo de Tecnologia Sin especificar

Licencias Freeware

Interfaz Grafica Simple

Comentarios Con esta aplicación podemos obtener mediante tabulaciones o graficos la radiacion obtenida en una determinada ciudad. Exporta los resultados obtenidos a una hoja Excel para poder manejar comodamente los

FICHA DE CATALOGACION DE SOFTWARE EN SFV

Título PV Sol 3.0

Autor Dr. Valentin EnergieSoftware GmbH

URL <https://www.valentin-software.com/>

Colección/Editorial

Idiomas Inglés, Alemán y Francés

Temática

- | | |
|---|--|
| <input checked="" type="checkbox"/> Analisis economico | <input checked="" type="checkbox"/> SFV autonomos |
| <input type="checkbox"/> Bombeo | <input checked="" type="checkbox"/> SFV conectados a red |
| <input checked="" type="checkbox"/> Calculo radiacion solar | <input type="checkbox"/> Sistemas hibridos |
| <input checked="" type="checkbox"/> Dimensionado de SFV | <input checked="" type="checkbox"/> Sombreado |
| <input type="checkbox"/> Seguimiento solar | <input type="checkbox"/> Otros |

Informacion obtenida

- | |
|--|
| <input checked="" type="checkbox"/> Grafica |
| <input checked="" type="checkbox"/> Numerica |
| <input type="checkbox"/> Tabulada |

Tipo de Tecnologia Silicio policristalino, monocristalino y otros.

Licencias

Interfaz Grafica Compleja

Comentarios Para una vivienda en concreto estima el consumo generado. Puede usar varios tipos de modulos e inversores en un mismo sistema.

FICHA DE CATALOGACION DE SOFTWARE EN SFV

Título	SOLARGIS
Autor	Solargis, Slovakia. 2010
URL	https://solargis.info/pvplanner
Colección/Editorial	

Idiomas Inglés

Temática

- | | |
|---|--|
| <input type="checkbox"/> Analisis economico | <input type="checkbox"/> SFV autonomos |
| <input type="checkbox"/> Bombeo | <input checked="" type="checkbox"/> SFV conectados a red |
| <input checked="" type="checkbox"/> Calculo radiacion solar | <input type="checkbox"/> Sistemas hibridos |
| <input checked="" type="checkbox"/> Dimensionado de SFV | <input type="checkbox"/> Sombreado |
| <input checked="" type="checkbox"/> Seguimiento solar | <input type="checkbox"/> Otros |

Informacion obtenida

- | |
|--|
| <input checked="" type="checkbox"/> Grafica |
| <input type="checkbox"/> Numerica |
| <input checked="" type="checkbox"/> Tabulada |

Tipo de Tecnologia Sin especificar

Licencias A. Web

Interfaz Grafica Simple

Comentarios
Proporciona una salida detallada con gráficos y tablas.

FICHA DE CATALOGACION DE SOFTWARE EN SFV

Título Calensoft

Autor Carlos Javier Martínez Espejo

URL <http://www.ujaen.es/investiga/solar/06software/software.htm>

Colección/Editorial Grupo IDEA. Universidad de Jaén

Idiomas Español

Temática

- | | |
|---|---|
| <input checked="" type="checkbox"/> Analisis economico | <input type="checkbox"/> SFV autonomos |
| <input type="checkbox"/> Bombeo | <input type="checkbox"/> SFV conectados a red |
| <input checked="" type="checkbox"/> Calculo radiacion solar | <input type="checkbox"/> Sistemas hibridos |
| <input checked="" type="checkbox"/> Dimensionado de SFV | <input type="checkbox"/> Sombreado |
| <input type="checkbox"/> Seguimiento solar | <input type="checkbox"/> Otros |

Informacion obtenida

- | |
|--|
| <input checked="" type="checkbox"/> Grafica |
| <input type="checkbox"/> Numerica |
| <input checked="" type="checkbox"/> Tabulada |

Tipo de Tecnologia Sin especificar

Licencias Freeware

Interfaz Grafica

Comentarios Herramienta de diseño para palicaciones fotovoltaicas con un funcionamineto muy sencillo e interfaz grafica manejable

FICHA DE CATALOGACION DE SOFTWARE EN SFV

Título PVWatts

Autor NREL's Electricity, Resources and Buiding systems
Integration Center

URL <https://pvwatts.nrel.gov/>

Colección/Editorial

Idiomas Inglés

Temática

- | | |
|---|--|
| <input checked="" type="checkbox"/> Analisis economico | <input type="checkbox"/> SFV autonomos |
| <input type="checkbox"/> Bombeo | <input checked="" type="checkbox"/> SFV conectados a red |
| <input checked="" type="checkbox"/> Calculo radiacion solar | <input type="checkbox"/> Sistemas hibridos |
| <input checked="" type="checkbox"/> Dimensionado de SFV | <input type="checkbox"/> Sombreado |
| <input checked="" type="checkbox"/> Seguimiento solar | <input type="checkbox"/> Otros |

Informacion obtenida

- | |
|--|
| <input type="checkbox"/> Grafica |
| <input checked="" type="checkbox"/> Numerica |
| <input checked="" type="checkbox"/> Tabulada |

Tipo de Tecnologia Sin especificar

Licencias Freeware y A.Web

Interfaz Grafica Simple

Comentarios Aplicación libre compatible con cualquier navegador.

FICHA DE CATALOGACION DE SOFTWARE EN SFV

Título HELIOSCOPE

Autor Folsom Lab, San Francisco, USA

URL <https://www.helioscope.com/>

Colección/Editorial

Idiomas Inglés y Español

Temática

- | | |
|---|--|
| <input checked="" type="checkbox"/> Analisis economico | <input checked="" type="checkbox"/> SFV autonomos |
| <input type="checkbox"/> Bombeo | <input checked="" type="checkbox"/> SFV conectados a red |
| <input checked="" type="checkbox"/> Calculo radiacion solar | <input type="checkbox"/> Sistemas hibridos |
| <input checked="" type="checkbox"/> Dimensionado de SFV | <input type="checkbox"/> Sombreado |
| <input checked="" type="checkbox"/> Seguimiento solar | <input type="checkbox"/> Otros |

Informacion obtenida

<input checked="" type="checkbox"/> Grafica
<input checked="" type="checkbox"/> Numerica
<input checked="" type="checkbox"/> Tabulada

Tipo de Tecnologia Sin especificar

Licencias

Interfaz Grafica Simple

Comentarios Diseño 3D. Propuestas rápidas. Simulaciones financiadas. Diseños ilimitados

FICHA DE CATALOGACION DE SOFTWARE EN SFV

Título PVGIS

Autor Dr. Thomas Huld, Dr. Ewan D.Dunlop

URL <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>

Colección/Editorial SOLARTEC

Idiomas Inglés

Temática

- | | |
|---|--|
| <input type="checkbox"/> Analisis economico | <input type="checkbox"/> SFV autonomos |
| <input type="checkbox"/> Bombeo | <input checked="" type="checkbox"/> SFV conectados a red |
| <input checked="" type="checkbox"/> Calculo radiacion solar | <input type="checkbox"/> Sistemas hibridos |
| <input checked="" type="checkbox"/> Dimensionado de SFV | <input type="checkbox"/> Sombreado |
| <input checked="" type="checkbox"/> Seguimiento solar | <input type="checkbox"/> Otros |

Informacion obtenida

- | | |
|-------------------------------------|----------|
| <input checked="" type="checkbox"/> | Grafica |
| <input checked="" type="checkbox"/> | Numerica |
| <input checked="" type="checkbox"/> | Tabulada |

Tipo de Tecnologia Silicio policristalino, monocristalino y otros.

Licencias A.Web y Freeware

Interfaz Grafica Simple

Comentarios Aplicación que tiene en cuenta las sombras de montañas y es actualizado continuamente.

FICHA DE CATALOGACION DE SOFTWARE EN SFV

Título	GEOSOL V2.0
---------------	-------------

Autor	Alejandro L.Hernandez
--------------	-----------------------

URL	http://www.unsa.edu.ar/alejo/geosol/
------------	---

Colección/Editorial	
----------------------------	--

Idiomas	Español
----------------	---------

Temática

- | | |
|---|---|
| <input type="checkbox"/> Analisis economico | <input type="checkbox"/> SFV autonomos |
| <input type="checkbox"/> Bombeo | <input type="checkbox"/> SFV conectados a red |
| <input checked="" type="checkbox"/> Calculo radiacion solar | <input type="checkbox"/> Sistemas hibridos |
| <input type="checkbox"/> Dimensionado de SFV | <input type="checkbox"/> Sombreado |
| <input type="checkbox"/> Seguimiento solar | <input type="checkbox"/> Otros |

Informacion obtenida

- | |
|--|
| <input checked="" type="checkbox"/> Grafica |
| <input checked="" type="checkbox"/> Numerica |
| <input type="checkbox"/> Tabulada |

Tipo de Tecnologia	Sin especificar
---------------------------	-----------------

Licencias	Freeware
------------------	----------

Interfaz Grafica	Simple
-------------------------	--------

Comentarios	Programa para el cálculo de todos los parametros solares. Carece de bases de datos de ciudades, por lo tanto hay que introducirlos manualmente
--------------------	--

FICHA DE CATALOGACION DE SOFTWARE EN SFV

Título HOMER V2.81

Autor HOMER Software

URL <https://www.homerenergy.com/>

Colección/Editorial

Idiomas Inglés

Temática

- | | |
|---|--|
| <input checked="" type="checkbox"/> Analisis economico | <input checked="" type="checkbox"/> SFV autonomos |
| <input type="checkbox"/> Bombeo | <input checked="" type="checkbox"/> SFV conectados a red |
| <input checked="" type="checkbox"/> Calculo radiacion solar | <input checked="" type="checkbox"/> Sistemas hibridos |
| <input checked="" type="checkbox"/> Dimensionado de SFV | <input type="checkbox"/> Sombreado |
| <input checked="" type="checkbox"/> Seguimiento solar | <input checked="" type="checkbox"/> Otros |

Informacion obtenida

- | |
|--|
| <input checked="" type="checkbox"/> Grafica |
| <input type="checkbox"/> Numerica |
| <input checked="" type="checkbox"/> Tabulada |

Tipo de Tecnologia Sin especificar

Licencias

Interfaz Grafica Simple

Comentarios Programa completo para el desarrollo de instalaciones renovables en todas sus versiones y mixtas.

FICHA DE CATALOGACION DE SOFTWARE EN SFV

Título PV Design Pro

Autor Maui Solar Energy Software Corporation

URL <http://www.maui-solar-software.com/>

Colección/Editorial

Idiomas Inglés

Temática

- | | |
|---|--|
| <input checked="" type="checkbox"/> Analisis economico | <input type="checkbox"/> SFV autonomos |
| <input type="checkbox"/> Bombeo | <input checked="" type="checkbox"/> SFV conectados a red |
| <input checked="" type="checkbox"/> Calculo radiacion solar | <input type="checkbox"/> Sistemas hibridos |
| <input type="checkbox"/> Dimensionado de SFV | <input type="checkbox"/> Sombreado |
| <input checked="" type="checkbox"/> Seguimiento solar | <input type="checkbox"/> Otros |

Informacion obtenida

- | |
|--|
| <input checked="" type="checkbox"/> Grafica |
| <input checked="" type="checkbox"/> Numerica |
| <input type="checkbox"/> Tabulada |

Tipo de Tecnologia Silicio policristalino, monocristalino y otros.

Licencias A.Web y Freeware

Interfaz Grafica Simple

Comentarios Aplicación simple que funciona a través de una aplicación.

FICHA DE CATALOGACION DE SOFTWARE EN SFV

Título PV Syst

Autor PV Syst SA

URL <https://www.pvsyst.com/>

Colección/Editorial

Idiomas Inglés, Alemán, Español y Frances entre otros.

Temática

- | | |
|---|--|
| <input checked="" type="checkbox"/> Analisis economico | <input checked="" type="checkbox"/> SFV autonomos |
| <input checked="" type="checkbox"/> Bombeo | <input checked="" type="checkbox"/> SFV conectados a red |
| <input checked="" type="checkbox"/> Calculo radiacion solar | <input type="checkbox"/> Sistemas hibridos |
| <input checked="" type="checkbox"/> Dimensionado de SFV | <input checked="" type="checkbox"/> Sombreado |
| <input checked="" type="checkbox"/> Seguimiento solar | <input type="checkbox"/> Otros |

Informacion obtenida

- | |
|--|
| <input checked="" type="checkbox"/> Grafica |
| <input checked="" type="checkbox"/> Numerica |
| <input checked="" type="checkbox"/> Tabulada |

Tipo de Tecnologia Silicio policristalino, monocristalino y otros.

Licencias

Interfaz Grafica Simple

Comentarios Programa utilizado para dimensionado se SFV y permite el analisis economico de componetes usando costes reales.

Referencias

- [1] A. Mellit y S. Kalogirou, «Artificial intelligence techniques for photovoltaic applications. A review,» *Progress in Energy and Combustion Science*, vol. 34, nº DOI:10.1016/j.pecs.2008.01.001, pp. 574-632, 2008.
- [2] UNEF, «El Sector Fotovoltaico hacia una Nueva era,» 2020. [En línea]. Available: file:///C:/Users/agv00/Downloads/informe-anual-unef-2020-v-digital_final.pdf.
- [3] U. (. E. Fotovoltaica), «El sector fotovoltaico impulsor de la transición energética,» 2019. [En línea]. Available: https://unef.es/wp-content/uploads/dlm_uploads/2019/09/memoria_unef_2019-web.pdf.
- [4] W. Zhou, C. Lou, Z. Li, L. Lu y H. Yang, «Current status of research on optimum sizing of stand-alone hybrid,» *Applied Energy*, vol. 87, nº DOI: 10.1016/j.apenergy.2009.08.012, pp. 380-389, 2010.
- [5] M. Mani y R. Pillai, «Impact of dust on solar photovoltaic PV performance. Research status, challenges and recommendations.,» *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 14, nº DOI:10.1016/j.rser.2010.07.065, pp. 3124-3131, 2010.
- [6] «Frankfurt School-UNEP Centre for Climate & Sustainable Energy Finance and Bloomberg New Energy Finance,» [En línea]. Available: <http://fs-unep-centre.org/sites/default/files/publications/gtr2018v2.pdf>.
- [7] «China from Frank Haugwitz, Asia Europe Clean Energy (Solar);India Research, cited in Priya Sanjay,» [En línea]. Available: <https://mercomindia.com/india-reaches-20-gw-installed-solar-capacity/>.
- [8] IRENA, «Future Of Solar Photovoltaic: Deployment, investment, technology, grid integration and socio-economic aspects,» 2019. [En línea]. Available: <https://irena.org/publications/2019/Nov/Future-of-Solar-Photovoltaic>.
- [9] B. Parida, S. Iniyán y R. Goic, «Review and Analysis of Solar Photovoltaic Softwares,» *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 15, nº DOI: 10.1016/j.rser.2010.11.032, pp. 1625-1636, 2011.
- [10] L. Photon, «Photon international "Las Perspectivas son Buenas",» *Laboratorio Photon*, vol. 4, pp. 46-69, 2011.
- [11] C. E. Herraiz, "Herramientas básicas de ayuda en el diseño de sistemas fotovoltaicos. Análisis de software de ayuda de instalaciones fotovoltaicas". Trabajo Fin de Grado, Universidad de Jaén, 2015.

- [12] Carlos García Castro, «Simulación de Instalaciones Fotovoltaicas con PVSyst, Trabajo Fin de Grado, Escuela Politécnica Superior de Jaén. Universidad de Jaén,» 2015. [En línea]. Available: <http://tauja.ujaen.es/bitstream/10953.1/4226/1/TFG%20Carlos%20Garc%C3%ADa%20Castro.pdf>.
- [13] D. G. Murillo, «Modelado y análisis de sistemas fotovoltaicos. Universidad Politécnica de Catalunya,» 2003. [En línea]. Available: <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/94355?show=full>.
- [14] L. Gómez, «Modelado para la simulación, el diseño y la validación de inversores fotovoltaicos conectados a la Red Eléctrica. Tesis Doctoral. Departamento de ingeniería eléctrica, electrónica y de control. Universidad nacional de educación a distancia,» 2011.
- [15] M. Lalwani y D. Kothari, «Investigation of Solar Photovoltaic Simulation Softwares,» *International Journal of Applied Engineering Research*, vol. 1, nº 3, pp. 585-601, 2010.
- [16] B. Kumar y K.Sudhakar, «Performance evaluation of 10 MW grid connected solar photovoltaic power plant in India,» *Energy Reports*, vol. 1, nº DOI: 10.1016/j.egyr.2015.10.001, pp. 184-192, 2015.
- [17] G. T. K. Joshua S. Stein, «Models Used to Assess the performance of Photovoltaic Systems, Sandia National Laboratories,» Albuquerque, NM 87185, 2009.
- [18] M. Karami y Outbib, «General Review and classification of different MPPT Techniques,» *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 68, nº DOI: 10.1016/j.rser.2016.09.132, pp. 1-18, 2017.
- [19] G. Araujo y E.Sánchez, «Analytical expressions for the determination of the maximum power point and the fill factor of a solar cell,» *Solar Cells*, vol. 5, nº DOI: 10.1016/0379-6787(82)90008-4, pp. 377-386, 1982.
- [20] M. Green, «Solar cells: operating principles, technology, and system applications,» *Englewood Cliffs, Nueva Jersey, Prentice-Hall*, pp. 1-288, 1982.
- [21] C. C. Rus, J. R. P. Aguilar, F. Almonacid y n. Pérez-Higueras, «Classification of methods for annual energy harvesting calculations of photovoltaic generators,» *Energy Conversion and Management*, vol. 78, nº DOI: 10.1016/j.enconman.2013.11.006, pp. 527-536, 2014.
- [22] J.D.Aguilar, P.J.Perez, J. D. L. Casa y C.Rus, «Cálculo de la Energía Generada por un Sistema Fotovoltaico Conectado a Red: Aplicación Docente,» TAE 2006. [En línea]. Available: <http://espacio.uned.es/fez/view/taee:congreso-2006-1145>.
- [23] S.Labed y E.Lorenzo, «The impact of solar radiation variability and data discrepancies on the design of PV Systems,» *Renewable Energy*, nº DOI: 10.1016/j.renene.2003.12.009, pp. 1007-1022, 2003.
- [24] S. D. Kumar, S. V. Verma y A. Pratap, «Review and analysis of Solar Photovoltaic Softwares,» *International Journal of Current Engineering and Technology*, vol. 4, nº 2, pp. 725-731, 2014.

- [25] M. A. Green, Y. Hishikawa, E. D. Dunlop, D. H. Levi, J. Hohl-Ebinger y A. W. Ho-Baillie, «Solar cell efficiency tables (version 51),» *Progress in Photovoltaics*, vol. 26, nº DOI: 10.1002/pip.2978, pp. 3-12, 2018.
- [26] R. Nema, S. Nema y G. Agnihotri, «Computer Simulation Based Study of Photovoltaic Cells/Modules and their Experimental Verification,» *International Journal of Recent Trends in Engineering*, vol. 1, nº 3, pp. 151-156, 2009.
- [27] E. Lorenzo, «Radiación solar y dispositivos fotovoltaicos,» *Electricidad Solar Fotovoltaica. Progensa*, vol. 2, 2007.
- [28] S. Chander, A. Purohit, A. Sharma, Arvind, S.P. Nehra y M.S. Dhaka, «A study on photovoltaic parameters of mono-crystalline silicon solar cell with cell temperature,» *Energy Report*, vol. 1, nº DOI: 10.1016/j.egy.2015.03.004, pp. 104-109, 2015.
- [29] Y. Jiang, J. A. A. Qahouq y M. Orabi, «Matlab/Pspice Hybrid Simulation Modeling of Solar PV Cell/Module,» *2011 Twenty-Sixth Annual IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition*, nº DOI: 10.1109/APEC.2011.5744752, 2011.
- [30] M. A. Stosovic, M. Dimitrijevic y D. L. y. V. Litovski, «Spice Modeling and Simulation of a MPPT Algorithm,» *Electronics*, vol. 18, nº DOI: 10.7251/ELS1418011A, pp. 11-15, 2014.
- [31] D. G. Murillo, «Modelado y análisis de sistemas fotovoltaicos,» Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona, 2003.
- [32] E. D.L, «Simplified Method for Prediction Photovoltaic Array Output, Solar Energy,» *Solar energy*, vol. 27, nº DOI: 10.1016/0038-092X(81)90051-7, pp. 555-560, 1981.
- [33] J. Braun y J. Mitchell, «Solar Geometry for Fixed and Tracking Surfaces, Solar Energy,» *Solar Energy*, vol. 31, nº 5; DOI: 10.1016/0038-092X(83)90046-4, pp. 439-444, 1983.
- [34] N. R. Canada, «Retscreen,» [En línea]. Available: <https://www.nrcan.gc.ca/energy/retscreen/7465>.
- [35] K.-H. Lee, D.-W. Lee, N.-C. Baek, H.-M. Kwon y C.-J. Lee, «Preliminary determination of optimal size for renewable energy resources in buildings using RETScreen,» *Energy*, vol. 47, nº DOI: 10.1016/j.energy.2012.08.040, pp. 83-96, 2012.
- [36] S. Universidad de Ginebra, «PVSYST,» [En línea]. Available: <https://www.pvsyst.com/>.
- [37] L. R. Esteban, «Modelado energético con Pvsyst de seis sistemas fotovoltaicos situados en la cubierta de la ETSIDI, Trabajo Fin de Grado, Universidad Politécnica de Madrid,» 2017.
- [38] A. M. y. B. Wittmer, «PVSYST USER'S MANUAL PVSYST 6,» [En línea]. Available: <https://d3pcsg2wj9izr.cloudfront.net/files/73830/download/660275/100.pdf>.
- [39] k. J.Sauer, T. Roessier y C. W. Hansen, «Modeling the Irradiance and Temperature Dependence of Photovoltaic Modules in Pvsyst,» *IEEE Journal of Photovoltaics*, vol. 5, nº DOI: 10.1109/JPHOTOV.2014.2364133, pp. 152-158, 2015.

- [40] Y.M.Irwan, A.R.Amelia, M.Irwanto, Fareq.M, W.Z.Leow, N.Gomesh y I.Safwati, «Search ScienceDirect,» *Energy Procedia*, vol. 79, nº DOI: 10.1016/j.egypro.2015.11.539, pp. 596-603, 2015.
- [41] PVWATTS, «Solar Resource Data and Tools- Version 1,» [En línea]. Available: <http://www.nrel.gov/rredc/pvwatts/version1.html>.
- [42] PVWATTS, «Solar Resource Data and Tools - Version 2,» [En línea]. Available: <http://www.nrel.gov/rredc/pvwatts/version2.html>.
- [43] B. Marion, M. Anderberg y P. Gray-Hann, «Recent Revisions to PVWATTS,» *DOE Solar Energy Technologies*, pp. 1-5, 2005.
- [44] V. Software, «PV Sol Premium,» [En línea]. Available: <https://www.valentin-software.com/es/productos/pvsol>.
- [45] «Software. The Solar Design Company,» [En línea]. Available: <https://www.solardesign.co.uk/softwareindex.php>.
- [46] D. Hunter, «Maui Solar Energy Software Corporation (MSESC),» Fanney National Institute of Standards and Technology, 2004. [En línea]. Available: <http://www.maui-solar-software.com/>.
- [47] S. R. Best, J. A. Rodiek y H. W. Brandhorst, «Comparison of solar modeling data to actual PV installations: Power predictions and optimal tilt angles,» *2011 37th IEEE Photovoltaic Specialists Conference*, nº DOI: 10.1109/PVSC.2011.6186345, pp. 19-24, 2012.
- [48] L. Fara y D. Craciunescu, «Output Analysis of Stand-Alone PV Systems: Modeling, Simulation,» *Sustainable Solutions for Energy and Environment. Bucharest, Romania*, nº DOI: : 10.1016/j.egypro.2017.03.1125, pp. 595-605, 2016.
- [49] «Homer Energy,» [En línea]. Available: <https://www.homerenergy.com>.
- [50] N. Umar, B. Bora, C. Banerjee y B. S. Panwar, «Comparison of different PV power simulation softwares: case study on performance analysis of 1MW grid-connected PV Solar power plant,» *International Journal of Engineering Science Invention (IJESI)*, vol. 7, pp. 11-24, 2018.
- [51] A. O. Rousis, D. Tzelepis, I. Konstantelos, C. Booth y G. Strbac, «Design of a Hybrid AC/DC Microgrid Using Homer Pro: Case Study on an Islanded Residential Application,» *Inventions*, nº DOI: 10.3390/inventions3030055, pp. 1-14, 2018.
- [52] M. K. Deshmukh y B. Athokpam, «Modeling of Energy Performance of Stand-Alone SPV System Using HOMER Pro,» *Energy Procedia*, nº DOI: 10.1016/j.egypro.2018.11.100, pp. 90-94, 2019.
- [53] F. Labs, «Helioscope,» [En línea]. Available: <http://www.folsomlabs.com/about>.
- [54] ENGIMIA, «Helioscope, la mejor herramienta de diseño solar fotovoltaico para integradores,» [En línea]. Available: <https://engimia.com/blog/helioscope-la-mejor-herramienta-de-diseno-solar-fotovoltaico-para-integradores>.

- [55] D. L. Guittet y J. M. Freeman, «Validation of Photovoltaic Modeling Tool HelioScope Against Measured Data,» *National Renewable Energy Lab. (NREL), Golden, CO (United States)*, nº DOI: 10.2172/1481365, pp. 1-24, 2018.
- [56] «SOLARGIS,» [En línea]. Available: <https://solargis.com/maps-and-gis-data/download/spain>.
- [57] M. Šúri, T. Cebecauer y A. Skoczek, «SOLARGIS: SOLAR DATA AND ONLINE APPLICATIONS,» *European Photovoltaics Solar Energy Conference. Hamburg, Germany*, pp. 1-5, 2011.
- [58] E. Tarigan, Djuwari y L. Purba, «Assessment of PV Power Generation for Household in Surabaya Using SolarGIS–pvPlanner Simulation,» *Energy Procedia*, vol. 47, nº DOI: 10.1016/j.egypro.2014.01.200, pp. 85-93, 2014.
- [59] S. H. Requena, «El modelo constructivista con las nuevas tecnologías: aplicado en el proceso de aprendizaje,» *Revistade Universidad y Sociedad del Conocimiento*, vol. 5, nº DOI: 10.7238/rusc.v5i2.335, pp. 26-35, 2008.
- [60] J. Aguilar, F. Muñoz-Rodríguez, C. Rus-Casas y J.L.fernandez-Carrasco, «Docencia Semipresencial de Sistemas Fotovoltaicos: Laboratorio virtual con Pspice. Actas congreso TAAE,» 2016 Sevilla. [En línea].
- [61] «Diafem - Dimensionamiento de Intsalaciones fotovoltaicas, eolicas o mixtas. Junta de Agencia Andaluza de la Energía,» [En línea]. Available: <http://www.agenciaandaluzadelaenergia.es/Diafem/>.
- [62] U. d. Jaén, «IDEA,» [En línea]. Available: <https://pfcherramientassfv.blogspot.com/p/software-proprios.html>.
- [63] C. Rus, F. Almonacid, L. Hontori, F. M. P. Pérez y J. Aguilar, «Herramienta software para el calculo de la radiación solar en superficies con distinta inclinación: Orientsol,» *Iniciación a la investigación. Departamento de Ingeniería Electrónica y Automática. Universidad de Jaén*, pp. 1-4.
- [64] «The European Commission’s science and knowledge service - PVGIS. El Centro Común de Investigación (JRC),» [En línea]. Available: <https://ec.europa.eu/jrc/en/pvgis>.
- [65] M. Suri, T. Huld, E. Dunlop y T. Cebecauer, «Geographiic Aspects of Photovoltaics in Europe: Contribution of the PVGIS Website,» *IEEE Journal of Slected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing. Institute of Electrical and Electronics Engineers*, vol. 1, nº DOI: 10.1109/JSTARS.2008.2001431, pp. 34-41, 2008.
- [66] MarcelŠúri, T. A.Huld, E. D.Dunlop y H. A.Ossenbrink, «Potential of solar electricity generation in the European Union member states and candidate countries,» *Solar Energy*, vol. 87, nº DOI: 10.1016/j.solener.2006.12.007, pp. 1295-1305, 2007.
- [67] M. Šúri, T. A. Huld y E. D. Dunlop, «PV-GIS: a web-based solar radiation database for the calculation of PV potential in Europe,» *International Journal of Sustainable Energy*, nº DOI: 10.1080/14786450512331329556, pp. 55-67, 2005.

- [68] T. Huld, R. Müller y A. Gambardellaa, «A new solar radiation database for estimating PV performance in Europe and Africa,» *Solar energy*, vol. 86, nº DOI: 10.1016/j.solener.2012.03.006, pp. 1803-1815, 2012.
- [69] J. D. Aguilar-Peña, P. Pérez-Higueras, C.Rus-Casas, F. Muñoz-Rodríguez y P. M. Rodrigo-Cruz, «Herramienta de ayuda al diseño y cálculo de instalaciones de energía solar fotovoltaica conectada a la red: PV Excel Jaén 3.0. TAE 2014. Universidad de Jaén,» [En línea]. Available: <http://taee.etsist.upm.es/actas/2014/papers/2014S7BA03.pdf>.
- [70] J. M. M. Palomino, «Dimensionado de sistemas fotovoltaicos conectados a red mediante Excel (SFCR-EPS-EXCEL-V3.0). Comparativa de programas de ayuda al diseño. Universidad de Jaén,» Julio 2012.
- [71] D. C. Chica, «Calculo de la energía generada por un sistema Fotovoltaico Conectado a Red (SFCR). PFC.EPS. Universidad de Jaén,» Septiembre 2006.