

## **Herramienta software para el cálculo de la radiación solar en superficies con distinta inclinación: ORIENTSOL**

C. Rus, F. Almonacid, L. Hontoria, F.J. Muñoz, P.J. Pérez, J.D. Aguilar

*Departamento de Ingeniería Electrónica y Automática.  
Escuela Politécnica Superior.  
Grupo I+DEA  
[crus@ujaen.es](mailto:crus@ujaen.es)*

### **Resumen**

Este documento pretende presentar una herramienta software de carácter didáctico que hace más sencillo tanto la enseñanza como el aprendizaje del cálculo de la radiación solar sobre superficies inclinadas. Este concepto forma parte de los contenidos de la asignatura optativa, "Instalaciones fotovoltaicas". Ésta es ofertada por la Universidad de Jaén en el plan de estudios correspondiente a Ingeniero Técnico Industrial en las especialidades de: Mecánica, Electricidad y Electrónica Industrial.

### **INTRODUCCIÓN**

Hoy en día las políticas medioambientales, de prácticamente todos los países, apuestan por el desarrollo e implementación de tecnologías aplicadas a la puesta en marcha de instalaciones energéticas que usen energías renovables [Las energías renovables en España. Balance y perspectivas. IDEA Ministerio de Industria y Energía].

En la Universidad de Jaén, conscientes del aumento del número de instalaciones que usan energía solar, pretende fomentar el uso de las fuentes de energías respetuosas con el medio ambiente implicando a la comunidad universitaria en el desarrollo y uso de energías renovables.

La Universidad de Jaén tiene una amplia experiencia en la formación en energía solar fotovoltaica. En concreto la asignatura optativa "Instalaciones fotovoltaicas", que es ofertada en el plan de Ingeniero Técnico Industrial en las especialidades de: Mecánica, Electricidad y Electrónica Industrial, con una carga lectiva de 6 créditos. La asignatura es impartida por miembros del grupo de investigación IDEA (Investigación y Desarrollo en Energía solar y Automática), siendo una de sus líneas prioritarias la Energía Solar Fotovoltaica. Este grupo ha generado en los últimos años abundante producción científica que se aprovecha por los alumnos matriculados en esta asignatura, trasladando conocimientos y experiencia tanto en instalaciones fotovoltaicas conectadas a la red como en sistema fotovoltaicos autónomos.

### **CONTENIDOS DE LA ASIGNATURA "INSTALACIONES FOTOVOLTAICAS"**

Los contenidos que se imparten en la asignatura Instalaciones Fotovoltaicas sirven para conseguir el objetivo final de la asignatura, que será el de establecer las bases tecnológicas y conocer las herramientas y métodos para que el alumno adquiera las competencias necesarias, para que quede capacitado en el diseño, cálculo y análisis de instalaciones fotovoltaicas, tanto conectadas a red como autónomas, así como analizar sus distintas aplicaciones [J.Adell,.

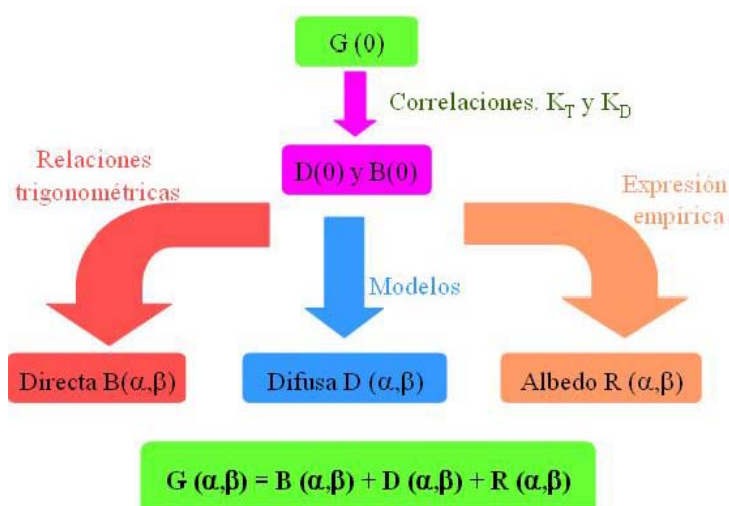
*Educación En La Internet. Universitas , Serie IV, Vol. Extraordinari XX Setmana Pedagògica 1995, J. D. Aguilar, et al. Sitio web como herramienta de apoyo a la docencia de sistemas fotovoltaicos. VI Congreso de Tecnologías Aplicadas a la Enseñanza de la Electrónica. Valencia 2004, F.J. Gimeno et al. "La formación en energía solar fotovoltaica en la Universidad Politécnica de Valencia". Congreso de Tecnologías Aplicadas a la Enseñanza de la Electrónica. Barcelona. 2000 y M. Iqbal, An introduction to Solar Radiation, Academic Press. 1980].*

Dentro del contenido del programa de la asignatura, cabe resaltar el bloque dedicado a radiación solar; debido a la propia naturaleza del capítulo, así como por estar ofertada a alumnos con distintas trayectorias curriculares, se ha observado que resulta de difícil comprensión.

Cuando el alumno aborde la última parte de la asignatura en la que se diseña un sistema fotovoltaico, tanto sistemas conectados a red o autónomos, debe calcular los valores de funcionamiento del sistema por lo que hay que tener en cuenta algunas cuestiones relacionadas con el tema de radiación solar como:

- a- Determinar la situación óptima de los módulos de un sistema fotovoltaico (orientación e inclinación).
- b- Calcular la captación energética anual cuando el sistema realiza un seguimiento del sol total (orientación e inclinación).
- c- Estudiar de manera comparativa las pérdidas de la captación de los casos en estudio.

Por todo lo arriba enumerado es necesario conocer la radiación solar global incidente sobre la superficie del generador, así como la inclinación óptima del mismo. En ambos casos se debe medir la irradiación diaria media mensual en el plano horizontal o consultar una base de datos en la que esté disponible. Con este dato se procede al cálculo siguiendo el esquema que se recoge a continuación (**Fig. 1**).



**Figura 1.** Esquema para el cálculo de la irradiancia.

Para obtener la expresión final el alumno debe combinar distintas expresiones matemáticas con el objetivo final de conseguir del sistema que la energía procedente del mismo sea lo máxima posible, con lo que se deben minimizar las pérdidas de captación energética.

Para el cálculo de las pérdidas de captación energética que se producen en los sistemas fotovoltaicos se deben tener en cuenta factores astronómicos, que

son aquellos que dependen de la geometría Tierra – Sol. Son función de la posición relativa Sol – Tierra, de las coordenadas geográficas del lugar considerado y del ángulo de incidencia de los rayos solares. Dependen, por tanto, de la posición y altura del Sol en cada instante, y además factores climáticos, que son aquellos que hacen que la radiación solar no sea la máxima esperable para una zona geográfica determinada en un mes, día y hora concreto. Esto es debido a que los llamados factores climáticos atenúan en muchos casos la misma, por ejemplo: las nubes, la cantidad de vapor de agua, el ozono, los aerosoles, etc. contenidos en la atmósfera y que son los responsables de que esta atenuación se produzca.

La dificultad de trabajar con gran cantidad de datos, así como con expresiones matemáticas complejas, han motivado a la realización del software que se presenta en este trabajo, donde se ha obtenido una aplicación que permite realizar un exhaustivo estudio de las pérdidas de captación energética producidas en el sistema fotovoltaico.

Además, también se ha pretendido proporcionar la topología óptima para la colocación de dichos paneles según el lugar geográfico y la finalidad que pretendamos darle a la instalación (uso anual, estacional o mensual) para que de esta manera se puedan minimizar las pérdidas energéticas producidas.

## DESCRIPCIÓN DE LA HERRAMIENTA OrientSol

La herramienta OrientSol, ha sido desarrollada en el entorno de programación Visual Basic. Al ejecutar el programa se obtiene de una de las ciudades disponibles en la base de datos del programa la radiación solar sobre una superficie inclinada.

Partiendo como base de doce valores de radiación global media mensual sobre superficie horizontal,  $G(0)$ , la *latitud del lugar* y aplicando expresiones matemáticas complejas, se procede a la descomposición de la radiación global sobre la superficie horizontal en radiaciones de albedo, difusa y directa. De este modo se obtienen las distintas componentes de la radiación: para una orientación fija (al sur) y una inclinación también fija (óptima); para una orientación variable y óptima para cada hora de sol con inclinación fija (óptima); y para una orientación y orientación variables y óptimas para cada hora de sol.

El programa, que presenta el aspecto que se recoge a continuación (**Fig. 2**), realiza los cálculos de forma transparente al usuario. Además de la ciudad, inicialmente se debe elegir una opción de inclinación para los cálculos de entre: óptima anual, óptima estacional, óptima mensual, orientación variable e inclinación óptima, seguimiento total o todos.

Una vez finalizados los cálculos el programa permite tanto imprimir los resultados como exportar los mismos a una hoja de cálculo de Excel. De esta forma los resultados obtenidos pueden enlazarse con otras aplicaciones.

## CONCLUSIONES

Se ha desarrollado una herramienta con fines didácticos para el cálculo de radiación solar sobre superficie inclinada. Con ella se puede calcular la captación energética, de cualquier capital de provincia española, según la orientación e inclinación que se seleccione para el sistema fotovoltaico. Además de obtener de manera comparativa las pérdidas de la captación en los distintos casos en estudio.

La herramienta proporciona al alumno un entorno de fácil manejo, con el que poder obtener los datos de partida necesarios para el diseño de una instalación fotovoltaica.

Por otro lado, como docentes nos gustaría destacar que se ha logrado una asimilación de las competencias prácticas más sencilla. En el tiempo en el que el programa se está usando se ha conseguido mejorar el conocimiento de esta parte de la asignatura por parte de los alumnos, y los resultados conseguidos por ellos han mejorado.



**Figura 2.** Entorno de OrientSol.