

RELEVADOR PORTATIL DE CURVAS I-V DE PANELES FOTOVOLTAICOS COMO HERRAMIENTA DE DIAGNOSTICO *IN SITU* DE SISTEMAS DE GENERACION FOTOVOLTAICA

C. Bello[#], V. Jimenez², V. Toranzos^{#1}, A. Busso[#], L. H.Vera[#], C. Cadena³

[#] GER – Grupo en Energías Renovables - FaCENA – UNNE.
Av. Libertad 5470 – 3400 Corrientes. Argentina

Tel./Fax: (03783) 473931 - e-mail: ajbusso@gmail.com

² Faculté des Sciences - Université de Poitiers - Francia

³ INENCO – UNSa – CONICET. Salta. Argentina

RESUMEN: En este trabajo se analiza la funcionalidad de un equipo portátil para relevamiento de características I-V de paneles fotovoltaicos, desarrollado por el GER – Grupo en Energías Renovables – FaCENA – UNNE. Se verificó la funcionalidad del equipo a través de ensayos, bajo diversas condiciones, de módulos fotovoltaicos nuevos de 50 Wp de potencia nominal, 26 módulos de la empresa CONERGY y 31 de la empresa PHOTON. También fue realizado el trazado de la curva I-V de un panel fotovoltaico de 400 Wp instalado en una escuela rural cercana a la ciudad de Corrientes. El levantamiento de las características eléctricas de los dispositivos fotovoltaicos puso en evidencia un comportamiento anómalo en 6 de los 26 módulos CONERGY. Ensayos realizados con diferentes valores de temperatura de los módulos muestran que estas anomalías aparecen cuando la temperatura del módulo supera los 40°C, lo que sugiere la aparición de puntos calientes. Como parte de los ensayos, se examinó también, el efecto que tiene el sombreado parcial de celdas sobre la curva I-V. Este último análisis fue realizado sobre módulos individuales y sobre el panel de 400 Wp y, de esta forma, se determinó una disminución de eficiencia del orden del 9% y 16% respectivamente. En términos generales, se verificó que el equipo tiene utilidad práctica tanto en laboratorio como en campo, siendo su uso rápido, sencillo y confiable. Sin embargo, se detectó un error sistemático producido por el algoritmo de control que está en vías de corrección.

Palabras clave: panel solar, características eléctricas de módulos fotovoltaicos, generación fotovoltaica.

INTRODUCCIÓN

La provincia de Corrientes presenta una situación adecuada para la utilización de energías renovables, principalmente para el uso de energía solar para la electrificación rural descentralizada. Esto es así por dos motivos fundamentales; la alta irradiación solar global diaria promedio de 4,6 kWh/m², y la alta tasa de dispersión en su población rural no cubierta por la red convencional de suministro de energía eléctrica, creando una situación en la que de 20481 viviendas sin energía eléctrica más de 15000 hogares se presentan como potenciales usuarios¹.

En este sentido, en el marco del Proyecto de Energías Renovables en Mercados Rurales - PERMER, a finales del 2008 concluyó el primer proyecto de generación fotovoltaica descentralizada en la provincia cubriendo 19 de los 23 departamentos que la componen. Durante el mismo se dotó a 85 escuelas rurales, una matrícula total de 2280 alumnos, con sistemas fotovoltaicos independientes (“off-grid”) con tensión de suministro de 220 V CA. La potencia total instalada de generación es de 62 kWp, distribuida en sistemas individuales de 400 a 1500 Wp. Estos sistemas presentan una configuración estandarizada compuesta por módulos fotovoltaicos de 12V/50Wp de tal forma que, un banco de 400 Wp requiere de un arreglo de 8 módulos y uno de 1500 Wp requiere de un arreglo de 30 paneles.

Comercialmente, los módulos fotovoltaicos son sometidos individualmente a ensayos bajo condiciones controladas y estandarizadas (Standard Test Conditions - STC) de temperatura (25°C) y radiación (1000 W/m²) definidas en la norma IRAM 210013-2/98¹⁴. De esta forma, el fabricante garantiza, para cada panel, determinados valores de parámetros relevantes tales como corrientes de corto circuito (I_{cc}), tensión de circuito abierto (V_{oc}), potencia pico (P_p), tensión y corrientes nominales, entre otros. Además, entre los parámetros relevantes, también se encuentran las características I-V y P-V del panel, curvas que brindan información sobre el comportamiento del dispositivo frente a diferentes situaciones de carga. Teniendo en cuenta las condiciones del lugar de emplazamiento (temperatura ambiente, irradiación, etc.), estos datos son utilizados luego para el dimensionamiento de sistemas compuestos por arreglos de paneles individuales.

La experiencia de campo indica que, inclusive bajo condiciones cercanas a las STC, la potencia real entregada por el sistema de generación (módulo/arreglo) es más baja que la estimada a partir de los datos provistos por el fabricante. La reducción de la potencia de generación en módulos/banco ha sido estudiada por varios autores^{2,3,4,5,6}, habiéndose encontrado que está relacionada con variaciones de las características eléctricas de los elementos componentes (celdas/módulos), efecto este que usualmente se denomina “perdida por desadaptación”. Estas variaciones tienen su origen en diversas causas, fallas en los materiales de las celdas, proceso de fabricación de módulos, sombra sobre algunos elementos del arreglo (celda/módulo), tensiones mecánicas inducidas por las condiciones climáticas, entre otras. La pérdida por adaptación puede derivar en

¹ Becario SeCyT-CONICET

calentamiento excesivo de algunas regiones del módulo, denominadas puntos calientes, que pueden ocasionar derretimiento de soldaduras, daños al material encapsulante o rotura de celda/s causando la falla del módulo.

De lo anterior se observa que, a pesar de manejar datos de laboratorio y adecuarlos a la realidad local, una de las incógnitas principales es ¿cómo se comportará el banco de paneles en su lugar de destino?, ¿responderá el conjunto de la manera esperada bajo situaciones de trabajo?.

Para responder estas cuestiones se pueden proponer dos cursos de acción, 1) monitorear a lo largo de un período de tiempo en forma continua los parámetros operativos del sistema instalado, 2) realizar ensayos *in situ* del banco de colectores levantando su curva I-V.

El presente trabajo, expone los resultados obtenidos durante el relevamiento *in situ* de curvas I-V de sistemas fotovoltaicos, paneles individuales y arreglo de ellos. El estudio se realizó bajo condiciones ambientales con el objetivo principal de probar el equipo de portátil de relevamiento de curvas I-V desarrollado para este fin por el GER – Grupo en Energías Renovables de la FaCENA – UNNE⁷. Las curvas I-V obtenidas pusieron en evidencia problemas en algunos de los módulos ensayados y que no fueron detectados bajo condiciones STC realizadas en fábrica. La versatilidad del equipo portátil permitió además, levantar características I-V de un banco de 400 Wp bajo situaciones de sombra sobre partes del sistema demostrando de esta forma, la importancia de contar con una herramienta de análisis y diagnóstico que permitirá llevar a cabo las tareas de Operación y Mantenimiento de instalaciones de manera simple, rápida y confiable.

METODOLOGIA EXPERIMENTAL

Los ensayos se realizaron bajo condiciones ambientales de radiación y temperatura tanto sobre paneles individuales como sobre un banco de 400 Wp. instalado en una escuela a 25 km de la ciudad de Corrientes. En paneles individuales, los ensayos se realizaron en la terraza del edificio de la FaCENA – UNNE, Corrientes, con cielo claro, sin viento, orientación norte e incidencia normal al plano del panel. Se levantaron características I-V de 64 módulos comerciales sin uso que forman parte del lote de repuestos de los sistemas instalados. De estos, 26 módulos son de la firma CONERGY modelo Q 50 PI y 38 módulos son de la firma PHOTON modelo PM0050, ambos de fabricación Hindú, de idénticas características eléctricas y geométricas según se muestra en las tablas de la Figura 1. Se debe destacar que en todas las escuelas se instalaron solo módulos de la firma PHOTON. En el caso del banco de 400 Wp, las características I-V se levantaron *in situ* durante un día claro, sin viento, orientación norte, inclinados en relación al plano horizontal 37° y a las 10:00 hs. local.

Electrical specifications	
Nom. power rating (P_{NOM}) as per STC ²	50 W
Tolerance of the nominal power (P_{NOM})	±5 %
MPP voltage (V_{MPP})	16.5 V
MPP current (I_{MPP})	3.04 A
Open circuit voltage (V_{OC})	20.0 V
Short circuit current (I_{SC})	3.47 A
Temperature coefficient (P_{MPP})	-0.46 % / °C
Temperature coefficient (V_{OC})	-0.072 V / °C
Temperature coefficient (I_{SC})	4.4 mA / °C
Maximum system voltage	600 V
Cell specifications	
Cells	polycrystalline
Number of cells	36
Cell dimensions	156 x 60 mm
Module dimensions	
Dimensions (L x W x H)	610 x 655 x 34 mm
Weight	6.0 kg

(a)

Electrical Parameters	
Model	PM0050
Power – Pmax (Watts)	Nominal 50
Voltage at Maximum Power – V_{mp} (Volts)	> 16.0
Current at Maximum Power – I_{mp} (Amps)	3.04
Open Circuit Voltage – V_{oc} (Volts)	20.0
Short Circuit Current – I_{sc} (Amps)	3.47
Solar Cells per Module (Units)	36
Type of Solar PV Cell	Multi
Parent Solar Cell Size (mm)	156 Sq
Dimensions and Weights:	
Length (L) – mm	610
Width (W) – mm	655
Thickness (T) – mm	34
Weight – Kgs	6.0
Mounting Holes Pitch (Y) – mm	300
Mounting Holes Pitch (X) – mm	611
Area – Sq. Mtrs	0.40

(b)

Figura 1.- Características eléctricas de los paneles ensayados, a) de la firma CONERGY y b) de la firma PHOTON.

En todos los casos, las curvas I-V se relevaron utilizando el equipo portátil desarrollado para tal fin por el GER. Básicamente, el equipo se conecta a una PC a través del puerto serie o USB, está compuesto por un módulo electrónico que utiliza como carga activa al sistema de generación fotovoltaica y es controlado por un programa que permite la adquisición, registro y visualización de las curvas I-V y de potencia en tiempo real. Así mismo, mediante un termistor y un solarímetro fotovoltaico, el programa registra los valores de temperatura del módulo/panel (T_{panel}) y de radiación solar (G) incidente sobre el módulo durante el ensayo. La temperatura del panel se midió en la parte posterior del módulo adhiriendo el sensor a la célula que se encontraba en el centro geométrico del mismo. El solarímetro se colocó en el mismo plano del panel. Ambos sensores fueron previamente calibrados y las constantes de calibración se almacenan en el archivo de configuración del programa y son leídas durante el inicio del mismo. Con el objetivo de poder extrapolar a las STC los datos obtenidos bajo las condiciones de campo en el momento del ensayo y compararlos con las especificaciones del fabricante o con mediciones de laboratorio, se utilizó el modelo matemático de un dispositivo fotovoltaico, representado a través del circuito eléctrico equivalente presentado en la

Figura 2. Este modelo se encuentra extensamente tratado en la literatura^{8,9}. Los resultados de cada ensayo son almacenados en un archivo cuyo nombre y ruta es ingresado por el usuario.

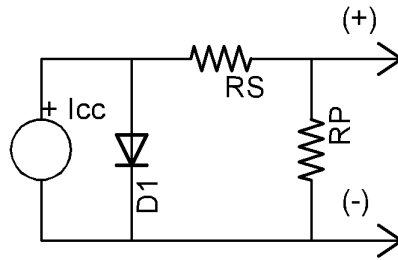


Figura 2.- Modelo eléctrico equivalente de una celda/módulo fotovoltaico.

RESULTADOS OBTENIDOS

La tabla 1 presenta una lista de los ensayos realizados.

Ensayo	Panel ensayado	Condiciones del ensayo
1	26 paneles CONERGY modelo Q 50 PI	Mes de abril - cielo claro - $T_{amb} = 35^{\circ}C$ - $G: 950 W/m^2$ - incidencia normal - sin viento - $T_{panel} = 55^{\circ}C$.
2	38 paneles PHOTON modelo PM0050	Mes de abril - cielo claro - $T_{amb} = 35^{\circ}C$ - $G: 950 W/m^2$ - incidencia normal - sin viento - $T_{panel} = 55^{\circ}C$.
3	6 paneles CONERGY mostrando características I-V anómalas	Mes de julio - cielo claro - $T_{amb} = 20^{\circ}C$ - $G: 800 W/m^2$ - incidencia normal - viento leve.
4	panel CONERGY SN 080657993	Mes de julio - cielo claro - $T_{amb} = 22^{\circ}C$ - $G: 950 W/m^2$ - incidencia normal - viento leve T_{panel} variable entre $39 - 43^{\circ}C$.
5	panel CONERGY SN 080647840	Mes de junio - cielo claro - $T_{amb} = 22^{\circ}C$ - $G: 850 W/m^2$ - incidencia normal - viento leve - $T_{panel} = 35^{\circ}C$. - sombreado parcial (25%) de 8 celdas.
6	Panel 400 Wp instalado en escuela rural	Mes de julio - cielo claro - $T_{amb} = 21^{\circ}C$ - $G: 790 W/m^2$ - ángulo de incidencia $= 37^{\circ}$ - $T_{panel} = 35^{\circ}C$ - sin viento - con y sin sombreado.

Tabla 1. Descripción de los ensayos realizados sobre el lote de módulos y un panel fotovoltaico.

Ensayos 1 y 2: fueron extrapoladas las curvas I-V a condiciones STC y se determinó, para cada marca, una curva I-V promedio representativa del lote ensayado (Figura 3). En el caso de los paneles CONERGY, se detectaron 6 módulos cuyas curvas características presentaban un comportamiento similar al encontrado en condiciones de sombreado parcial. Es importante destacar que, debido a que durante los ensayos estos paneles no fueron sombreados, el comportamiento observado es de naturaleza diferente. La Figura 4 a) muestra las curvas I-V experimentales obtenidas y en la 4 b) se muestran, solo a modo comparativo, curvas de respuesta con distinto nivel de sombreado parcial según lo reportado en la literatura^{10,11,12}.

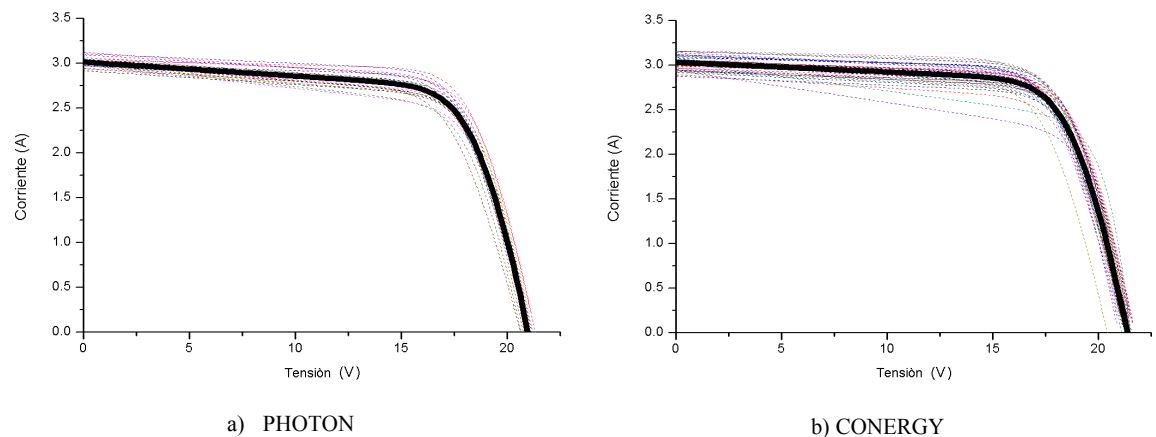


Figura 3.- Curvas I-V en condiciones STD y promedio (línea negra) representativa para cada marca.

En paneles comerciales fabricados en Japón, EEUU, Europa e India es usual integrar en el panel diodos bypass para mitigar pérdidas por efecto de sombreado o aparición de puntos calientes en el panel^{10,11,12}, tal que, por ejemplo, un módulo compuesto por una conexión de 36 celdas en serie normalmente incluye un diodo por cada bloque de 18 celdas¹³, como lo muestra la configuración de la figura 5 a). Los módulos ensayados tienen una la caja de conexión posterior donde están

expuestos los contactos que permitieron levantar las curvas I-V de los submódulos de 18 celdas. El gráfico en la Figura 5 b) muestra las características I-V de los submódulos superpuestas a la del módulo completo (designado como SN080647993). En la misma figura se aprecia la asimetría en las respuestas de los submódulos, donde uno de estos submódulos presenta una respuesta con valores de corriente de menor magnitud, respuesta asociada a algún tipo de problema dentro de esta línea de células conectadas en serie. El efecto producido por este comportamiento diferente está siendo actualmente objeto de un estudio más detallado.

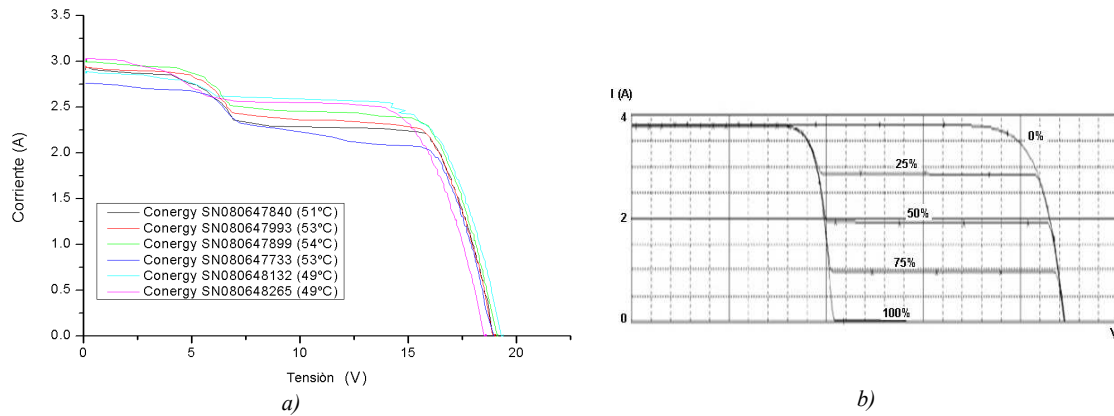


Figura 4.- Características I-V de: a) paneles con comportamiento anómalo. b) panel con distinto grado de sombreado parcial y activación del diodo de bypass(Kaushika N. et al, 2003).

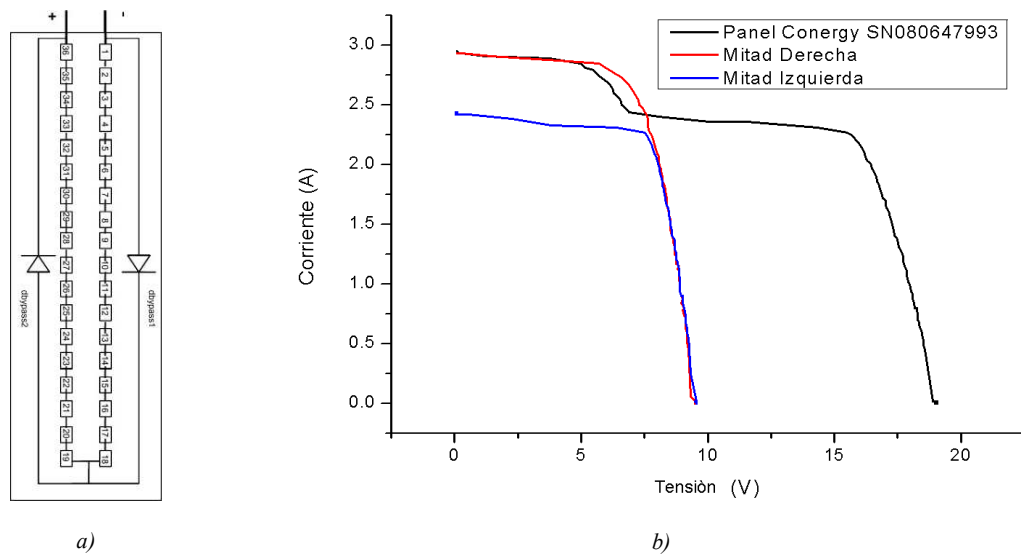


Figura 5.- a) Configuración de un módulo con diodos bypass. b) Características I-V de los submódulos y del módulo completo.

Ensayo 3: Con el objetivo de verificar que los resultados anteriores no fueron causados por error instrumental o experimental, se llevo a cabo un nuevo trazado de las características I-V de estos 6 paneles. El ensayo se realizo durante un día con $T_{amb} = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ y T_{panel} entre 30 a 36°C. Las curvas resultantes mostraron un comportamiento normal (Figura 6) indicando la posibilidad de un problema inducido por efecto de la temperatura.

Ensayos 4: Con el objetivo de verificar la hipótesis de la presencia de una anomalía inducida por efecto de la temperatura, se relevaron las curvas características de uno de estos módulos con diferentes valores de temperatura. El ensayo se ejecutó durante un día soleado con $T_{amb} = 22\text{ }^{\circ}\text{C}$. En todo momento se corroboró una incidencia normal de la radiación solar sobre el panel. Inicialmente, se aisló la parte posterior del panel a fin de minimizar su enfriamiento. Luego de unos minutos de estabilización, se logro una temperatura de panel de 43°C y una curva característica que exhibía la misma anomalía detectada a temperaturas superiores. Ante esta evidencia, se suprimió el aislamiento posterior y se procedió a relevar curvas I-V a diferentes temperaturas de panel durante el proceso de enfriamiento. Si bien la T_{panel} se mide en el centro geométrico del mismo, en este ensayo particular, la misma puede no ser representativa de la distribución de temperaturas en el panel debido a la posible existencia de puntos calientes. La Figura 7 expone las características I-V obtenidas y se puede apreciar que el efecto anómalo exhibido por el panel desaparece cuando la T_{panel} es menor a 39°C. Este hecho otorga un mayor peso sobre la hipótesis planteada inicialmente sobre puntos calientes y actuación del diodo de *by-pass*^{10,11,12}. De incorporarse este panel a

un sistema, se producirían dos efectos negativos principales; por un lado, la potencia entregada sería aproximadamente 9% menor a la de diseño y, por otro lado, se podrían generar puntos calientes que deterioren a lo largo del tiempo el panel reduciendo su vida útil. La aparición de puntos calientes se podría detectar por tomografía.

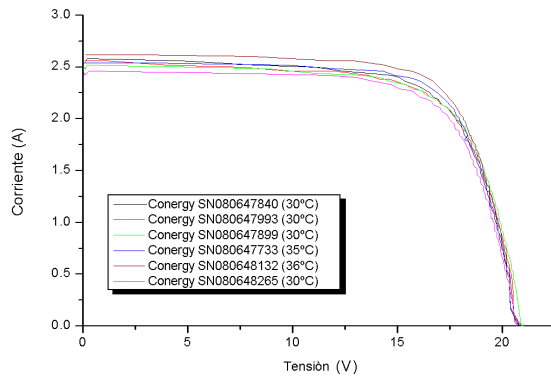


Figura 6.- Características I-V de los 6 paneles con comportamiento anómalo obtenidas durante un ensayo con $T_{panel} = 30-36^{\circ}C$.

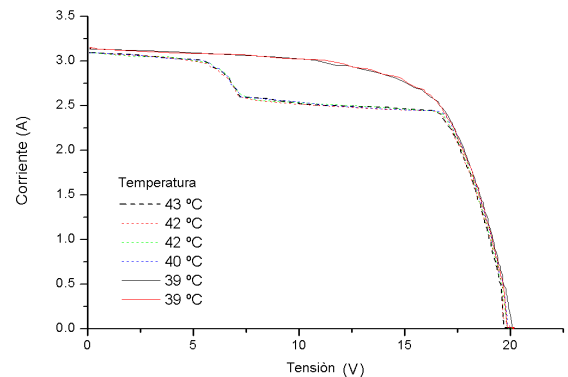


Figura 7.- Evolución de las curvas I-V con T_{panel} variable.

Ensayos 5: este ensayo se llevo a cabo con el objetivo de visualizar el efecto de sombreado parcial de algunas celdas sobre la respuesta del módulo fotovoltaico. En la tabla 1 se detallaron las condiciones ambientales durante el ensayo. La Figura 8 presenta la evolución de la característica I-V del panel a medida que se van cubriendo parcialmente celdas de un submódulo. Las curvas de la Figura 8 a) indican que a medida que se incrementa el número de celdas parcialmente sombreadas la pérdida de potencia tiende a estabilizarse en un 9% aproximadamente. La Figura 8 b) muestra la respuesta a distintos niveles de sombreado sobre una sola celda de un submódulo del panel.

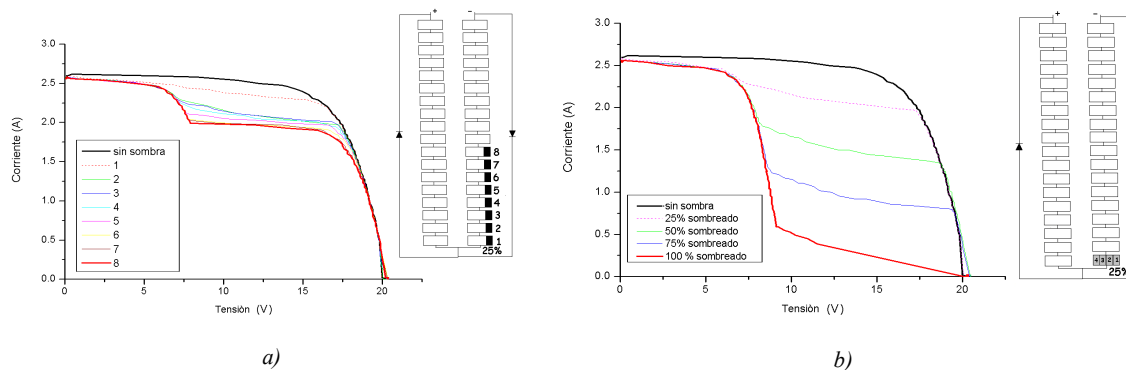


Figura 8.- Evolución de características I-V de un módulo fotovoltaico a causa de sombreado progresivo de celdas. a) sombreado parcial de celdas. b) sombreado total de una celda.

Ensayo 6: Con el objetivo de comprobar la capacidad del equipo portátil para analizar sistemas de potencia, se relevó *in situ* la curva I-V de un banco de 400 Wp instalado en una escuela rural. El mismo está conformado por el paralelo de 4 arreglos de 2 paneles en serie cada uno. En la foto de la Figura 9 muestra una vista del banco ensayado y en la Figura 10 las características I-V y I-P resultantes. El escalón cercano al punto de máxima potencia es un efecto instrumental debido a la inclusión de una precarga óhmica para aumentar el rango de potencia de la carga activa. El punto donde esto ocurre se maneja a través del programa de control y se produce cuando la corriente en la carga activa supera ~ 7.5 A. Evidentemente, los resultados del cálculo de extrapolación a STC para estos casos se ve afectado introduciendo un error sistemático que está en vías de corrección. A pesar de ello, en esta etapa del desarrollo, los resultados obtenidos con el equipo permiten cumplir con el objetivo de contar con una herramienta de diagnóstico y detección de problemas en paneles/bancos. Con el objetivo de evaluar la pérdida de potencia del banco ante situaciones de sombreado, se relevaron curvas I-V cubriendo una celda en módulos opuestos cuya ubicación dentro del panel se muestra en la Figura 9. Fueron analizadas 3 situaciones de sombreado: solo una celda cubierta en el submódulo izquierdo – solo una celda cubierta en el submódulo derecho y ambas celdas cubiertas simultáneamente. Las curvas resultantes se presentan en las Figura 11. El análisis de las áreas bajo estas curvas indica que se produce una reducción del 9% en la potencia generada para el caso de una celda 100% cubierta y de 16% cuando se cubren totalmente dos celdas. Esta situación de sombreado presenta el riesgo de aparición de puntos calientes que pueden dañar el encapsulante o quebrar una celda causando la falla del módulo, y consecuentemente una gran disminución de la eficiencia de la instalación en general.



Figura 9.- Vista del banco de 400 Wp.

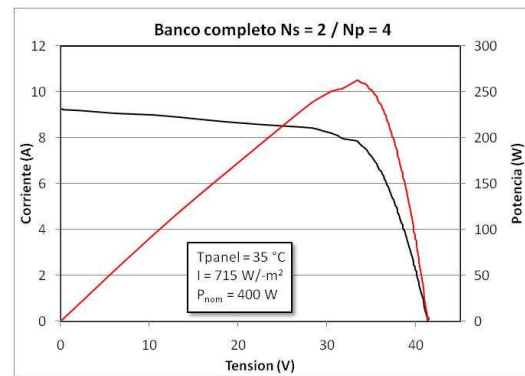


Figura 10.- Características I-V y de potencia experimentales y extrapoladas a STC.

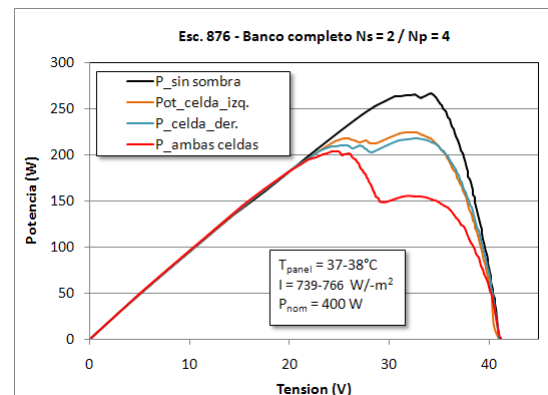
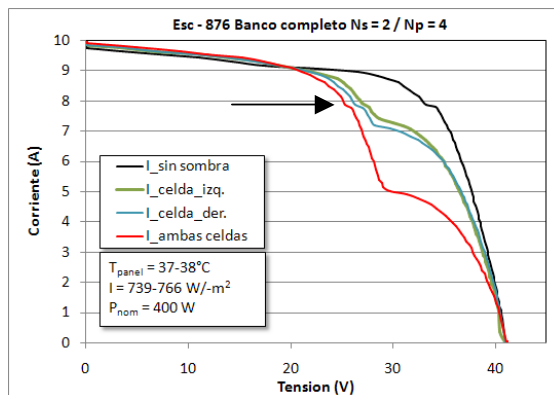


Figura 11.- Características I-V e I-P experimentales sin sombra y con diferentes situaciones de sombreado.

CONCLUSIONES Y TRABAJOS A FUTURO

Se verificó, en términos generales, la versatilidad general del equipo portátil para relevamiento de características I-V de dispositivos fotovoltaicos y de su interface con el usuario. Esto se consiguió mediante su utilización en ensayos *in situ*, bajo diferentes situaciones, de paneles individuales y banco fotovoltaico instalado en una escuela rural.

Los ensayos bajo condiciones reales de operación realizados sobre módulos comerciales sin uso mostraron que algunos de ellos presentan una disminución de eficiencia del orden de 9% cuando la $T_{panel} > 40^{\circ}\text{C}$ (comparados con valores reportados por el fabricante). Se presume que esto se produce por reducción de R_p por aparición de puntos calientes para altas temperaturas de trabajo, efecto que, a largo plazo, podría causar daños irreversibles en el paneles afectados y, por consiguiente, una reducción en la eficiencia del sistema.

Por otro lado, el efecto de sombreado de celdas en el arreglo de 400 Wp (conformado por 4 módulos en paralelo y 2 módulos en serie), muestra una reducción del 9% en la potencia de generación, cuando se sombrea completamente una celda de un módulo y del 16% cuando se sombrea completamente dos celdas pertenecientes a módulos diferentes.

En términos generales, se puede concluir que los diferentes resultados obtenidos durante estos ensayos de prueba del equipo confirman la utilidad del mismo como herramienta portátil de análisis y diagnóstico. No obstante ello, se detectó que cuando son medidos valores de corriente en la carga activa superiores a los 7.5 A, se produce un error sistemático que debe ser corregido.

En lo referente a las características mostradas por los módulos ensayados, queda como trabajo a futuro analizar el origen de la pérdida de potencia a altas temperaturas de trabajo que, de confirmarse ser causadas por puntos calientes, deben ser visibles en imágenes termográficas del panel.

REFERENCIAS

- 1.- PERMER - PROYECTO DE ENERGÍAS RENOVABLES EN MERCADOS RURALES (2007). Estudio de Mercado para la Provincia de Corrientes. <http://energia.mecom.gov.ar>
- 2.- Winter CJ, Sizmann LL, Vant-Hull ; (1991). Solar power plants. Berlin: Springer.
- 3.- Bucciarelli L, 1979. Power loss in photovoltaic array due to mismatch in cell characteristics. Solar Energy;23:pp 277-88.

- 4.- Gonzalez C, Weaver R. (1980). Circuit design considerations for photovoltaic modules and systems. In: 14th IEEE photovoltaic specialists conference, San Diego, CA, Tanuey pp. 525–35.
- 5.- Chamberlin CE, Lehman P, Zoellick J, Pauletto G, (1995). Effect of mismatch losses in photovoltaic arrays. *Solar Energy*; 54(3): pp 165–171.
- 6.- Kaushika ND, Gautam NK, (2001). Mismatch losses and time to failure of solar PV arrays. In: Proceedings of International Solar Energy Society Meeting, Adelaide, Australia., pp. 336.
- 7.- Toranzos V, (2008). Informe interno sobre avance del Trabajo de Tesis de Maestría en Energías Renovables. GER – Grupo en Energías Renovables. FaCENA. UNNE..
- 8.- Sistema Para la Generación Automática de Curvas I-V y P-V. Monitorización de Módulos Fotovoltaico (2004). XXV Jornadas de Automática Ciudad Real. 8 al 10 de Septiembre. España..
- 9.- Caracterización de Módulos Fotovoltaicos (2003). *Revista Colombiana de Física*, Volumen 35, N°1.
- 10.- Silvestre S., A. Boronat and A. Chouder, (2009). Study of bypass diodes configuration on PV modules. *Applied Energy*. Volume 86, Issue 9, pp. 1632-1640.
- 11.- Quaschnig V, Hanitsch R., (1996). Numerical simulation of current–voltage characteristics of photovoltaic systems with shaded solar cells. *Solar Energy*;;56(6):513–20.
- 12.- Swaleh MS, Green MA, (1986). Effect of shunt resistance and bypass diode on the shadow tolerance of solar cell modules. *Solar Cells*;;5(2): 183–98.
- 13.- Kaushika Narendra D, Guatam Nalin K, (2003). Energy yield simulations of interconnected solar PV arrays. *IEEE Trans Energy Convers*;18(1):127–34.
- 14.- Normas IRAM 210013-2: (1998). Módulos fotovoltaicos. Características eléctricas en condiciones normalizadas.

ABSTRACT: This paper analyzes the functionality of a portable equipment for surveying IV characteristics of photovoltaic modules by GER – Grupo en Energías Renovables - FaCENA - UNNE. The equipment was tested under various situations, on photovoltaic modules of different brand with no use at all, 26 PHOTON, 31 CONERGY, and on a photovoltaic array of 400 Wp installed at a rural school near the city of Corrientes. An average IV characteristic was determined for each set which, in the absence of reliable data from the manufacturer, may be taken as representative for the brand. An anomalous behavior was also revealed in 6 out of the 26 CONERGY modules. Test at variable panel temperature show that this behavior is induced for $T_{\text{panel}} > 40 \text{ }^\circ \text{C}$ and could result in the formation of hot spots. The impact of partial shading on the I-V panel characteristic was also investigated. This analysis was performed on individual modules and on the array of 400 Wp. as well. A loss of 9% and 16% respectively was determined as consequence of partial shading. In general terms, the portable equipment has proven to be adequate for both laboratory and field use, being fast, simple and reliable. However, there was a systematic error produced by the control algorithm of the active load which is being corrected.

Keywords: solar panel, electric characteristics of photovoltaic modules, photovoltaic generation