
CARACTERIZACIÓN ELÉCTRICA DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

Por J. Emilio Camejo,* H. Rivas Prieto,* R. Ramos Heredia* y R. Proenza Yero*

*Centro de Investigaciones de Energía Solar (CIES), Santiago de Cuba.

E-mail: jcamejo@cies.cu

Resumen

Se presentan los resultados de la evaluación eléctrica de una muestra de 29 módulos fotovoltaicos de Si-policristalino de potencia pico 240 Wp, modelo DSM-240-C, instalados en un generador fotovoltaico (GFV) conectado a la red. Los resultados de la evaluación de la potencia presentan como promedio que la potencia real medida (222,96 Wp) es 8,6 % inferior al valor Flash declarado por el fabricante.

Palabras clave: Módulos fotovoltaicos, Si-policristalino.

ELECTRICAL CHARACTERIZATION OF PHOTOVOLTAIC MODULES

Abstract

We present the results of the electrical characterization of a sample of 29 Si-polycrystalline photovoltaic modules of pico power 240 Wp, model DSM-240-C, connected the grid. The results of the evaluation of the power of these modules present as average that the actual power measured (222.96 Wp) is 8.6% lower than the Flash value declared by the manufacturer.

Key words: Photovoltaic modules, Si-polycrystalline.

Introducción

Hoy en día, el control de calidad de las instalaciones fotovoltaicas se basa cada vez más en condiciones estándar de medida (CEM), conocida también por sus siglas en inglés STC, de potencia de muestras de módulos fotovoltaicos individuales, realizados en laboratorios especializados antes de su instalación en el campo. Esto asegura la potencia inicial entregada por el fabricante fotovoltaico, pero no excluye las nuevas ocurrencias de fenómenos no deseados, como la degradación inicial de luz, puntos calientes, «polarización», etc., que también forma parte de la realidad sobre el terreno [Martínez Moreno, Lorenzo, Muñoz y Moretón, 2011]. Por otra parte, no permite el control de las pérdidas de energía debido a la suciedad, mala adaptación y el cableado. Este marco favorece el florecimiento de importantes disparidades entre la efectividad de la potencia en CEM y la potencia nominal del generador fotovoltaico, que no

es más que la suma de la potencia CEM de los módulos, dada por sus fabricantes.

Este estudio aborda la experiencia del Centro de Investigaciones de Energía solar (CIES) en la caracterización eléctrica de módulos fotovoltaicos (FV) y consistió en evaluar la potencia eléctrica de una muestra de 29 módulos fotovoltaicos (FV) de Si-policristalino de potencia pico 240 Wp, a partir del trazado de la curva I-V y su corrección a las CEM bajo las condiciones ambientales características de la zona, donde confluyen de manera conjunta altos niveles de radiación solar, temperatura ambiente y humedad relativa, según lo establecido en la Norma IEC (del inglés International Electrotechnical Commission).

Desarrollo

El generador fotovoltaico (GFV) se encuentra ubicado en las coordenadas siguientes: Latitud: 20° 00' 75" y longitud: 75° 77' 07".

Las mediciones se realizaron con un trazador de curva I-V, comercial, marca HT, modelo I-V 400 fabricado por HT Instruments [https://HT-instruments.com], el cual permite de forma directa la obtención de la curva I-V y las características de sus principales parámetros eléctricos. Este Trazador de Curva permite medir hasta un máximo de 1000 V y 10 A, con una exactitud de $\pm 2\%$. Las curvas I-V obtenidas se corrigen según la norma EC-60891, 2006, que establece que estas deben hacerse solo cuando la irradiancia total no fluctúe en más de $\pm 1\%$ durante la medición y sea superior a 700 W/m^2 .

La medida de irradiancia incidente se realizó con una célula de referencia modelo HT304, de la misma tecnología y material de los módulos FV, colocada de forma coplanar al módulo FV y la temperatura de la célula, mediante una termorresistencia, modelo PT300N, colocada en el centro de la parte trasera de cada módulo FV evaluado. Ambos dispositivos auxiliares forman parte del trazador de curva comercial, modelo I-V 400, cuyas características principales son las siguientes:

1. Sensor de irradiancia.

Célula de referencia, modelo HT304, marca HT

- Tecnología: Si- policristalino
- Sensibilidad de la celda: 28.9 mV/kW/m^2
- Coeficiente de temperatura I_{sc} : $0.06\%/^{\circ}\text{C}$.
- Rango de operación: $50 - 1400\text{ W/m}^2$.
- Precisión: $\pm 3\%$.
- Campo [mV]: $1.0 \div 100,0$.
- Resolución [mV]: $0,1$.
- Incertidumbre: $\pm (1,0\% \text{ lectura} + \text{cinco dígitos.})$.

2. Sensor de temperatura.

- Termorresistencia modelo: PT300N.
- Sensibilidad: $3,85\ \Omega/^{\circ}\text{C}$.
- Precisión: $\pm 1\ ^{\circ}\text{C}$.
- Campo [$^{\circ}\text{C}$]: $-20 \pm 100,0$.
- Resolución [$^{\circ}\text{C}$]: $0,1$.
- Incertidumbre: $\pm (1,0\% \text{ lectura} + 1\ ^{\circ}\text{C})$.

Los módulos FV evaluados están compuestos por 60 celdas solares de Si-policristalino de formato $156\text{ mm} \times 156\text{ mm}$, conectadas en serie. El arreglo de celdas solares se encuentra encapsulado en el interior de dos láminas de EVA (Etilen Vinil Acetato), insertado a la vez entre un vidrio templado con un espesor de $3,2\text{ mm}$ por la parte frontal y por el dorso una lámina multicapas con excelentes propiedades eléctricas, químicas y mecánicas, la cual garantiza la protección del módulo FV y una adherencia perfecta con el EVA (Cuadro 1).

Cuadro 1. Características eléctricas del módulo FV

MÓDULO SOLAR DSM-240-C	
Potencia nominal [Wp]	240
Corriente en el punto de máxima potencia (Imp) [A]	8,18
Voltaje en el punto de máxima potencia (Vmp) [V]	29,8
Corriente de corto circuito (Isc) [A]	8,54
Voltaje a circuito abierto (Voc) [V]	37,0
Tolerancia [W]	± 3

Resultados

Evaluación de potencia eléctrica

Durante las mediciones, la irradiancia (G) se comportó entre 799 y 1160 W/m^2 , alcanzando temperatura máxima en la célula (T_c) de los módulos FV de $63,9\ ^{\circ}\text{C}$ y mínima de $48,0\ ^{\circ}\text{C}$.

La Tabla 1, muestran los valores medidos de potencia, irradiancia y temperatura del módulo FV, el porcentaje de error entre la potencia Flash dada por el fabricante y la potencia en CEM, en 29 módulos FV.

De la Tabla 2 se deriva que en promedio la potencia eléctrica en CEM ($222,96\text{ Wp}$) de los 29 módulos FV evaluados es $8,6\%$ inferior al valor de potencia Flash declarada por el fabricante. La Figura 1 muestra el gráfico de dispersión de las medidas de potencia Flash y CEM.

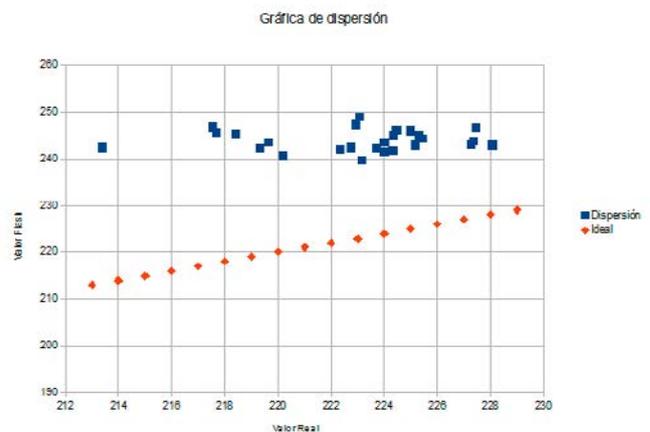


Fig. 1. Gráfico de dispersión de las medidas Flash y en CEM.

En el gráfico de dispersión la línea diagonal (rombos) representa los valores ideales, en el que la potencia Flash es igual a la potencia real en CEM y en cuadrados la dispersión de los valores reales en CEM. En el análisis del gráfico observamos que si los valores de la dispersión se encuentran por debajo de la línea diagonal, ello indica que los valores reales en CEM son mayores que los valores Flash y por el contrario si los valores reales en CEM se encuentran por encima de la diagonal, lo que indica que se encuentran por debajo del valor Flash, como es evidente en el análisis realizado.

Las curvas I-V obtenidas bajo condiciones reales de operación son extrapoladas a CEM (IEC Standard-60891) acorde con los procedimientos y su corrección por temperatura, por valores proporcionados por el fabricante de los módulos FV. La Figura. 2 muestra las curvas I-V de dos módulos FV seleccionados, para las cuales fueron escogidas:

- Peor valor de potencia nominal obtenida, correspondiente al módulo FV con número de serie 1309202434.
- Mejor valor de potencia nominal obtenido, correspondiente al módulo FV con número de serie 1308202173 y su extrapolación a CEM de conformidad con la nor-

Caracterización eléctrica de módulos fotovoltaicos

ma IEC 60891 utilizando los coeficientes de corriente y tensión de temperatura, $\alpha = 0,065 \text{ \%}/^{\circ}\text{C}$ y $\beta = -0,34 \text{ \%}/^{\circ}\text{C}$, respectivamente. Los datos de potencia Flash y CEM de estos módulos FV pueden observarse en la Tabla 1.

I-V OPC, representación gráfica del módulo FV, trabajando bajo condiciones normales de operación. *I-V Nomi-*

nal, representación gráfica del módulo FV, como si trabajasen a 25°C y $1000 \text{ W}/\text{m}^2$.

I-V CEM, representación gráfica del módulo FV, trabajando bajo condiciones normales de operación y corregido a las CEM, (25°C y $1000 \text{ W}/\text{m}^2$).

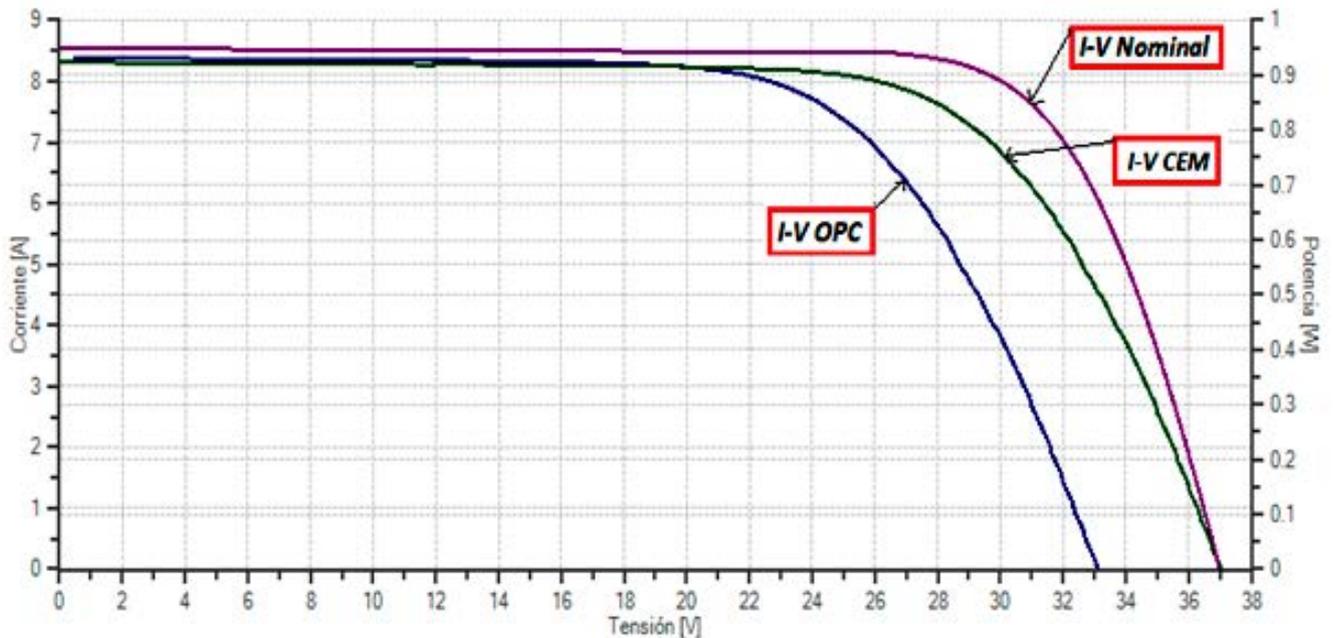


Fig. 2 a). Curva I-V del módulo medido con peor valor de potencia nominal.

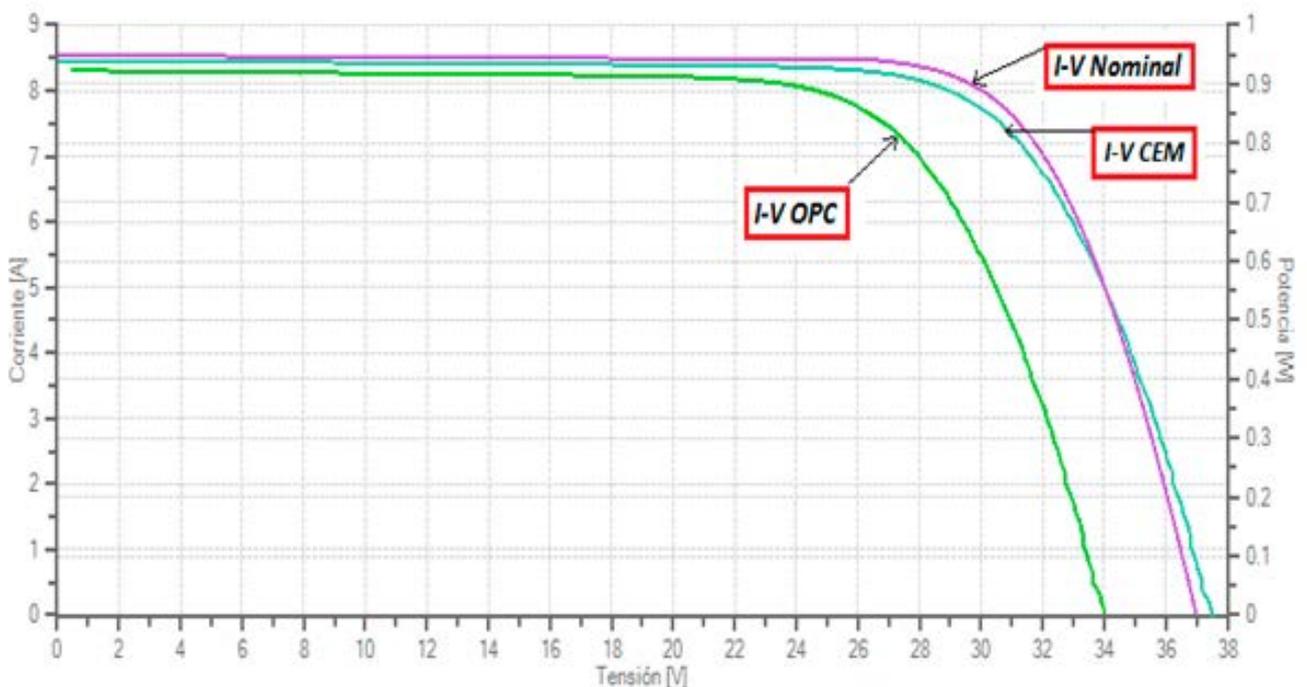


Fig. 2 b). Curva I-V del módulo medido con mejor valor de potencia nominal.

Tabla 1. Valores medidos de potencia, irradiancia y temperatura del módulo FV

No. de serie	P máx. (Wp)	Irradiancia (W/m ²)	Temp. Módulo (°C)	CEM (Wp)	Flash (Wp)	% de error
1309202228	181,24	897	54,1	225,00	245,98	-8,53
1308202138	209,24	1062	50,1	219,33	242,34	-9,49
1308201493	203,76	1033	55,0	224,01	243,48	-8,00
1308201908	200,56	1024	56,3	223,56	245,31	-8,87
1308202196	227,79	1160	56,0	227,45	246,61	-7,77
1306201489	217,11	1063	48,3	225,31	245,01	-8,04
1306802182	197,35	969	50,8	225,42	244,34	-7,74
1308202164	201,65	965	52,7	219,65	243,61	-9,84
1308201360	195,92	978	48,1	224,32	241,71	-7,19
1308201164	205,67	1020	51,1	222,35	241,96	-8,10
1308201368	204,10	1021	50,9	228,08	242,93	-6,11
1308200356	207,29	1006	51,2	223,16	239,76	-6,92
1308203472	210,02	1034	48,0	223,70	242,28	-7,67
1308202161	177,40	889	54,6	225,16	242,88	-7,30
1308203492	188,97	938	52,7	220,20	240,78	-8,55
1308202201	206,42	1016	49,9	227,28	242,99	-6,47
1309202434	198,43	1011	52,9	213,39	242,38	-11,96
1309202491	203,11	1003	53,2	223,07	248,92	-10,38
1309202411	182,74	1016	63,9	227,36	243,80	-6,74
1309202473	203,38	1026	53,6	224,46	246,22	-8,84
1309202459	164,94	799	54,3	224,35	245,09	-8,46
1309202450	166,39	823	55,1	222,75	242,35	-8,09
1309202457	169,89	834	53,7	224,00	241,48	-7,24
1309202431	172,06	861	55,5	217,55	246,80	-11,85
1309202433	174,65	865	55,0	217,69	245,54	-11,34
1309202452	183,01	935	52,6	218,42	245,33	-10,97
1309202425	180,45	958	60,1	222,93	247,30	-9,85
1308202173	190,37	992	55,7	231,97	244,50	-5,12
1308207466	217,58	1107	54,4	223,59	242,50	-7,80
Promedio	194,53	976	53,4	222,96	245,13	-8,6

Conclusiones

Los 29 módulos FV evaluados, en promedio la potencia real medida (222.96 Wp) es un 8,6 % inferior al valor Flash declarado por el fabricante, de lo que se infiere que esta diferencia puede interpretarse como un indicador de mala calidad de los módulos fotovoltaicos.

Bibliografía

<https://HT-instrumens.com>

IEC STANDARD 60904-1, (2006). Photovoltaic Devices. Part 1: Measurements of Photovoltaic Current–Voltage Characteristics. International Electrotechnical Commission.

IEC STANDARD-60891,(2009). Photovoltaic Devices. Procedures for Temperature and Irradiance Corrections to Mea-

sured I–V Characteristics. International Electrotechnical Commission.

MARTÍNEZ-MORENO, F.; E. LORENZO, J. MUÑOZ and R. MORENTÓN (2011). On the testing of large PV arrays. PROGRESS IN PHOTOVOLTAICS: RESEARCH AND APPLICATIONS: Res. Appl. 2011.

SPERTINO F, ABETE A, NAPOLI R. (2006). Experimental testing of grid-connected PV Systems with different power in order to assess the yearly energy production. 21st European Photovoltaic Solar Energy Conference, 2312–2315, Dresden, Germany

Recibido: 14 de junio de 2018.

Aceptado: 25 de septiembre de 2018.