

# CALENSOF: UN SOFTWARE DESTINADO A LA DOCENCIA Y DIMENSIONAMIENTO DE LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS A LA RED

Nofuentes, G; Almonacid, G; y Polaina, F.

Grupo Jaén de Técnica Aplicada. Escuela Politécnica Superior (Universidad de Jaén). Avda. de Madrid, 35. 23071-Jaén (España).

Tel: +34.953.212430/33/34. Fax: +34.953.212400.

eMail: gnofuen@ujaen.es

## RESUMEN

*Los sistemas fotovoltaicos conectados a la red constituyen una novedosa aplicación de la conversión fotovoltaica. El software CALENSOF constituye una ayuda a la enseñanza y dimensionamiento de dichos sistemas. Dicho programa presenta gráficamente la mayor parte de los resultados, a través de un entorno fácil de manejar. CALENSOF es un software de libre difusión.*

## 1. INTRODUCCIÓN A LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS A LA RED.

Los sistemas fotovoltaicos conectados a la red (SFCR, de ahora en adelante) constituyen una innovación en el campo de los autogeneradores de energía eléctrica. Al encontrarse conectados en paralelo con la red, a través de un inversor, inyectan electricidad en ésta. Una aplicación especialmente interesante de este concepto la constituyen los edificios sobre los que se instala un SFCR, denominados EFCR, en lo sucesivo. Un EFCR absorbe electricidad de la red cuando la producción de electricidad solar es insuficiente para satisfacer el consumo de dicho edificio. Del mismo modo, éste inyecta electricidad en la red cuando la mencionada producción excede su consumo.

El mercado de estas aplicaciones fotovoltaicas está superando poco a poco el carácter marginal que tuvo a sus comienzos frente a las instalaciones fotovoltaicas autónomas o aisladas, previéndose un fuerte crecimiento en los países desarrollados para los próximos años apoyado por los Organismos de la Administración. De hecho, en el ámbito de la Unión

Europea y durante el año 1995 fueron inyectados en la red 26.7 Gwh de electricidad de origen solar [1].

## **2. EL DIMENSIONAMIENTO DE LOS SFCRs.**

A grandes rasgos, el dimensionamiento de los SFCRs consiste por un lado, en determinar el tamaño relativo de la potencia instalada del campo fotovoltaico respecto de la del inversor. Por otro lado, el conexionado de dicho campo - esto es: el número de módulos conectados en serie y en paralelo - ha de ser cuidadosamente escogido a fin de que la tensión y la corriente proporcionadas por los módulos fotovoltaicos se muevan dentro de los márgenes con los que trabaja el inversor.

Hoy día el dimensionamiento de los SFCRs continúa siendo un área abierta a la investigación. El uso de modelos para dichos sistemas, aun no siendo excesivamente dificultoso a nivel conceptual, reviste cierta complejidad de cálculo [2]. Por otra parte, la carencia de datos meteorológicos horarios (irradiación y temperatura ambiente, principalmente) para algunos enclaves, hace a veces inviable un refinamiento del modelo utilizado.

## **3. EL PROGRAMA CALENSOF COMO AYUDA A LA DOCENCIA Y AL DIMENSIONAMIENTO DE LOS SFCRs**

El software que aquí se presenta está dirigido a profesionales y estudiantes que deseen obtener unos datos bastante aproximados en relación al comportamiento de un determinado SFCR, partiendo de una información meteorológica y geográfica elemental y habitualmente disponible.

El programa CALENSOF parte de los datos de longitud y latitud del enclave en cuestión. También necesita, para este enclave, los valores medios mensuales de irradiación, así como los valores medios mensuales de las temperaturas máximas y mínimas correspondientes. Se han de introducir, evidentemente, la orientación e inclinación del generador fotovoltaico, así como el número de módulos conectados en serie y en paralelo. Es preciso indicar el conexionado de las células solares dentro del módulo fotovoltaico: número de células serie y paralelo. Las características eléctricas de la célula solar también se han de consignar: corriente de cortocircuito, tensión de circuito abierto, y resistencia serie. La potencia del inversor y los parámetros característicos de su curva de eficiencia completan los datos necesarios (fig.1).

El modelo teórico utilizado por el programa caracteriza el comportamiento del SFCR para cada mes a partir del "día típico" de dicho mes, situado en medio de éste. La distribución temporal de la irradiación a partir de los valores medios mensuales sigue el modelo de Liu y Jordan [2]. Asimismo, la distribución temporal de la temperatura ambiente a partir de los valores medios mensuales máximos y mínimos se rige por unas ecuaciones que aúnan sencillez y exactitud [2]. El cálculo de las variables eléctricas del generador fotovoltaico y del inversor a partir de los valores de la irradiancia y temperatura es inmediato [2], [3].

Datos

**Cálculo**

Orientación Fija  
 Orientación Variable

Típica  
 Montero  
 Esquina  
 Pared-Tejado

**Cálculos**

Is[ce] 3,27  
Voc[ce] 405  
Rs[mOh] 18,388

**Aceptar**  
**Cancelar**  
Ayuda

Inversor  
b0: b1  
,021 ,825  
b2: Pnom inv  
,086 5500

**Valores por defecto** Imprimir

	Gom(0)	Tamm	TaMm
Enero:	2,6	4,6	12,8
Febrero:	3,3	5,5	14,2
Marzo:	4,8	7,1	17,1
Abril:	5,4	9	19,7
Mayo:	6,6	12,7	24,7
Junio:	7,4	16,5	29,8
Julio:	7,6	20	34,6
Agosto:	7	20	34
Septiem.:	5,7	17,2	29,6
Octubre:	4	12,3	22,6
Noviem.:	2,9	7,6	16,3
Diciem.:	2,1	4,7	12,7

Un Array  Dos Subarrays

Generador FV  
Nmp Nms  
1 20  
Ncp Ncz  
6 12

Lugar  
Jaén  
Latitud: 37,46  
Longit.: 3,47

Orientación Fija  
Subarray: 1°  
Acimut: 0  
Inclinac.: 10

Orientación Variable

	Acimut			Inclinación		
	Mín.	Máx.	Interv.	Mín.	Máx.	Interv.
Sub. 1ª						
Sub. 2ª						

Figura 1. Ventana de CALENSOF por donde se introducen los datos requeridos para la simulación.

Tras ejecutar la simulación, y para cada día típico de cada mes, se obtiene la evolución temporal, de media hora en media hora, de la irradiancia, la temperatura ambiente, la tensión y corriente de trabajo del generador fotovoltaico, la temperatura de las células y la eficiencia del inversor.

Aparte del interés eminentemente didáctico, el programa tiene una utilidad clara destinada al dimensionamiento. Así, la evolución temporal de la tensión de trabajo del generador fotovoltaico para el día típico del mes más insolado y menos insolado, respectivamente, determinan el margen de tensión de trabajo que ha de soportar el inversor (fig. 2). Por otra parte, la potencia eléctrica solar producida en el mes en el mes con mayor insolación ha de tenerse en cuenta para no sobrecargar la entrada del inversor (fig.3).

CALENSOF proporciona además las producciones mensuales de electricidad solar, por medio de tablas (fig. 4). Cabe mencionar que los balances energéticos mensuales producción-consumo se presentan si conocemos de antemano el consumo del edificio. Del mismo modo, el programa también posee unas opciones para la ayuda al diseño en caso de que el generador fotovoltaico se encuentre dividido en dos subarrays.

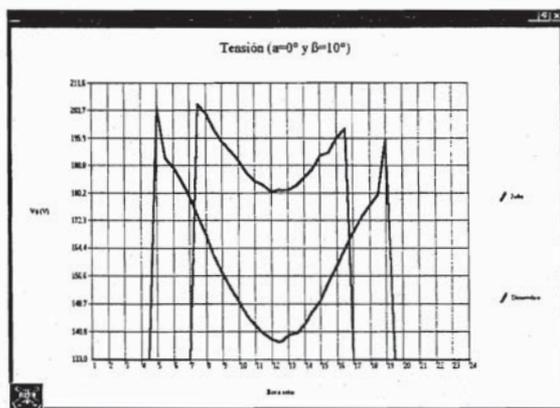


Figura 2. Variación temporal de la tensión de trabajo DC de un SFCR para el día típico del mes con mayor y menor irradiación, obtenida con CALENSOF

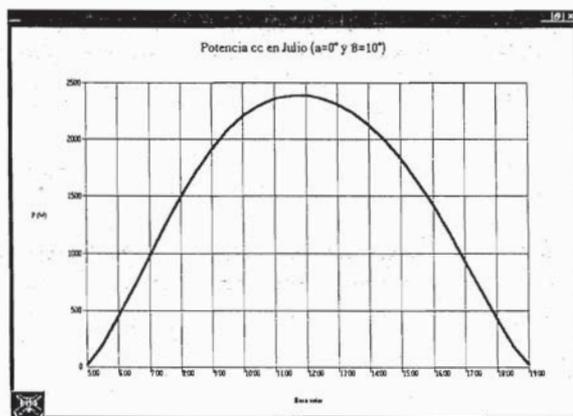


Figura 3. Variación temporal de la Potencia DC de un SFCR para el día típico del mes con mayor irradiación, obtenida con CALENSOF

#### 4. CARACTERÍSTICAS DEL SOFTWARE CALENSOF.

CALENSOF corre sobre WINDOWS 95, y exige una configuración mínima de IBM PC o compatible 486 DX-2 a 50 MHz con 8 MB de RAM. El programa está escrito en MS Visual Basic 3.0 y goza de robustez frente a errores, siendo sencillo de manejar, al disponer cada ventana de ayudas explícitas en las que frecuentemente existen hipertextos para obtener información adicional relacionada con el aspecto consultado. El programa de instalación no requiere ficheros adicionales y ocupa dos diskettes de alta densidad.

Tabla de Cálculo de Orientación Fija

MEZ	Energ. en 1 (kWh)	0	Energ. en 2 (kWh)	Energ. en 3a (kWh)	Energ. en 1 (kWh)	Energ. en 2 (kWh)	Energ. en 3a (kWh)
Enero	331,5264	0	331,5264	282,1858	0	282,1858	
Febrero	351,8976	0	351,8976	308,2727	0	308,2727	
Marzo	512,72	0	512,72	444,6455	0	444,6455	
Abril	524,6583	0	524,6583	453,9911	0	453,9911	
Mayo	615,4134	0	615,4134	532,9888	0	532,9888	
Junio	631,3782	0	631,3782	548,9567	0	548,9567	
Julio	649,8275	0	649,8275	564,5347	0	564,5347	
Agosto	615,4138	0	615,4138	536,1525	0	536,1525	
Septiembre	529,5057	0	529,5057	459,987	0	459,987	
Octubre	435,6288	0	435,6288	374,9793	0	374,9793	
Noviembre	342,1908	0	342,1908	293,153	0	293,153	
Diciembre	273,1292	0	273,1292	227,3931	0	227,3931	
TOTAL	5811,6415	0	5811,6415	5028,0298	0	5028,0298	

Representación  
 Variables externas     Energía final

Presentar    Imprimir  
 Cerrar    Ayuda

Figura 4. Producciones de electricidad solar mensuales y total de un SFCR, obtenida con CALENSOF.

CALENSOF está siendo actualmente utilizado en las asignaturas “electricidad solar” e “instalaciones fotovoltaicas” del plan de estudios de Ingeniería Técnica Industrial especialidad Electrónica Industrial (plan 95). Fue utilizado asimismo en la “III Maestría en Energías Renovables y Aplicación a la Edificación”, organizada por la Universidad de Andalucía, Sede Iberoamericana, en La Rábida. CALENSOF es un software de libre difusión.

## 5. BIBLIOGRAFÍA

- [1] MINER. “Renewable Energy in Spain. Balance and Prospects for The Year 2000”. Secretaría de Estado de Energía y Recursos Minerales. Cap2. Enero 1997.
- [2] E. Lorenzo, “Electricidad Solar”, Ed. Progensa, 1994.
- [3] M. Jantsch, M., H. Schmidt, J. Schmid. “Results of The Concerted Action on Power Conditioning and Control”. *Proc. 11 th EC Solar Energy Conference*, pp. 1101-1105. 1992.