

# VI CONGRESO IBÉRICO de AgrolIngeniería

5 a 7 de Septiembre | 2011  
Universidade de Évora | Portugal



## Medición en campo de la potencia máxima entregada por paneles fotovoltaicos bajo condiciones estándar de medida

M.A. Muñoz<sup>1</sup>, P. Cabrera<sup>1</sup>, G. Moreda<sup>1</sup>, F. Chenlo<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Dep. Ingeniería Rural. Electrotecnia, E. U. I. T. Agrícola, UPM, Avda. Complutense, s/n; 28040 Madrid, España  
miguelangel.munoz@upm.es Tlf: +34 913365458; Fax: +34 913365672

<sup>2</sup>Laboratorio de Fotovoltaica, Departamento de Energías Renovables, PV LabDER, CIEMAT, Avda. Complutense, 22;  
28040 Madrid, España

### Resumen

El uso de la electricidad en el medio rural necesita de fuentes de energía autónomas. Una de las opciones que sigue ganando fuerza debido a la bajada de precios es la generación de electricidad mediante paneles solares fotovoltaicos. Los paneles fotovoltaicos tienen garantías que oscilan entre los 20 y 25 años sobre la potencia máxima entregada. Medir dicha potencia necesita de unas condiciones que habitualmente no se dan y de equipos de medida normalmente muy caros. Este trabajo presenta un equipo de medida basado en PC para paneles fotovoltaicos. Asimismo discute sobre la metodología a utilizar en campo para obtener de la forma más precisa posible, medidas de la potencia entregada por un panel fotovoltaico en condiciones estándar de medida. Se considera de gran interés disponer de un mecanismo con la suficiente precisión para determinar si la bajada de potencia de un módulo está dentro de las condiciones de garantía.

### Abstract

The supply of electricity in rural areas needs of independent power sources. One option that is gaining strength due to the decrease of prices is the generation of electricity using photovoltaic solar panels. Photovoltaic modules have warranties years on the maximum power supplied ranging from 20 to 25. The measurement of this maximum power requires of conditions that do not normally occur and measuring equipments usually expensive. This paper presents a measuring equipment for photovoltaic modules based on PC. It also discusses the methodology used in the field to obtain measures of the power supplied by a PV module at standard test conditions in the most accurate way possible. It is of great interest to have a mechanism with sufficient precision to determine whether the maximum power descent of a module is within the warranty conditions.

**Palabras clave:** Módulo fotovoltaico, Energía solar, Potencia, Condiciones Estándar de Medida (STC)

**Keywords:** Photovoltaic Module, Solar Energy, Power, Standard Test Conditions (STC)

## 1 INTRODUCCIÓN

En la actualidad y debido a la bajada de los precios de los paneles fotovoltaicos de silicio cristalino y el aumento en el rendimiento de los paneles de lámina delgada, cada vez tiene más sentido el uso de la energía solar fotovoltaica en instalaciones aisladas en el entorno rural. Ya sea para la electrificación de edificios de explotaciones agroforestales así como para el bombeo de agua para riegos o abrevaderos. Cuando se instala un sistema de energía solar

fotovoltaica aislado se hace en base a los cálculos previos de potencia necesaria y de horas de sol previstas. Sin embargo el sistema deberá estar funcionando durante al menos 25 años según las hipótesis habituales. Esto significa que será muy útil conocer cualquier fallo en la potencia entregada durante su tiempo de vida. La detección de un fallo en un panel fotovoltaico a menudo no es sencilla.

## 2 MATERIALES Y MÉTODOS

La medida de la curva de potencia de un panel fotovoltaico o de un conjunto de ellos normalmente implica el uso de costosos sistemas de medida que suelen quedar fuera del alcance del propietario de una pequeña instalación solar. Se hace necesario en estos casos el uso de un sistema de precisión suficiente y bajo coste para la determinación en campo de posibles defectos en paneles fotovoltaicos.

### 2.1 Elección de los componentes

El sistema permite la medida de las características eléctricas de un panel fotovoltaico tales como su curva I-V, su potencia máxima ( $P_m$ ), factor de forma (FF), corriente de cortocircuito ( $I_{sc}$ ) y tensión de circuito abierto ( $V_{oc}$ ). Dicho sistema se ha desarrollado a un coste reducido pero no por ello sin la suficiente precisión. Para evitar el uso de costosas cargas electrónicas se ha utilizado una carga capacitiva. Con el mismo objetivo se emplea una tarjeta de adquisición de datos conectada a un ordenador con el fin de evitar el uso de multímetros digitales de alto coste.

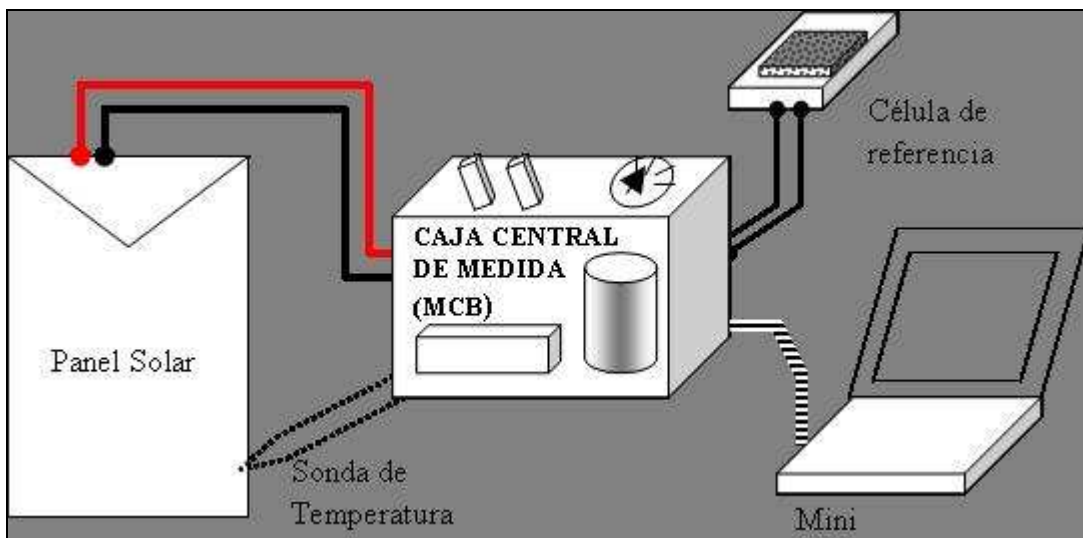
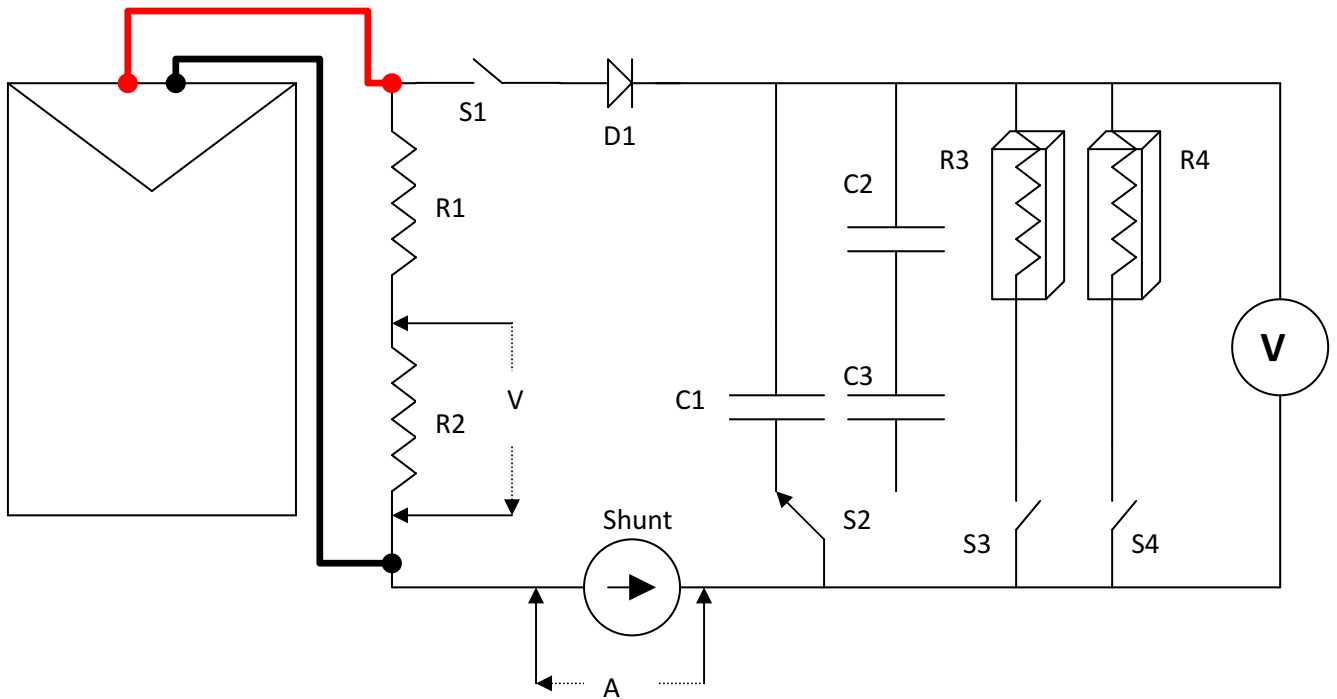


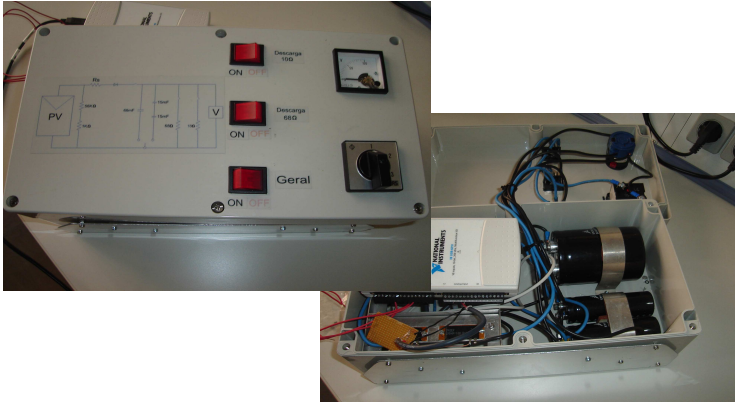
Figura 1.- Esquema general del sistema de medida.



**Figura 2.- Esquema eléctrico simplificado.**

En la Figura 2 tenemos un esquema simplificado del circuito. Cuando el interruptor S1 se cierra, aparece el corto-circuito. El divisor de tensión R1/R2 reduce el voltaje máximo del módulo para poder ser leído por la tarjeta de adquisición de datos. Lo mismo ocurre con el *shunt*, que traduce la corriente máxima a valores bajos de voltaje. Mediante el selector S2 se permite la elección de la carga capacitiva. Finalmente las resistencias R3 y R4 permiten la descarga de los condensadores tras el proceso de medida. Un voltímetro V indica si los condensadores aún están cargados.

El método capacitivo para la medida de la curva I-V de un módulo se basa en la propiedad que presenta un condensador de comportarse como un cortocircuito cuando se encuentra descargado y como un circuito abierto cuando está plenamente cargado. De esta forma, mientras el condensador se va cargando se van tomando medidas que permiten pasar del estado donde se obtiene  $I_{sc}$  hasta el punto donde está  $V_{oc}$ . El elemento que hace de carga en este sistema será un condensador o batería de condensadores Figura 3. Su carga y descarga será medida utilizando una tarjeta de adquisición de datos.



**Figura 3.- La caja central o Measurement Central Box (MCB) del sistema.**

Para elegir el condensador adecuado se ha tenido en cuenta el valor de tensión máxima a la que se le va a someter, así como la corriente máxima permitida. Se ha diseñado el sistema para ser utilizado con dos tipos de paneles solares:

- Hasta 63V mediante un solo condensador de 68mF. De esta forma se podrán medir paneles convencionales de Silicio de hasta 63V de Voc y 10 A de Isc.
- Hasta 126V mediante dos condensadores de 15mF en serie. De esta forma se podrán medir paneles de lámina delgada de hasta 126V de Voc y 2 A de Isc.

Para adecuar el sistema a las distintas situaciones, existe un conmutador que permite seleccionar uno u otro grupo de condensadores en función de la tensión a medir y del tiempo para la carga de los condensadores. El tiempo de carga de los condensadores dependerá no sólo del valor de capacidad, sino también de su constante de tiempo, es decir:  $\tau = R_s * C$ . Puesto que la  $R_s$  depende del panel a medir tendremos tiempos de medida que oscilan entre los 0.5 y los 5s, si consideramos que el condensador está completamente cargado (Voc) transcurrido un tiempo  $5 \tau$  (s) y resistencia serie tiene valores entre 0.5 y  $10\Omega$  (dependiendo del fabricante y sobre todo de la tecnología del panel).

## **2.2 Programa de control**

La toma y tratamiento de los datos se realiza mediante un programa desarrollado en LabVIEW® (Figura 4) toma los datos medidos y los traslada a las Condiciones Estándar de Medida (Standard Test Conditions, STC).

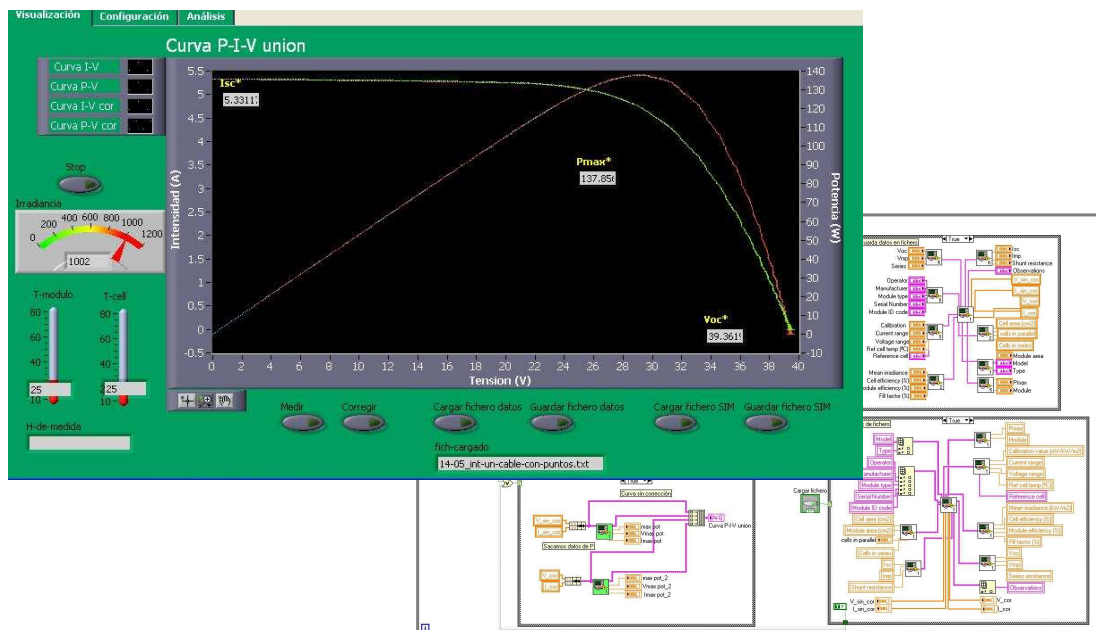


Figura 4.- Pantalla principal del programa de ordenador, junto con su diagrama de bloques.

### 2.3 Correcciones aplicadas

Un panel fotovoltaico debe superar una serie de pruebas contenidas en las normas IEC 61215 (paneles de silicio cristalino) o IEC 61646 (paneles de lámina delgada). Dichas pruebas incluyen medidas de la potencia máxima y en ambos casos se recomienda que las condiciones de medida sean lo más parecidas a las Condiciones Estándar de Medida (STC) según la norma IEC 60904-1:

- Irradiancia: 1000 W/m<sup>2</sup>
- Temperatura de las células: 25 °C
- Distribución espectral de la luz: AM1.5G (de acuerdo a IEC 60904-3).
- Incidencia normal al panel

En la práctica esto es imposible de conseguir a no ser que las medidas sean realizadas en el interior de un simulador solar, dónde todas las condiciones mencionadas pueden ser controladas. Por ello en las normas IEC de medida se prevé la corrección de los datos a STC sin embargo se recomienda que las condiciones de medida sean lo más parecidas a las estándar, sobre todo para paneles de lámina delgada.

El programa de medida aplica correcciones primero a la corriente y luego a la tensión. Para ello necesita conocer el número de células en serie y en paralelo así como el área efectiva de cada una. Estos son datos que se introducen en el programa en la pantalla de configuración que puede verse en la Figura 5. Asimismo es necesario conocer los parámetros de temperatura para la corriente  $\alpha$  y para la tensión  $\beta$ . Estos dependen de cada tecnología concreta, pero siempre podemos recurrir a valores de referencia medios.

Las fórmulas para la corrección son:

$$V^* = V + \beta \cdot N_s \cdot (T - T^*) - m \cdot N_s \cdot \ln\left(\frac{G}{G^*}\right) \cdot V_t$$

Ecuación 1. – Traslación a condiciones estándar de la tensión

$$I^* = I \cdot \left[ \frac{G^*}{G(1 + \alpha \cdot A \cdot N_p \cdot (T - T^*))} \right]$$

Ecuación 2. – Traslación a condiciones estándar de la corriente

Dado que tras corregir es posible que la curva I-V no corte a los ejes, posteriormente es necesaria una extrapolación a dichos puntos.

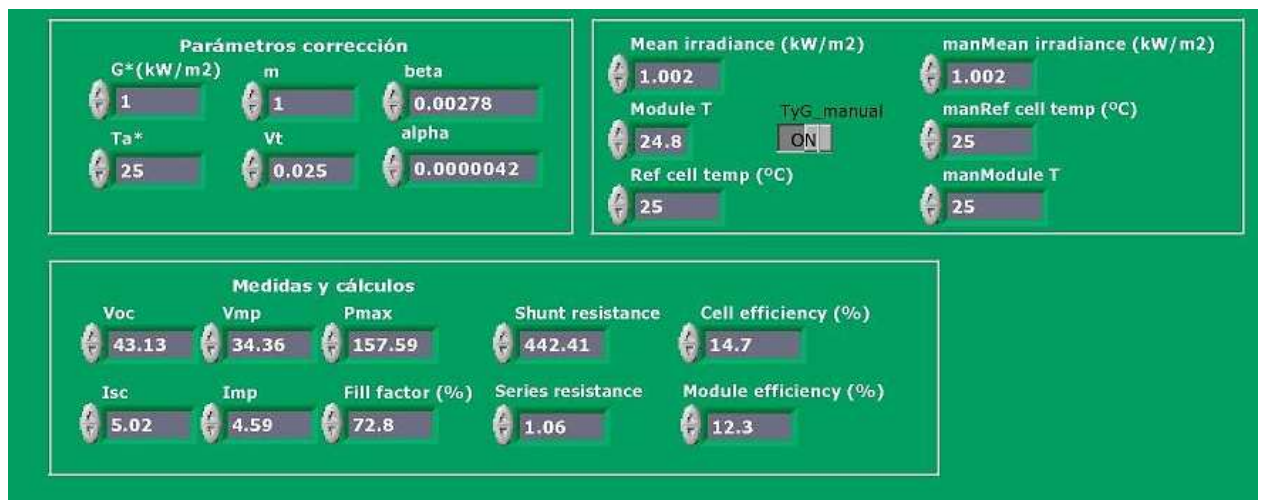


Figura 5.- Parámetros de configuración para un panel a medir

### 3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con el sistema descrito se pueden obtener en campo medidas de las características eléctricas de un panel con la suficiente precisión. Para calibrar el sistema se han hecho ensayos comparativos en el CIEMAT. Se han obtenido medidas de la curva I-V utilizando el equipo descrito así como un equipo comercial (modelo PVPM6020C de la casa comercial germana PV Engineering GmbH) también basado en medida con condensador. De esta forma se realizan ajustes de las constantes del programa que permiten la repetitividad y precisión necesarias. Para asegurar que el sistema mide correctamente se repiten los ensayos en días con condiciones climatológicas diferentes. A modo de ejemplo se detallan los resultados de algunas de dichas medidas tomadas con los dos equipos:

Tabla 1 .- Comparación entre las medidas tomadas por un equipo comercial de precisión y el MCB.

Medida/equipo	G (W/m <sup>2</sup> )	T (°C)	Voc (V)	Isc (A)	FF (%)	Pmax
MCB-1	1004	64.5	32.46	8.67	67.5	190
PVE-1	1002	66.0	32.40	8.51	68.5	188.8
MCB-2	998	65.1	32.42	8.62	67.8	189.5
PVE-2	1004	66.9	32.30	8.53	68.5	188.8

Puede observarse cómo las diferencias entre las mediciones obtenidas por uno y otro equipo están entorno al 1%.

### 3.1 Efecto de la Rserie

Uno de los problemas principales cuándo se diseña un sistema de bajo coste es su precisión. Esta a veces no depende del coste. Tal es el caso de la resistencia serie (Rs). Dicha Rs está presente no sólo intrínsecamente al panel, sino también en los cables de medida y en los contactos. A menudo es difícil detectarla, dado que afecta poco a la Voc y a la Isc. Pero afecta bastante al FF y por tanto también a la Pmax. Para minimizar su efecto, habrá que usar la mayor sección de conductor posible así como la menor distancia de medida. En la *Figura 6* se observa dicho efecto en uno de los ensayos.

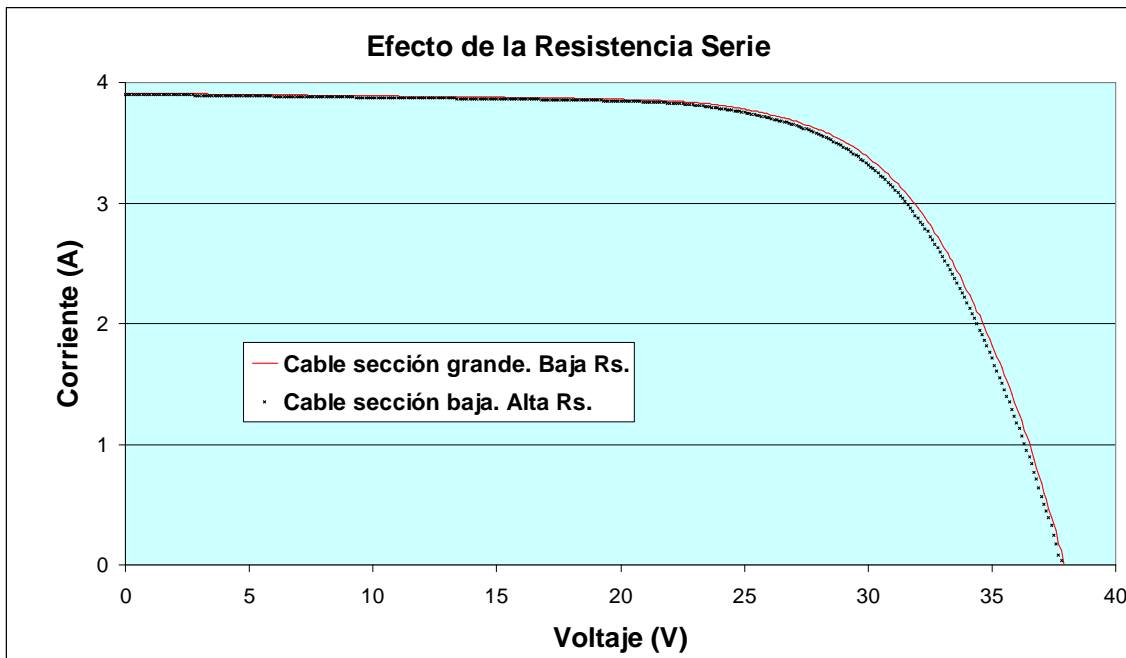


Figura 6.- Efecto de medir un mismo panel con más o menos Rs en los cables de medida

### **3.2 Efecto de los parámetros ambientales y sombras**

Para corregir la irradiancia y temperatura del módulo, se miden dichos parámetros. No obstante, pueden existir factores espectrales que no pueden tenerse en cuenta con el dispositivo desarrollado, salvo que se utilicen células de referencia calibradas de la misma tecnología que el panel a medir. Por ello se recomienda obtener medidas en días completamente soleados, sin brumas ni contaminantes claramente visibles. Si es posible, debe medirse el espectro solar para aplicar la correspondiente corrección. Esto último implica además conocer la respuesta espectral del tipo de célula concreto a ensayar.

También deben evitarse todo tipo de sombras y reflejos. Los reflejos incluyen los ocasionados por las nubes o por paredes u edificios cercanos. Esto puede ocasionar errores en la medida, dado que la irradiancia aumenta de forma artificial.

## **4 CONCLUSIONES**

Se puede utilizar un sistema de medida de características eléctricas de módulos fotovoltaicos para detectar el fallo de alguno de ellos. El sistema descrito permite detectar dichos fallos y de esta forma reclamar, si fuese necesario, la garantía del fabricante dado que esta se extiende normalmente entre 20 y 30 años. Si bien el sistema desarrollado no es de la misma precisión que se puede alcanzar en un laboratorio acreditado sí permite determinar si un módulo fotovoltaico es el responsable de una pérdida sustancial en el rendimiento de un sistema solar fotovoltaico aislado.

## **5 AGRADECIMIENTOS**

Los autores quieren agradecer el soporte prestado al CIEMAT en cuanto a la asistencia técnica para el desarrollo del trabajo expresado en este artículo así como por el uso de sus instalaciones.

## **6 BIBLIOGRAFIA**

M.M. Mahmoud, *Transient analysis of a PV power generator charging a capacitor for measurement of the I-V characteristics*, Renewable Energy, 31, pp. 2198-2206, (2006)

J. Muñoz, E. Lorenzo, *Capacitive load based on IGBTs for on-site characterization of PV arrays*, Solar Energy, 80, pp. 1489-1497, (2006).

M. Piliouquine, J. Carretero, L. Mora-López and M. Sidrach-de-Cardonal, *Experimental system for current-voltage curve measurement of photovoltaic modules under outdoor conditions*, Progress in Photovoltaics: Research and Applications. (2011)

International Electrotechnical Commission. "Standard IEC 61646: Thin-film photovoltaic(PV) modules- Desing qualification and typ aprobal" IEC Central Office: Geneva, Switzerland, 2008.

International Electrotechnical Commission. "Standard IEC 61215: Crystalline silicon terrestrial photovoltaic (PV) modules. Design qualification and type approval" IEC Central Office: Geneva, Switzerland, 1987.



International Electrotechnical Commission “Standard IEC-60891. Procedures for Temperature and Irradiance Corrections to Measured I-V Characteristics of Crystalline Silicon PV Devices (1st edn).” IEC Central Office: Geneva, Switzerland, 1987.

International Electrotechnical Commission. “Standard IEC 60904-1: Photovoltaic Devices. Part 1: Measurement of Photovoltaic Current-Voltage Characteristics”. IEC Central Office: Geneva, Switzerland, 1987.

International Electrotechnical Commission. “Standard IEC 60904-3: Photovoltaic Devices. Part 3: Measurement principles for terrestrial photovoltaic (PV) solar devices with reference spectral irradiance data”. IEC Central Office: Geneva, Switzerland, 1987.