

CÁLCULO DE LA ENERGÍA GENERADA POR UN SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO A RED: APLICACIÓN DOCENTE.

J.D.AGUILAR, P.J.PEREZ, J DE LA CASA, C. RUS

Grupo I+DEA. Escuela Politécnica Superior. Universidad de Jaén. Campus de las Lagunillas. Edif.

A3. Jaén. España. Tel:+34.953.212348.

Correo-e: jagUILAR@ujaen.es. <http://solar.ujaen.es>

RESUMEN

En este trabajo, presentamos un modelo simplificado, orientado a la docencia para el cálculo de la producción de energía eléctrica de un sistema fotovoltaico conectado en red. Este modelo se usa para realizar las prácticas regladas de la asignatura optativa Instalaciones Fotovoltaicas dentro de la titulación de Ingeniería Técnica Industrial en la Universidad de Jaén. Además de la energía suministrada, el alumno calcula los valores de tensión, corriente y máxima potencia del generador para los distintos valores de irradiancia y temperatura ambiente. Los valores de radiación y energía obtenidos por este método coinciden con los obtenidos mediante otros modelos y con los medidos en diferentes sistemas.

1. Introducción.

La energía solar fotovoltaica es una energía limpia y renovable, de fácil instalación y mantenimiento, con una larga vida útil y una alta fiabilidad y que, sin embargo, sólo aporta un 0,02% de la producción eléctrica en España[1] No obstante, se prevé un rápido y significativo crecimiento de su aportación energética debido a su actual desarrollo tecnológico y al compromiso medioambiental de los países desarrollados. Los índices de crecimiento anuales de la producción fotovoltaica mundial aumentaron desde el 15% hasta el 25 % siendo los sistemas fotovoltaicos conectados a red (SFCR) los que se han revelado como una de las aplicaciones mas prometedoras para abordar la producción de electricidad de origen solar.

En los SFCR se dispone de un generador fotovoltaico y un inversor que convierte la corriente continua proporcionada por los paneles en corriente alterna con las características de la red eléctrica, así como los elementos de protección y medida necesarios. Este tipo de instalaciones fotovoltaicas se conectan en paralelo con la empresa distribuidora para que la instalación cumpla con el Real Decreto 2818/1998, en

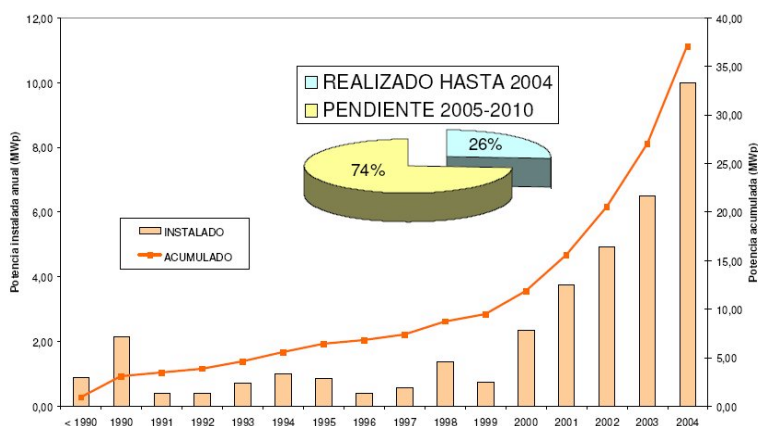


Figura 1. Evolución histórica de la potencia fotovoltaica total instalada en España. (Fuente: Plan de energías renovables en España 2005-2010).

el que se establece que toda la energía generada por el sistema fotovoltaico se entrega a la red (se vende) y que el consumo total de la vivienda se extraiga (se compre) de la red.

Al mismo tiempo, se observa un notable cambio en el tipo de aplicaciones conectadas a red que se han realizado en los últimos años, donde ha aumentado el número de sistemas de media y gran

potencia instalada. Hasta ahora el incremento de la potencia fotovoltaica instalada, se ha basado en pequeñas y medianas instalaciones, situadas en los tejados o integradas en edificios. Sin embargo en los últimos años se ha producido un aumento de las grandes instalaciones. En la figura 1 se representa la evolución histórica en el periodo 1990-2004 de la potencia anual instalada en

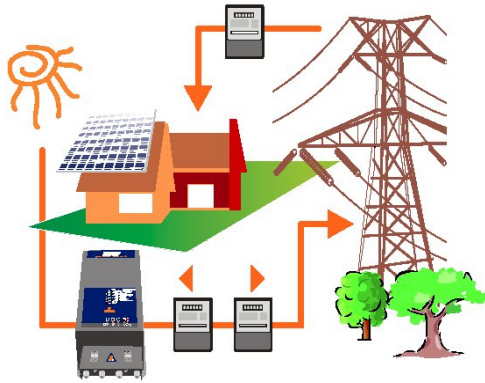


Figura 2. Diagrama sistema fotovoltaico conectado a red. (Cortesía de Instituto tecnológico de Canarias)



Figura 3. Sistema fotovoltaico conectado a red en fachada y pérgola en edificio aulario del campus de la Universidad de Jaén

España. A partir del año 1999 se produce un salto cualitativo muy importante en la potencia instalada anualmente, coincidiendo con el inicio de la introducción en el mercado de las aplicaciones fotovoltaicas conectadas a red. En el gráfico de sectores se muestra la potencia total instalada hasta 2004, de energía solar fotovoltaica, respecto del objetivo inicial establecidos para el 2010 en el Plan de Fomento de la Energías Renovables de 1999. Es necesario por tanto aumentar los esfuerzos en investigación, desarrollo y formación para contribuir al desarrollo de esta energía.

En la Escuela Politécnica Superior de Jaén, hay diversas asignaturas que complementan el currículo del ingeniero relacionadas con las energías alternativas, dos asignaturas cuatrimestrales optativas de 6 créditos cada una, *Electricidad Fotovoltaica*: asignatura donde se imparten los conocimientos básicos sobre la radiación, célula solar y la generación de energía, y la asignatura *Instalaciones Fotovoltaica*: tratándose los diferentes elementos de los que consta una instalación fotovoltaica junto con las consideraciones de diseño, tanto de instalaciones fotovoltaicas autónomas, como instalaciones conectadas en red .

Las prácticas regladas de la asignatura de Instalaciones fotovoltaicas son: 1.- Sistemas fotovoltaicos (SFV) en Internet: búsqueda de información relacionada con los distintos elementos que componen una instalación y búsqueda de datos sobre radiación solar. 2.- Radiación solar: con el objetivo de aprender a calcular la radiación solar que se recibe sobre una superficie cualquiera. 3.- Generador fotovoltaico: cálculo de los valores de tensión y corriente del punto de máxima potencia del generador para los distintos valores de irradiancia y temperatura, así como la energía generada por el sistema. 4.- Diseño instalación SFV y 5.- Diseño de sistema fotovoltaico autónomo (SFA).

En el Departamento disponemos de una página web[2] (<http://solar.ujaen.es>) , en la que hemos incluido un curso básico sobre energía solar fotovoltaica, con diferentes herramientas de cálculo de aplicación docente[3].

2. Antecedentes

Los sistemas fotovoltaicos conectados a la red son aquellos cuya instalación está motivada por la inyección de energía eléctrica a la red, ya sea con ánimo de venta de la producción eléctrica de nuestro

sistema fotovoltaico o como apoyo a la red eléctrica. Es fundamental poder estimar la energía producida por un sistema fotovoltaico a lo largo de un año, de la forma más exacta posible.

La estimación de la energía producida por un SFCR es un concepto ampliamente estudiado en la literatura técnica sobre SFV [4,5,6,7]; podemos encontrar desde métodos y modelos para la simulación, hasta métodos simplificados de cálculo [8,9]. Hoy día incluso existen métodos de cálculo on-line que presentan páginas Web de diferentes organismos como Joint Research Center (JRC)[10]. Aunque parece haber ciertas discrepancias entre las predicciones de los modelos y las medidas de la energía inyectada a la red eléctrica [11,12].

Existen predicciones simples que consisten en la mera multiplicación de un valor de irradiación por otro de potencia de pico que suelen conducir a estimaciones muy alejadas del comportamiento real del sistema. También hay intentos de aproximación a cálculos más exactos analizando distintos factores que influyen en el proceso de generación de energía útil, tales como, emplazamiento del generador fotovoltaico, sombras, potencia máxima disponible, fenómenos de segundo orden, características del inversor, etc [11,13]. Estos últimos procedimientos se alejan del fin docente perseguido y nosotros hemos optado por utilizar un modelo, mezcla de algunos de los modelos existentes, intentando conjugar sencillez con precisión.

3. Modelo de Cálculo de la energía suministrada por un sistema fotovoltaico conectado a red.

Presentamos el modelo general utilizado para estimar los valores de energía producida por un SFCR a lo largo de un año. Además, se calculan los parámetros más representativos que caracterizan a un SFCR, tales como los valores de la tensión, corriente y potencia a la salida del generador. En el modelo empleado se considera que:

- 1.- la potencia del sistema coincide con la nominal ofrecida por el fabricante.
- 2.- el sistema trabaja siempre en el punto de máxima potencia
- 3.- el sistema se encuentra operativo permanentemente.

Además no se consideran las pérdidas por dispersión, las pérdidas en los cables, las pérdidas por suciedad del generador, sistema de seguridad o fallos en el sistema, ni paradas programadas.

El modelado del comportamiento del SFCR se basa en calcular el valor de la corriente y tensión de la célula en el punto de máxima potencia, a intervalos de una hora, a partir de los valores diarios medios mensuales de irradiación, temperatura y de los parámetros de la célula en condiciones estándar. El procedimiento de cálculo implementado en el modelo propuesto se puede resumir en la siguiente secuencia de bloques[14,15]

1. Cálculo de la irradiación diaria media mensual directa y difusa usando las expresiones propuestas por Liu y Jordan[16], y las correlaciones obtenidas por Page[17].
2. Cálculo de la irradiancia a partir de la irradiación diaria según el método propuesto por Whillier[18].
3. Cálculo de la irradiancia en el plano del generador usando el modelo propuesto por Pérez[19] para la componente difusa y considerando las pérdidas por transmitancia debidas a las pérdidas de Fresnel, a la suciedad y a los bajos niveles de irradiancia.
4. Cálculo de temperatura ambiente suponiendo que evoluciona de acuerdo con dos semiciclos de dos funciones coseno.
5. Cálculo de la corriente de cortocircuito, del factor de forma, corriente y tensión en el punto de máxima potencia de la célula (Grenn[15]. Marion [20]).
6. Cálculo de la energía generada a partir de los valores V-I obtenidos para el generador y el modelo usado de inversor

Los **datos de partida**(tabla1) que se han empleado para realizar los cálculos son los valores diarios medios mensuales de radiación y temperatura ambiente, los parámetros que caracterizan al modulo, generador y los del inversor.

Tabla 1. Datos de Partida

5	LUGAR			
6	Latitud	37,73	Longitud	3,5
7				
8		H_{dm}(0)	T max	T min
9	Enero	2.380	12,9	2,06
10	Febrero	3.150	13,6	4,91
11	Marzo	4.430	15,6	6,48
12	Abril	5.380	17,7	9,05
13	Mayo	6.260	20,5	12,00
14	Junio	6.950	26,1	17,00
15	Julio	7.460	32,0	23,00
16	Agosto	6.650	32,3	24,10
17	Septiembre	5.260	29,0	19,40
18	Octubre	3.550	23,1	12,40
19	Noviembre	2.450	17,5	6,01
20	Diciembre	2.020	13,9	3,57
21	Anual	4.662	21,2	11,7
22	MODULOS	(str)	CELULAS	
23	Isc	19,6	Isc	3,267
24	Voc	7,26	Voc	0,605
25	Im	18,3	Imáx	3,050
26	Vm	5,8	Vmáx	0,483
27	Ncs	12	GENERADOR	
28	Ncp	6	Nms	Nmp
29	TONC	47	80	8
30	ORIENTACIÓN (°)			
31	Acimut (E neg)	0	Pendiente	30
32	INVERSOR			
33	b0	b1	b2	Pnom
34	0,02	0,02	0,07	60.000

Los principales **datos obtenidos** al aplicar el procedimiento descrito a los datos de partida son los siguientes:

$G(\alpha, \beta)$: Irradiancia global sobre el plano del generador

T_a : Temperatura ambiente

I_G : Corriente del generador

V_G : Tensión del generador

η : Rendimiento del inversor

P_{ac} : Potencia a la salida del inversor

E_{ac} : Energía generada por el sistema

Para la estimación de los valores de funcionamiento de un sistema fotovoltaico es necesario conocer la irradiancia global incidente sobre la superficie del generador y la temperatura ambiente del mismo correspondientes a una determinada escala temporal (diaria, horaria, cada diez minutos, etc.)[21].

El Año Meteorológico Típico (en lo sucesivo, AMT)[22] recoge los distintos valores horarios de irradiancia global horizontal y temperatura ambiente obtenidos a lo largo de un año hipotético constituido por una sucesión de doce meses pertenecientes a un conjunto de años reales. Estos doce meses se escogen de modo que el AMT represente con fiabilidad las características meteorológicas del lugar en cuestión. Los datos proporcionados por este año “artificial” permiten modelar el comportamiento de los SFCR de forma más precisa que

usando los valores de un determinado año o valores medios mensuales.

El AMT sólo se encuentra disponible para muy pocas localidades, incluso resulta difícil conseguir los valores horarios de radiación horizontal y temperatura ambiente para la mayoría de los lugares. Normalmente, los únicos datos disponibles para todas las localizaciones son los doce valores medios mensuales de irradiancia global diaria horizontal ($H_{dm}(0)$) junto con los doce valores medios mensuales de la temperatura ambiente diaria máxima (T_{aMdm}) y los correspondientes doce valores de la temperatura mínima (T_{amdm}).

Esta circunstancia obliga a recurrir a procedimientos que, a partir de este reducido número de datos disponibles, estimen la evolución temporal [23] de la irradiancia y de la temperatura ambiente en intervalos de una hora, diez minutos, u otro intervalo de un “día representativo” para cada mes, así como a considerar que todos los días del mismo mes poseen una evolución temporal de la irradiancia y temperatura idéntica a la de su “día representativo”.

El objeto de los siguientes apartados es la descripción del procedimiento de cálculo de la evolución temporal de la irradiancia ($G(\alpha, \beta)$) sobre superficies arbitrariamente orientadas e inclinadas y la temperatura ambiente (T_a) para el “día representativo” a intervalos de una hora a partir de $H_{dm}(0)$, T_{aMdm} y T_{amdm} .

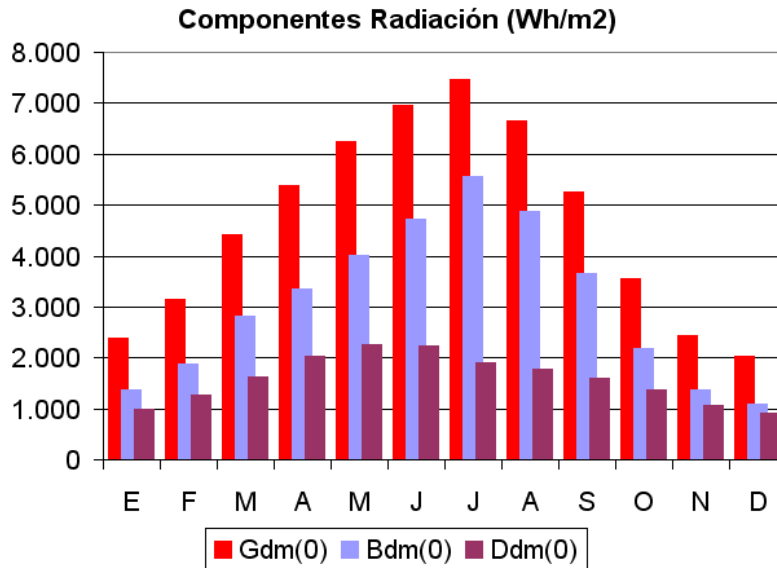


Figura 4. Irradiancia directa y difusa horizontal diaria media mensual

La irradiación diaria media mensual puede ser en la actualidad fácilmente obtenida de diferentes bases de datos de reconocido prestigio como la NASA (<http://eosweb.larc.nasa.gov/sse>) o Joint Research Center [JRC], (<http://sunbird.jrc.it/pvgis/pv/imaps/imaps.htm>) Institute for Environment and Sustainable Renewable Energies, Ispra (Italy).

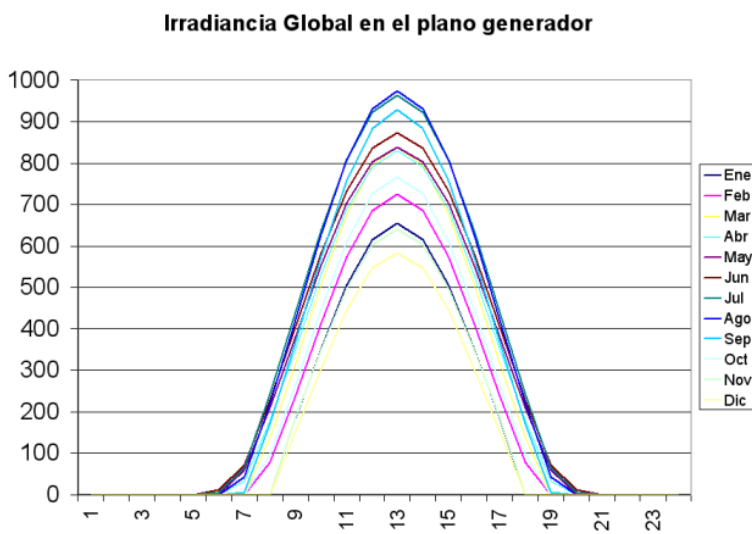


Figura 5. Irradiancia en el plano del generador

3.1 Procedimiento para el cálculo de la irradiancia en el plano del generador.

Paso 1.- Estimación de las irradiaciones directa y difusa horizontales diarias medias mensuales a partir del valor medio mensual de la irradiación global diaria horizontal. *Paso 2.-* Estimación de los valores de las irradiación directa y difusa horizontales en intervalos de una hora. *Paso 3.-* Estimación de los valores de la irradiancia global en intervalos de una hora sobre una superficie orientada e inclinada

La irradiancia global sobre una superficie arbitrariamente orientada e inclinada $G(\alpha, \beta)$ se obtiene mediante la suma de las irradiancias directa $G_B(\alpha, \beta)$, difusa $G_D(\alpha, \beta)$, y de albedo $G_R(\alpha, \beta)$. La estimación de cada una de estas componentes de la irradiancia global se realiza a partir de los valores de las componentes horizontales de la irradiancia ($G(0)$, $G_B(0)$ y $G_D(0)$).

3.2. Estimación de la evolución temporal de la temperatura ambiente del “día representativo” en intervalos de una hora

El modelo utilizado para describir la variación de la temperatura ambiente (T_a) a lo largo de un día a partir de la temperatura máxima y mínima de ese día asume que:

- La temperatura ambiente máxima (T_{aM}) se produce siempre dos horas después del mediodía solar ($\omega = \pi/6$).
- La temperatura ambiente mínima (T_{am}) se produce siempre al amanecer ($\omega = \omega_s$).
- Entre estos dos instantes, la temperatura ambiente evoluciona de acuerdo con dos semiciclos de dos funciones coseno, en función del tiempo solar (ω):

A.- Para $\omega < \omega_s$, se usa
$$T_a = T_{aM} - \frac{T_{aM} - T_{am}}{2} [1 + \cos(a\omega + b)] \quad (1)$$

donde
$$a = \frac{\pi}{\pi/6 - \omega_s - 2\pi} \quad \text{y} \quad b = -a\omega_s$$

B.- Para $\omega_s < \omega < \pi/6$, se usa
$$T_a = T_{am} + \frac{T_{aM} - T_{am}}{2} [1 + \cos(a\omega + b)] \quad (2)$$

donde
$$a = \frac{\pi}{\omega_s - \pi/6} \quad \text{y} \quad b = -a\pi/6$$

C.- Para $\omega > \pi/6$, se usa
$$T_a = T_{aM} - \frac{T_{aM} - T_{am}}{2} [1 + \cos(a\omega + b)] \quad (3)$$

donde
$$a = \frac{\pi}{2\pi + \omega_s - \pi/6} \quad \text{y} \quad b = -(\pi + a\pi/6)$$

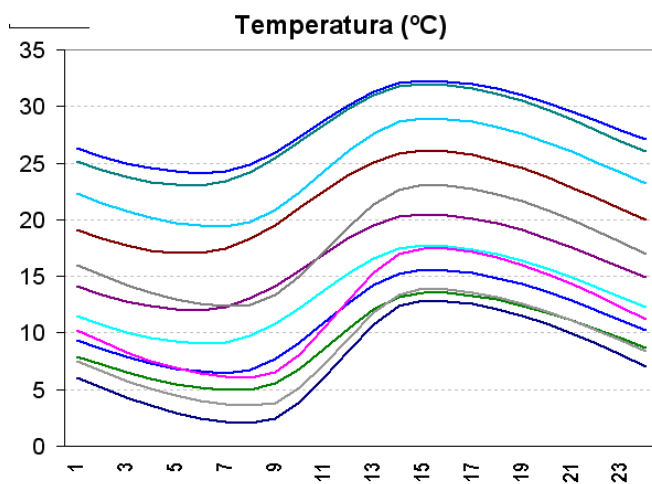


Figura 6. Evolución temporal temperatura ambiente

Este procedimiento se empleará para calcular la evolución temporal de la temperatura ambiente (T_a) para el “día representativo” de cada mes, a intervalos de una hora, a partir de las temperaturas máxima y mínima del “día representativo” (T_{aMdr} y T_{amdr} respectivamente), las cuales se supone que coinciden con el valor medio mensual de las temperaturas máxima y mínima correspondiente a ese mes (T_{aMdm} y T_{amdm}).

3.3. El generador Fotovoltaico

Para el cálculo de los valores de operación de un generador fotovoltaico se puede considerar el siguiente procedimiento, cuyo objetivo es obtener el valor de la potencia máxima, tensión y corriente que puede alcanzar el generador para un par de valores determinados de irradiancia y temperatura ambiente; En este método se calcula la tensión y corriente del punto de máxima potencia de la célula, a partir de los siguientes valores característicos de la misma[14]:

- Corriente de cortocircuito de una célula en condiciones estándar ($I_{SC, stc}$)
- Tensión de circuito abierto de una célula en condiciones estándar ($V_{OC, stc}$)
- Corriente de máxima potencia de una célula en condiciones estándar ($I_{MAX, stc}$)
- Tensión de máxima potencia de una célula en condiciones estándar ($V_{MAX, stc}$)
- Temperatura de operación nominal de la célula (T_{ONC})
- Factor de forma en condiciones estándar (FF_{stc})

El proceso de cálculo emplea secuencialmente las siguiente nueve relaciones para obtener los valores de operación de la célula:

<p>1.- Corriente de cortocircuito de la célula</p> $I_{SC} = G(W / m^2) \frac{I_{SC, stc}}{1000W / m^2} \quad (4)$	<p>2.- Temperatura de la célula</p> $T_c (^{\circ}C) = T_a (^{\circ}C) + \left(\frac{T_{ONC} (^{\circ}C) - 20}{800W / m^2} \right) G(W / m^2) \quad (5)$
<p>3.- Tensión de circuito abierto de la célula</p> $V_{OC} (V) = V_{OC, stc} (V) - 0,0023(T_c (^{\circ}C) - 25) \quad (6)$	<p>4.- Tensión de célula normalizada</p> $v_{oc} = \frac{V_{OC}}{V_t} \text{ siendo } V_t \text{ el voltaje térmico} \quad (7)$ $V_t (V) = 0,025 \frac{T_c (^{\circ}C) + 273}{300} \quad (8)$
<p>5.- Factor de forma para una célula ideal sin considerar la resistencia serie</p> $FF_0 = \frac{v_{oc} - \ln(v_{oc} + 0.72)}{v_{oc} + 1} \quad (9)$	<p>6.- Resistencia normalizada</p> $r_s = 1 - \frac{FF_{stc}}{FF_0} \quad (10)$
<p>7.- Tensión y corriente de célula en el punto de máxima potencia</p> $V_{MAX} = V_{OC} \cdot \left[1 - \frac{b}{v_{oc}} \cdot \ln a - r_s \cdot (1 - a^{-b}) \right] \quad (11)$ $I_{MAX} = I_{SC} \cdot (1 - a^{-b}) \quad (12)$ $a = v_{oc} + 1 - 2 \cdot v_{oc} \cdot r_s \quad (13)$ $b = \frac{a}{1 + a} \quad (14)$	
<p>8.- Máxima potencia de la célula (P_{MAX})</p> $P_{MAX} = V_{MAX} I_{MAX} \quad (15)$	<p>9.- A partir de los valores calculados para las células del generador se suponen los siguientes valores de operación para el generador:</p> $V_{MAXG} = V_{MAX} \cdot N_{ms} \cdot N_{cs} \quad (16)$ $I_{MAXG} = I_{MAX} \cdot N_{mp} \cdot N_{cp} \quad (17)$ $P_{MAXG} = P_{MAX} \cdot N_{mp} \cdot N_{cp} \cdot N_{ms} \cdot N_{cs} \quad (18)$

3.4 Cálculo de la Energía

Para el calculo de la eficiencia del inversor se ha utilizado una expresión polinomial de la eficiencia del inversor en función de la potencia de entrada:

$$\eta_b = \frac{P_{salida}}{P_{entrada}} = \frac{P_{entrada} - P_{perdidas}}{P_{entrada}} = \frac{p_{in} - (b_0 + b_1 \cdot p_{in} + b_2 \cdot p_{in}^2)}{p_{in}} \quad (19)$$

donde:

$P_{nominal}$ es la potencia nominal de salida del inversor (W)

$p_{in} = P_{entrada} / P_{nominal}$ (adimensional)

b_0 , b_1 y b_2 son coeficientes de pérdidas característicos del inversor, estos valores se corresponden con los valores medios obtenidos por Schmidt[24] para los coeficientes k a partir de una muestra representativa de inversores existentes en el mercado ($k_0 = 0.02$, $k_1 = 0.025$, $k_2 = 0.08$).

Para el cálculo de la energía diaria a partir de los valores de la potencia se usa la siguiente aproximación:

$$E = \int_{\text{dia}} P(t) dt \approx \sum_{j=1}^N P_j \cdot \Delta t \quad (20)$$

donde E es la energía expresada en Wh, $P(t)$ es la potencia en W, P_j son los valores de potencia tomados en intervalos de una hora, $N=24$ valores y $\Delta t=1$ hora.

Los valores de radiación[25] y energía[26] obtenidos mediante este modelo coinciden con los obtenidos mediante otros modelos y con los medidos en diferentes sistemas. En la tabla 2 presentamos algunos de los resultados obtenidos aplicando el procedimiento presentado, tomando como datos de entrada la tabla 1, correspondientes a Jaén.

Tabla 2.- Resultados obtenidos a partir de los datos tabla 1

DATOS				
SUPERFICIE GENERADOR	540,8	m ²		
POTENCIA ESTANDAR	67,9	W		
RESULTADOS				
ENERGIA INCIDENTE	137.249	kWh	100%	
ENERGIA DC ANUAL	117.552	kWh	14%	Pérdidas de captura
ENERGIA ACANUAL	104.945	kWh	9%	Pérdidas en inversor
			76%	Rendimiento (PR)
	1546	Kwh/KWp		Productividad

3. Prácticas

El procedimiento anteriormente visto es largo y tedioso, por lo que para la realización de las prácticas regladas de clase los dividiremos en varios apartados:

1. *Práctica de búsqueda de recursos en Internet:* Obtener información de Internet sobre módulos fotovoltaicos (Isifoton I-106), inversores sistemas fotovoltaicos conectados a red, principales fabricantes, Irradiación diaria media mensual sobre superficie horizontal y superficie inclinada 40° de diferentes localidades Españolas (<http://re.jrc.cec.eu.int/pvgis/pv/index.htm>), valor de temperaturas de NASA.
2. *Radiación solar sobre superficie inclinada:* Aprender a calcular la radiación solar que se recibe sobre una superficie cualquiera
3. *Cálculo de la energía suministrada por un módulo fotovoltaico:* Utilizaremos un procedimiento de cálculo de la energía diaria suministrada, partiendo de 24 valores de irradiancia y temperatura suministrados por el profesor, suponiendo que la potencia que se genera durante toda una hora es constante. El objetivo es obtener el valor de potencia máxima que puede alcanzar el generador para un par de valores determinados de irradiancia y temperatura ambiente.

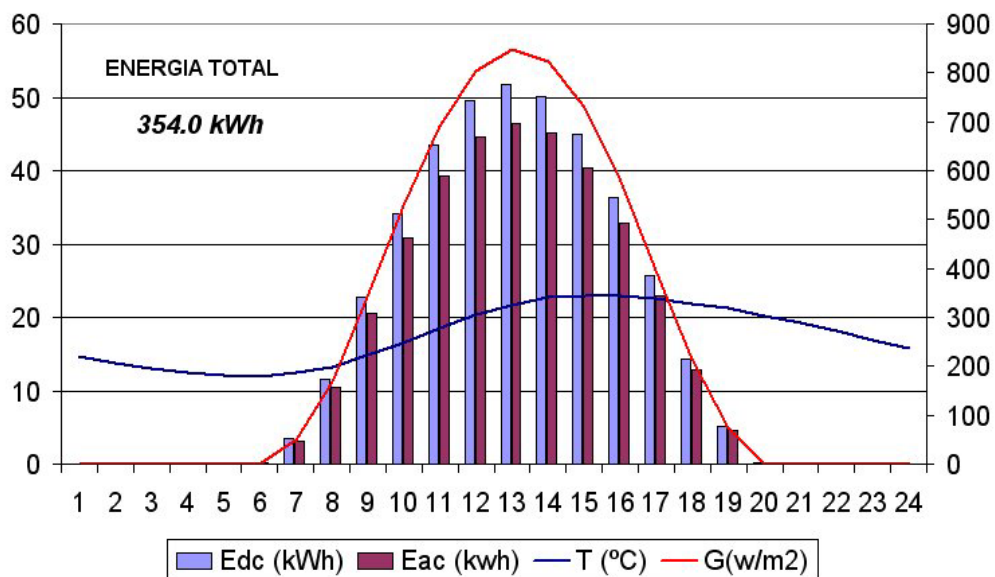


Figura 7. Evolución de la energía dc y ac diaria obtenida a partir de los valores de irradiancia y temperatura diario

La energía suministrada finalmente se compara con la suministrada con algunas bases de datos como JRC

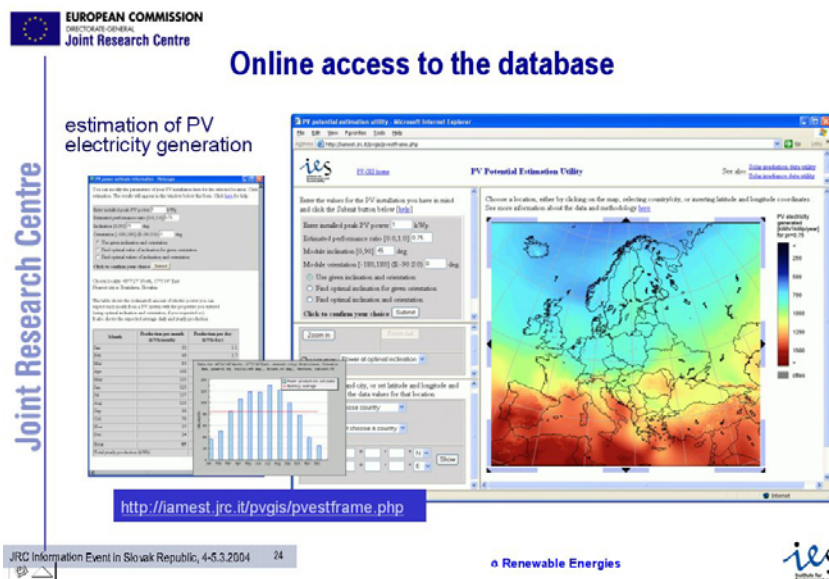


Figura 8. Datos de radiación obtenidos para cualquier parte de Europa.

<http://sunbird.jrc.it/pvgis/pv/imaps/imaps.htm>

4. Diseño de Sistema fotovoltaico conectado a red: En esta última práctica, haciendo uso de los conocimientos adquiridos en las prácticas anteriores, el alumno debe hacer el diseño básico, con los elementos principales que componen la instalación. Además dispone el alumno de una herramienta de ayuda como es el programa intercalensoft (<http://voltio.ujaen.es>)

Referencias

- [1] Instituto para la Diversificación y ahorro de la Energía. "Boletín IDAE", N° 7. Madrid 2005.
- [2] 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.

- [3] G. Nofuentes, G. Almonacid y F. Polaina “Calensof: un software destinado a la docencia y dimensionamiento de los sistemas fotovoltaicos conectados a la red”, *I Certamen Iberoamericano y III Congreso de Tecnologías Aplicadas a la Enseñanza de la Electrónica*, Madrid, 1998.
- [4] M. Alonso-Abella, F. Chenlo, A model for energy production estimation of PV grid connected systems based on energetic losses and experimental data. On site diagnosis, 19th European Photovoltaic Solar Energy Conference, June, Paris (2004), 2447-2450.
- [5] H. Gabler y E. Wiemken, Wow much energy will a specific PV-system produce?, Actas del XIII Congreso europeo de Energía solar fotovoltaica. Niza, 942-946 (1995)
- [6] S.J. Ransome, J.H. Woohlgemuth, S. Poropat and Rhys Morgan. kWh/kWp dependency on PV technology and balance of systems performance. Proc of the 29th IEEE PVSC, New Orleans, (2002) 1420-1423.
- [7] B. Kroposki, K. Emery, D. Myers, L.Mrig, A comparison of photovoltaic module performance evaluation methodologies for energy ratings, Proc of the 24th IEEE PVSC. (1994)
- [8] D.L. King, W.E. Boison, J.A. Kratochvil, Energy-Based performance modeling for photovoltaic systems. Proc. Of National Center for Photovoltaics and solar program review meeting, Denver, Colorado, USA (2003) 131,132.
- [9] A.Abete, R.Napoli, F.Spertino, A simulation procedure to predict the monthly energy supplied by grid connected PV systems, 3rd World Conference on Photovoltaic Energy Conversion, Osaka, 2003.
- [10] Šuri, T. Huld, E. Dunlop, “PV-GIS: a Web Base Solar Radiation Database for the Calculation of PV Potential in Europe”, *International Journal of Sustainable Energy* **24**, (2005) 55-67. <http://sunbird.jrc.it/pvgis/pv/imaps/imaps.htm>
- [11] M.A. Abella y F. Chenlo, Sistemas fotovoltaicos conectados a red: Estimación de la energía generada. *Era Solar* nº131. 2006
- [12] E. Lorenzo. Medidas del IES, medidas CIEMAT y el “ cascabel del gato” *Era Solar* nº 114.
- [13] E. Caamaño. Tesis Doctoral “ Edificios Fotovoltaicos conectados a la red eléctrica; Caracterización y análisis”. E.T.S.I.T. Universidad politécnica de Madrid. 1998.
- [14] E. Lorenzo, *Electricidad Solar. Ingeniería de los sistemas fotovoltaicos*. Progensa 1994
- [15] M. A. Green, *Solar cells. Operating principles, Technology and System Applications*, Prentice-Hall, Nueva Jersey, 1982.
- [16] Liu B.Y.H. and Jordan R.C. (1960), The interrelationship and characteristic distribution of direct, diffuse and total solar radiation. *Sol.Energy* 4(3), pp 1-19.
- [17] Page J.K. (1979) The estimation of monthly mean values of daily total short-wave radiation on vertical and inclined surfaces from sunshine records for latitudes 40°N-40°S. *Proc. Ann. Meet. Am. Section, Int. Sol. Energy Soc., Denver, Colorado*.
- [18] Whillier A. (1956), The determination of hourly values of total solar radiation from daily summations. *Arch. Meteorol. Geophys. Bioklimatol. Ser. B* 7(2), pp197-204.
- [19] Perez R. et al. (1987) A new simplified version of the Perez diffuse irradiance model for tilted surfaces, *Solar Energy* Vol. 39, Nº 3, pp 221-231
- [20] Marion, b. (2002) A Method for modeling the current-voltage curve of a PV module for outdoor condition, *Progress in Photovoltaic* 2002; 10, pp205-214
- [21] Nofuentes, G. Contribución al Desarrollo de Aplicaciones Fotovoltaicas en Edificios, Tesis doctoral, E.T.S.I. de Telecomunicaciones, Universidad de Madrid, 2001.
- [22] Hall, I. et al. ‘*Generation of Typical Meteorological Years for 26 SOLMET Stations*’. SAND78-1601. Albuquerque NM: Sandia National Laboratories. 1978.
- [23] M. Iqbal, *An Introduction to Solar Radiation*, Academic Press, Toronto, 1983
- [24] M. Jantsch, H. Schmidt y J. Schmid. ‘Results on the concerted action on power conditioning and control’, 11th European photovoltaic Solar Energy Conference, Montreux, 1992, pp. 1589-1592.
- [25] M. Alonso-Abella et al. ‘A year of radiation data on tilted surfaces with different orientations’, 17th European photovoltaic Solar Energy Conference, Munich, 2002, pp. 736-739.
- [26] S. Ransome et al. ‘Analysis of measured kWh/kWp from grid tied system – Modeling different technologies worldwide with real data’, 17th European photovoltaic Solar Energy Conference, Munich, 2002, pp. 431-435.