

Aparato para medir curvas características de módulos fotovoltaicos con radiación natural

Energía Solar Fotovoltaica

Arno Krenzinger, Alexandre José Bühler, Fabiano Perin Gasparin

Laboratorio de Energía Solar
UFRGS – Universidade Federal del Rio Grande del Sul
Av. Bento Gonçalves, 9500 Porto Alegre RS
www.solar.ufrgs.br, arno.krenzinger@ufrgs.br

RESUMEN Para obtener con exactitud las características eléctricas de dispositivos fotovoltaicos hace falta, muchas veces, disponer de instalaciones adecuadas para poner el módulo en las condiciones estándar de medición. Para ello, algunas instituciones hacen uso de simuladores solares, manteniendo el módulo en las condiciones de temperatura obtenidas en el interior del laboratorio, ya que al exponer el modulo en condiciones externas la temperatura ambiente actuando con la radiación solar lleva el dispositivo a operar en temperaturas bastante elevadas. Con la intención de utilizar las ventajas de la radiación solar natural combinadas con el hecho de poderse mantener baja la temperatura de los módulos, fue construido, en el Laboratorio de Energía Solar de la UFRGS, un gabinete acondicionado con una ventana con apertura suficientemente grande, como para exponer uniformemente toda el área de los módulos a la radiación solar. Este gabinete se ha construido sobre trillos circulares que permiten al mismo girar apuntando hacia diferentes ángulos acimutales. El aparato se completa con la instrumentación utilizada, con capacidad de operar a través de un computador personal. Se ha preparado un programa para el gerenciamiento de las operaciones de la instrumentación y así el computador transmite pulsos eléctricos para comandar el barrido de las mediciones de forma concomitante. El sistema mide tensión, corriente, radiación solar y temperatura mientras una fuente electrónica de potencia produce un barrido de tensión desde valores negativos de tensión hasta ultrapasar la tensión de circuito abierto del módulo fotovoltaico. En este trabajo se presentan datos sobre la construcción del gabinete y sobre la construcción del sistema de mediciones, así como las posibilidades de operación obtenidas. Se discuten ventajas y desventajas con respecto a sistemas de medición con simulador solar. Además, como ejemplos de utilización del sistema desarrollado, son presentadas y analizadas algunas curvas características medidas con el sistema.

INTRODUCCIÓN

La energía solar fotovoltaica ha alcanzado un espacio cada vez más grande en todo el mundo en los últimos años. La industria de células fotovoltaicas creció 85% en 2008 llegando hasta casi 8 GWp en un año, principalmente debido a las aplicaciones en sistemas conectados a la red eléctrica. En los países desarrollados los gobiernos destinan grandes incentivos financieros, tanto para la instalación de sistemas fotovoltaicos cuanto para el desarrollo científico, tecnológico y divulgación de esa tecnología. Alemania y España diversificaran su matriz energética a través del aprovechamiento de la energía eólica e solar.

En la América Latina, la energía fotovoltaica todavía está lejos de las cantidades aplicadas en países europeos, pero su futuro es promisorio. Nuestro continente posee un potencial solar más importante que el de Europa y ya cuenta con algunos centros de investigación y desarrollo de esa tecnología.

La caracterización de módulos fotovoltaicos de forma eficaz e confiable es importante en la implementación de nuevas instalaciones e averiguación del desempeño de las instalaciones ya existentes. Ensayos mecánicos, térmicos y

eléctricos son importantes para prever el comportamiento del generador fotovoltaico bajo diferentes condiciones de operación.

CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

Para el análisis del desempeño eléctrico de un módulo fotovoltaico es necesaria la determinación de la curva ($I-V$) de corriente e voltaje denominada curva característica. A través de esta curva es posible obtener importantes informaciones sobre las características eléctricas del generador fotovoltaico como a corriente de corto circuito (I_{SC}), a voltaje de circuito abierto (V_{OC}) e o ponto de máxima potencia (P_M). La determinación de esta curva, según las normas internacionales, debe ser realizada dentro de condiciones específicas de temperatura e radiación solar incidente denominada condición patrón de ensayo ($G = 1000 \text{ W/m}^2$, $AM = 1,5$ e $T_C = 25 \text{ }^\circ\text{C}$).

La Figura. 1 presenta una curva $I-V$ (corriente *versus* voltaje) e una curva $P-V$ (potencia *versus* voltaje) de un módulo fotovoltaico de silicio monocristalino de 130 W de potencia nominal, que é determinada en las condiciones patrones de prueba.

La temperatura de la célula fotovoltaica es un factor de importante influencia en la curva característica de un dispositivo fotovoltaico. LA corriente eléctrica de corto-circuito aumenta ligeramente con la temperatura, para módulos de silicio cristalino, según un coeficiente (α) que presenta valores típicos para el silicio de $0,06\%^\circ\text{C}^{-1}$ ó $0,03 \text{ mA}^\circ\text{C}^{-1} \text{ cm}^2$. El coeficiente da variación de la corriente de corto-circuito con la temperatura es definido por la Ecuación. 1.

$$\alpha = \frac{\partial I_{SC}}{\partial T} \tag{1}$$

El voltaje, por su vez, presenta una variación lineal con la temperatura. Típicamente, para módulos de silicio monocristalino, el voltaje disminuí de acuerdo con un coeficiente (β) que presenta valores del orden de $-2,3 \text{ mV/}^\circ\text{C}$ por célula. El coeficiente de variación del voltaje de circuito abierto con la temperatura puede ser definido por la Ecuación (2).

$$\beta = \frac{\partial V_{OC}}{\partial T} \tag{2}$$

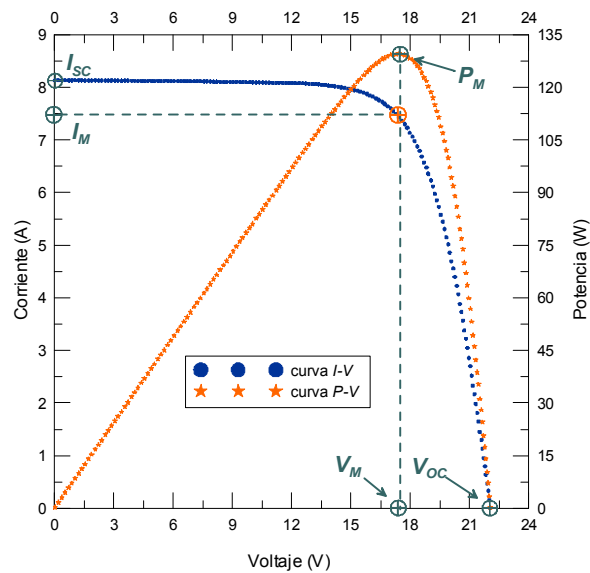


Figura 1. Curva característica ($I-V$) y curva de voltaje *versus* potencia ($P-V$) de un módulo de silicio monocristalino con 130 W de potencia.

Esta disminución de voltaje es debida principalmente al incremento exponencial de la corriente de saturación reversa. Esa corriente es fruto de los portadores de carga minoritarios criados por excitación térmica.

La máxima potencia que un dispositivo fotovoltaico es capaz de fornecer también sufre variación con la temperatura. A medida que la temperatura de las células que componen un módulo aumenta, su potencia máxima disminuye. Esta tasa de reducción de potencia varia dependiendo de las características eléctricas del módulo. Módulos de silicio cristalino, por ejemplo, presentan una reducción en la potencia entre 0,3% P_M e 0,5% P_M mientras módulos de silicio amorfo normalmente presentan una tasa del orden de -0,3% P_M .

GABINETE CLIMATIZADO PARA ENSAYOS DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

La obtención de una curva característica $I-V$ en la temperatura patron de 25°C, consiste en una tarea muchas veces difícil de realizar bajo iluminación natural, principalmente en el verano, cuando es comun días con temperaturas ambiente superiores a 30°C. Para facilitar el control de la temperatura de los módulos en los ensayos de caracterización, fue construido en el Laboratorio de Energía Solar (LES) de la Universidade Federal del Rio Grande del Sul (UFRGS) un gabinete climatizado en estructura metálica, que permite la realización de ensayos de módulos fotovoltaicos bajo iluminación natural. Es un gabinete con aproximadamente 17 m³ de volumen interno cuya temperatura interna es controlada por un acondicionador de aire de 12000 BTU/h, equivalente a una potencia térmica de 3517 W. El acondicionador de aire es del tipo *split* e posee función de calentamiento e resfriamiento.

Las paredes y el techo del gabinete climatizado son constituidos por paneles con perfil trapezoidal, con dupla superficie metálica e relleno interno con poliuretano. Los paineles poseen espesor de 50 mm e buena resistencia mecánica debido al perfil trapezoidal. Tales paineles posibilitan asilamiento térmico, de forma que el acondicionamiento del aire en el interior del gabinete pueda ser controlado.

El gabinete posee una ventana (abertura sin vidrio) con dimensiones de 3,0 m por 1,4 m e corte en un ángulo de 30° con la horizontal, que permite con que los módulos queden expuestos a la radiación solar directa durante todo el día. Esto es posible, ya que el gabinete climatizado es apoyado en una base giratoria que permite una variación de hasta 360° en la orientación de la misma.

Como forma de minimizar los cambios de calor por convección entre los medios externo e interno del gabinete, hay dos cortinas de aire en la parte inferior de la ventana de ensayos. Estos dispositivos son capaces de fornecer un flujo de aire con velocidad de hasta 14 m/s. Además de disminuir los cambios de calor por convección con el medio externo, las cortinas también pueden ser utilizadas para reducir el tiempo de resfriamiento de los módulos por medio de convección forzada. Esto es importante en ensayos donde se necesite resfriar e calentar el módulo diversas veces en secuencia, como por ejemplo, en la determinación de la resistencia serie del mismo de acuerdo con las normas internacionales. La Figura 2 presenta diferentes aspectos del montaje e del resultado de la instalación del gabinete. En las Figuras 2(a) e 2(b) aparece la estructura de la base giratoria. En las Figuras 2(c) y 2(d) el gabinete aparece ya finalizado, respectivamente con la cortina metálica cerrada y abierta. La Figura 2(e) enseña el soporte de los módulos en el interior del gabinete y la Figura 2(f) enseña detalles de las cortinas de aire instaladas en la ventana del mismo.



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

Figura 2 Aspectos de la construcción del gabinete (a) estructura metálica; (b) montaje del gabinete; (c) Gabinete terminado; (d) Ventana con los módulos; (e) soporte de módulos en el interior; (f) detalle de la cortina de aire

COMPORTAMIENTO TÉRMICO DEL MÓDULO FOTOVOLTAICO

Para realizar un análisis del comportamiento del módulo dentro del gabinete climatizado en régimen de calentamiento y resfriamiento, fue realizado un experimento midiendo la temperatura media del interior del gabinete, temperatura ambiente e temperatura de un módulo fotovoltaico, medida en la parte posterior del mismo. Durante el período del ensayo a temperatura ambiente estuvo cerca de 25°C u la radiación solar horizontal estuvo próxima de 700 W/m^2 .

Este ensayo fue realizado en un día con radiación solar estable (cielo sin nubes) y en un horario en que el efecto de la variación de la radiación en el calentamiento del módulo y del interior del gabinete puede ser despresado. La

velocidad del viento durante el ensayo puede ser considerada pequeña al punto de no interferir considerablemente en los regímenes de calentamiento e resfriamiento analizados. Fue utilizado un módulo de silicio amorfo con área de aproximadamente $0,81 \text{ m}^2$, coeficiente de absorción aproximadamente 70% y calor específico medio de $920 \text{ J kg}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$.

La Figura 3(a) presenta el régimen de calentamiento e resfriamiento del módulo e del interior del gabinete, así como la variación de la temperatura ambiente exterior. En la Figura 3(b) se puede ver la ampliación del período cuando el módulo es otra vez iluminado con radiación solar, con intensidad de aproximadamente 1000 W/m^2 . El gráfico comprueba que por un período de cerca de 20 segundos a temperatura del módulo varia muy poco. El tiempo de ensayo es del orden de solamente 0,2 s e, por lo tanto, se puede considerar la temperatura constante.

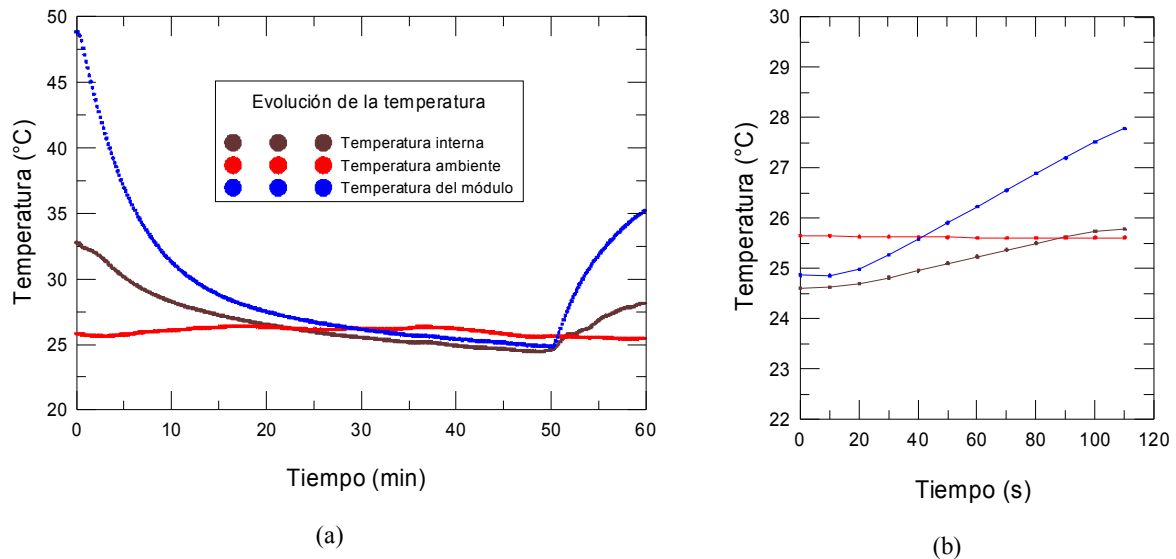


Figura 3. (a)Evolución de la temperatura del módulo dentro del gabinete de ensayo y (b) ampliación de la región cuando el módulo llega a la temperatura de ensayo

DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA ELECTRONICO DESARROLLADO PARA TRAZAR LA CURVA

Para trazar la curva característica I-V de un módulo fotovoltaico es necesario realizar un barrido de voltaje en el módulo, polarizándolo con valores de voltaje e midiendo la corriente correspondiente bajo determinadas condiciones de radiación solar e temperatura del módulo. Para la obtención completa da curva característica I-V son necesarios valores de voltaje inferiores a 0 V para definir exactamente el punto de corto-circuito, pues es necesario compensar la queda de voltaje asociada a la resistencia serie y a los cables y conexiones, hasta valores de voltaje superiores al punto de circuito abierto. Anteriormente un sistema de medición ha funcionado muy bien en el Laboratorio de Energía Solar (Prieb, 2002) y ahora los instrumentos fueran actualizados (Gasparin, 2009). Fue utilizada como carga electrónica en el sistema desarrollado una fuente bipolar de cuatro cuadrantes marca KEPCO modelo BOP 100-10 MG. Por medio de comandos enviados por el programa de gerenciamiento, esta fuente es programada con el valor inicial y final de la rampa de voltaje y el tiempo de duración de la rampa es calculado a partir del número de puntos e del tiempo de duración de cada medida. En cuanto la fuente realiza el barrido de voltaje es necesario medir los pares I-V de manera sincronizada con la rampa. Fueran utilizados dos multímetros digitales Agilent 3458A para las medidas de voltaje y corriente. Al mismo tiempo uno tiene que medir el valor de la radiación solar incidente sobre el módulo. Según la norma técnica brasileña NBR 12136 (ABNT 1991) la variación da radiación durante el ensayo bajo iluminación natural no debe ser más grande que el 1 %. La mejor manera de garantizar esta condición es la realización del barrido en un intervalo de tiempo pequeño, del orden de décimas de segundo, pues en ese período la variación de radiación no

ultrapasa el 1 % en días de cielo limpio. La temperatura del módulo es medida inmediatamente antes e después del ensayo, y el ensayo es realizado en un tiempo en el cual la variación de temperatura é despreciable.

El número de puntos de cada curva puede ser definido en el programa de gerenciamiento, limitado a 2000 puntos. El límite teórico sería de 10240 puntos, que es el número de medidas que el multímetro 3458A puede almacenar en la memoria, pero una cantidad de puntos de esta magnitud aumentaría o tiempo total de medida e o tiempo de transferencia de los datos de los multímetros para el computador desnecesariamente.

El método elegido para iniciar cada medida fue el disparo por *hardware* a través de la entrada de *trigger* externo de los multímetros. De esta manera garantizase que cada medida tendrá el mismo pulso de disparo para los dos multímetros, asegurando la simultaneidad de los puntos obtenidos. La fuente generadora de los pulsos de disparo es la puerta paralela del computador. Fueran montadas dos líneas de *trigger* para tornar independiente el disparo de la medida de radiación y del par I-V. Esto fue necesario debido al multímetro modelo 34410A poseer tiempo mínimo de integración de 100 μ s lo que limitaría el tiempo total de la medida de la curva, y no sería explorada la capacidad de lectura del multímetro 3458A. Con la división de las líneas de *trigger* en dos, se obtiene la individualidad del disparo para los multímetros 3458A e 34410A. En el programa de gerenciamiento fue desarrollada una función para establecer un tiempo mínimo para cada medida de radiación. De esta manera es posible realizar el barrido de voltaje tomando hasta 50 μ s por medida de corriente e voltaje, e al mismo tiempo tomar medidas de radiación en intervalos más grandes de tiempo. Aunque el sistema desarrollado esté interconectado con la fuente, también es posible utilizarlo para adquisición de pares I-V cuando a polarización es hecha por cargas externas. El tiempo de barrido de la carga externa debe ser compatible con el tiempo de la medida y el sincronismo del inicio de la medida puede ser hecho manualmente. El diagrama esquemático y la fotografía del sistema pueden ser vistos en la Figura 4.

El sistema es compuesto por los siguientes componentes:

- Fuente bipolar KEPCO – BOP 100-10MG, la carga electrónica utilizada para polarizar o módulo fotovoltaico con los diversos valores de voltaje da curva I-V. La fuente KEPCO BOP 100-10MG es un dispositivo que actúa en los cuatro cuadrantes. El módulo fotovoltaico actúa como carga activa, es decir, como fuente de corriente cuando polarizado en el cuadrante de generación. En los otros cuadrantes el módulo irá disipar la corriente fornecida por la fuente. La fuente tiene potencia máxima de 1000 W con límites de ± 100 V e ± 10 A, permitiendo caracterizar módulos e arreglos dentro de esta banda de voltaje e corriente.
- Multímetro Agilent 3458 A, con resolución máxima de 8 ½ dígitos. En el sistema desarrollado la resolución es de 6 ½ dígitos debido al tiempo de integración utilizado. El multímetro puede ser configurado a través de menús en el panel frontal o a través de comandos enviados por la interfaz GPIB, utilizando una sintaxis de comandos propia, similar al patrón SCPI. La memoria del equipamiento tiene capacidad de almacenar hasta 10240 medidas. Entre otros parámetros, el tiempo de integración, que es el tiempo en lo cual el convertidor A/D (analógico / digital) mide la señal de entrada, es el mas preponderante en la resolución máxima obtenida.
- Multímetro Agilent 34410 A, con resolución máxima de 6 ½ dígitos. El tiempo de integración mínimo para la medida de voltaje DC é de 100 μ s. La memoria interna tiene capacidad de almacenar hasta 50000 lecturas. Además de las variables usuales, este multímetro tiene la función de medida de temperatura directamente utilizando un Pt100 a 2 o 4 fillos. La programación del multímetro es realizada a través de comandos SCPI enviados por la interface GPIB.
- Microcomputador e convertidor USB – GPIB: un computador con sistema operacional Windows®, interfaces USB e porta paralela é utilizado para comandar o sistema. O programa de gerenciamiento del sistema irá rodar en el computador, efectuando la comunicación con los equipamientos por comandos enviados vía convertidor

USB - GPIB modelo Agilent 82357A. La otra función del computador es realizar el disparo de los multímetros por la entrada de *trigger* externo, utilizando pulsos enviados por la puerta paralela.

- Resistor *shunt* para medida de corriente: La corriente es medida por medio de un resistor *shunt* da marca *Hartmann & Braun* clase de precisión 0,5 %, representado por R_2 en la Figura 4(a). El valor nominal del resistor utilizado es 300 mV / 10 A.
- Célula de referencia con resistor *shunt*: La célula de referencia utilizada para la medida de la radiación solar es de silicio monocristalino previamente calibrada en el Instituto de Energía Solar de la Universidad Politécnica de Madrid – España, en el año de 1988. La célula fue calibrada en el Laboratorio de Energía Solar de UFRGS en el mes de noviembre de 2008, contra un piranómetro marca Eppley, permaneciendo el valor especificado en la calibración original. La célula tiene corriente de corto-circuito de 122,8 mA para 1000 W/m² de radiación. Esta corriente es medida a través de un resistor de 0,2505 Ω , representado por R_1 en la Figura 4(a). Con estos datos se obtiene la constante de 30,761 mV para 1000 W/m² de radiación.

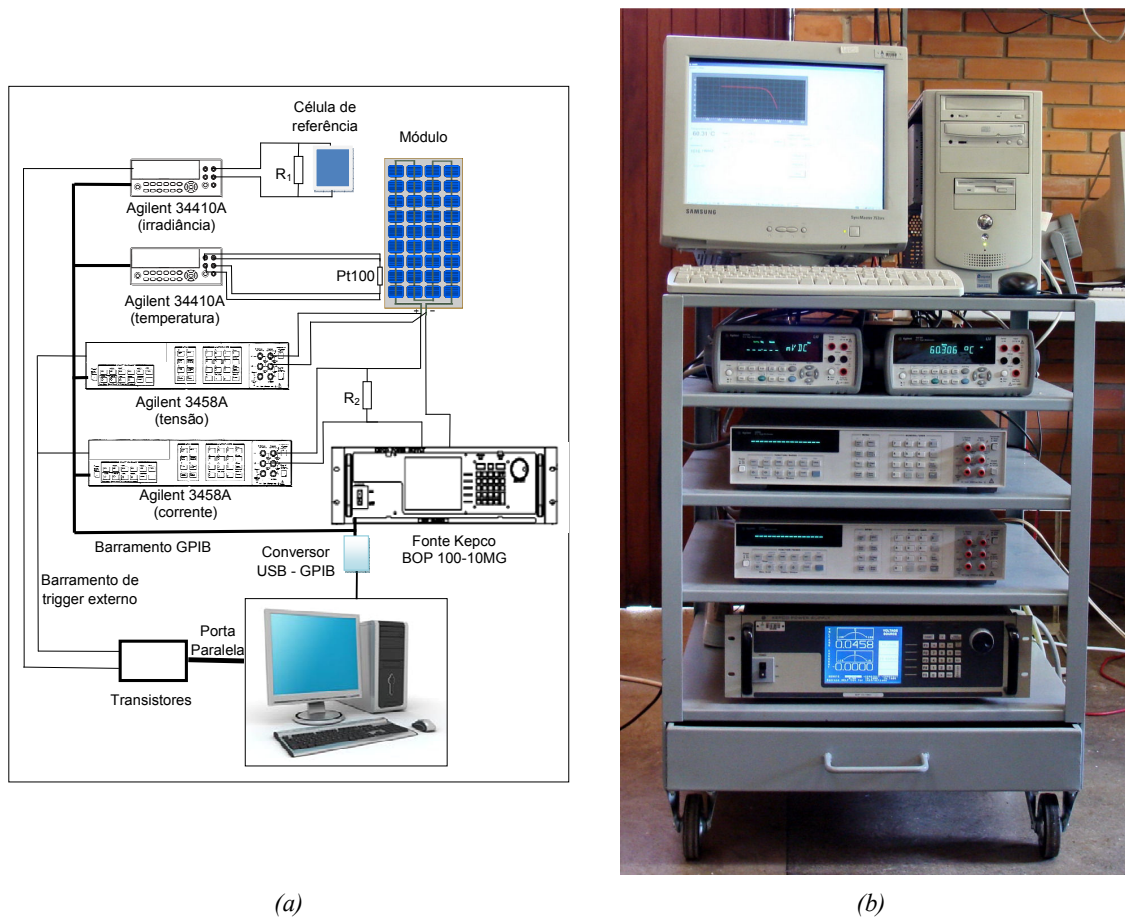


Figura 4: (a)Diagrama esquemático del sistema, (b)Fotografía del equipo de medición

METODOLOGIA DE ENSAYO DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

Para a adquisición de una curva característica de un dispositivo fotovoltaico utilizando el gabinete climatizado, utilizase el siguiente procedimiento:

1. Con la cámara cerrada, el aire en su interior es condicionado a una temperatura aproximadamente 2°C inferior a la temperatura en la cual se pretende medir la curva *I-V*. Esto permite con que sean realizadas medidas con

temperaturas de no mínimo 20°C, una vez que el límite inferior de acondicionamiento de temperatura del aparato de aire-condicionado es de 18°C.

2. Considerando que el dispositivo en ensayo está en equilibrio térmico con el interior del gabinete climatizado, la temperatura del conjunto es medida por medio de un sensor fijado en la parte posterior del módulo fotovoltaico.
3. Una vez estabilizada la temperatura en el interior del gabinete, la cortina metálica es abierta, entretanto el dispositivo en ensayo es mantenido cubierto por un material opaco.
4. Las cortinas de aire pueden ser accionadas, caso la temperatura en el exterior del gabinete esté mucho más alta que la temperatura en su interior, tornando mas lento el tiempo de calentamiento del dispositivo en ensayo.
5. El módulo es entonces descubierto y su temperatura monitoreada hasta atngir el valor deseado para la medida de la curva $I-V$, utilizando un trazador de curvas.
6. El ángulo acimutal del gabinete puede ser modificado caso se desee una variación en la intensidad de la radiación incidente en el módulo. Sin embargo el ángulo acimutal es mantenido dentro de una tolerancia que garantiza que el ángulo entre los rayos de luz incidentes y la normal al plano del módulo no sea mayor que 30°.

Un programa de computador en lenguaje Visual Basic® fue desarrollado para gerenciamiento de los equipos utilizados en el sistema de adquisición y guardar los datos en un fichero para posterior procesamiento. El programa posee básicamente dos telas de interface con el usuario. En la tela de configuración son inseridos los parámetros para definir el valor inicial y final de la rampa de barrido de voltaje. Estos valores son transmitidos para la fuente KEPCO a través del conexionado GPIB dejándola preparada para la ejecución a partir de un comando futuro. En la tela de configuración también son introducidos los valores de las constantes para la medida de corriente y radiación. Para la medida de corriente se debe insertar la constante del resistor *shunt* en la unidad [mV/A]. Este valor será utilizado en el programa para convertir los valores de voltaje medidos para a corriente correspondiente. La constante para medida de radiación es expresa en [mV/1000 W/m²]. Esta unidad fue escogida para posibilitar el uso de cualquier sensor o instrumento de medida de radiación solar con salida en voltaje. Para medir la corriente de corto-circuito de la célula de referencia un resistor *shunt* é conectado e a relación de voltaje debe ser determinada previamente. Para completar, configura-se el número total de medidas que serán tomadas y el tiempo de cada medida en microsegundos. El tiempo mínimo de cada medida fue establecido en 50 µs e o número total de medidas fue limitado en 2000.

La tela principal del programa posee un botón de configuración que prepara os equipamientos para la medida, enviando los comandos de configuración. El botón “Disparar” inicia las siguientes acciones en el sistema:

1. El circuito eléctrico es cerrado por medio de un relé comandado por la puerta paralela;
2. La temperatura inicial del módulo es medida;
3. Se envía el comando para la fuente iniciar la rampa de barrido;
4. Los pulsos de disparo son enviados para los multímetros por la porta paralela del computador;
5. Cada medida es almacenada en la memoria de los multímetros;
6. Después del envío del número de pulsos de *trigger* programado se toma otra medida de temperatura;
7. El circuito es interrumpido por el relé, dejando el módulo en circuito abierto;
8. Las medidas son transferidas del multímetro para el computador e almacenadas en vectores;
9. Los multímetros son reinicializados;
10. La curva I-V medida puede ser visualizada al pulsar el botón gráfico;
11. Se puede salvar las medidas en un fichero de datos, pulsando el botón salvar.

Para facilitar el monitoreo en cuanto no está siendo hecho un barrido de voltaje, hay dos campos que informan la radiación solar instantánea y la temperatura del módulo con actualización a cada 0,5 s se la caja de selección correspondiente esté habilitada. La incertidumbre de la medida de la temperatura absoluta es de 0,26 °C, sin embargo el campo posee resolución de 0,01 °C para verificación de las variaciones por el usuario del sistema. El fichero generado con extensión .dat é salvo en columnas separadas por vírgulas. Las columnas poseen los siguientes datos: número da medida, medida de voltaje, medida de corriente, y medida de radiación solar. La temperatura inicial y temperatura final del módulo también son registradas en el fichero. Además de estos datos, son gravados el horario y fecha de la medida. Este fichero puede ser abierto fácilmente en planillas electrónicas para generación de gráficos e procesamiento donde es posible efectuar el cálculo de los parámetros fotovoltaicos deseados, hacer la translación de la curva para otras condiciones e generar informes de ensayos.

MEDIDAS DE CURVAS CARACTERÍSTICAS

La utilización del gabinete climatizado posibilitó al Laboratorio de Energía Solar de la UFRGS la determinación de curvas características de módulos fotovoltaicos en la temperatura patrón o en valores inferiores a esta, mismo en días de temperatura ambiente superior a 30°C, por ejemplo. Además, ensayos para la determinación de los coeficientes térmicos de un módulo, también han quedado más fáciles de ejecutar proporcionando resultados bastante satisfactorios. Los datos adquiridos durante un barrido son transferidos e almacenados en un microcomputador. A Figura 5 enseña una secuencia de datos adquiridos en un ensayo. Fueran medidos 1000 conjuntos de valores de corriente, voltaje e radiación, siendo que en el gráfico son presentados solamente 1 punto a cada 5 puntos adquiridos, para que no salieran pegados un punto en el otro en la representación. Como otro ejemplo de ese tipo de ensayo, son presentadas la Figura 6 que contiene curvas $I-V$ y la Figura 7 que contiene curvas $P-V$ medidas a diferentes temperaturas y para una radiación solar incidente de 1000 W/m² para un módulo de silicio amorfo de la marca Unisolar.

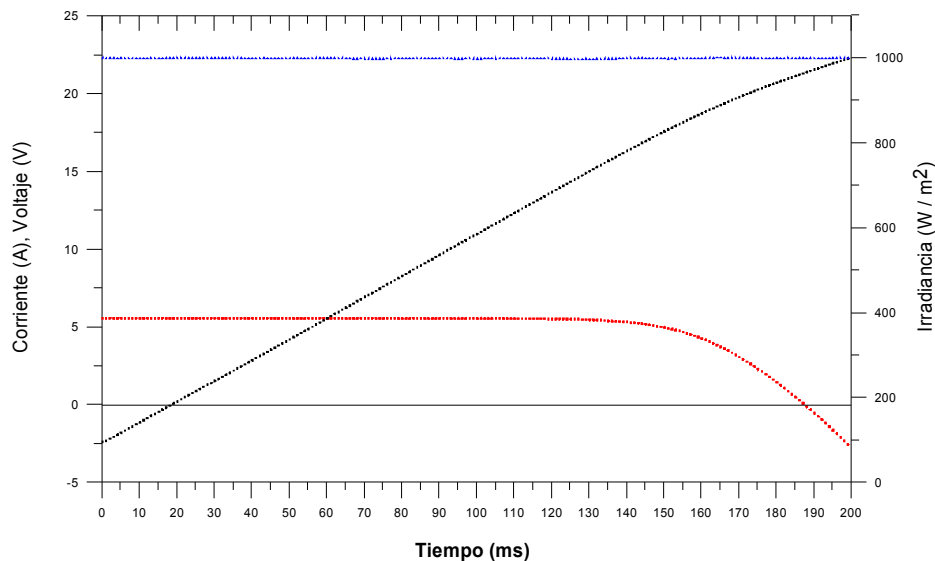


Figura 5 Resultado de la adquisición de datos en 200 ms. El gráfico enseña solamente 1 en cada 5 puntos adquiridos.

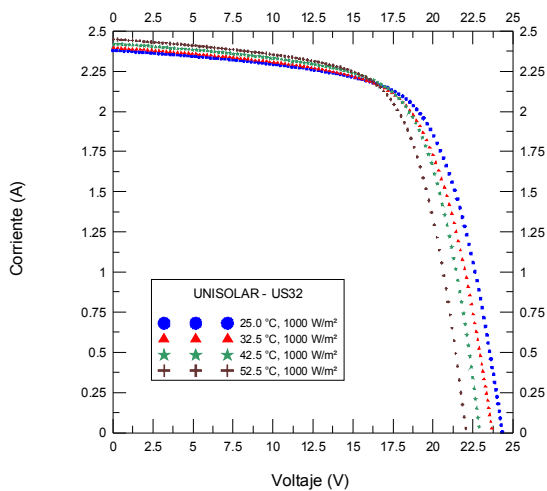


Figura 6. Curvas características medidas a diferentes temperaturas de um módulo de silício amorfo modelo US32.

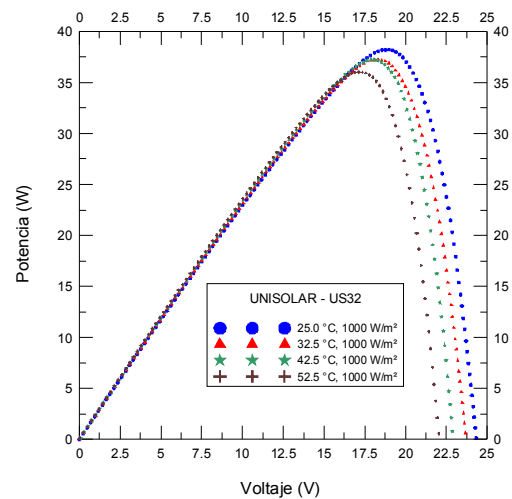


Figura 7. Curvas de potencia *versus* voltaje medidas a diferentes temperaturas de um módulo de silício amorfo modelo US32.

CONCLUSIÓN

Fue construido un gabinete con temperatura controlada para abrigar módulos fotovoltaicos en el momento de determinación de sus características eléctricas. El gabinete puede ser orientado para poner los módulos frente a la radiación solar en varias horas del día. El aparato cuenta también con una adecuada instrumentación para el trazado de curvas de módulos, con capacidad de operar a través de un computador personal y completar un ensayo en tiempos del orden de las décimas de segundo. Se ha comprobado la eficacia del aparato midiendo diversas curvas características en diferentes temperaturas.

AGRADECIMENTOS

Los autores agradecen al CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Brasil) por el apoyo financiero en el desarrollo de este trabajo.

REFERÊNCIAS

- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1991a. “NBR12136 Módulos fotovoltaicos – Determinação de características fotoelétricas”, Rio de Janeiro.
- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas 1991b. “NBR12302 Módulos fotovoltaicos – Correção das curvas características corrente versus tensão ($I \times V$), em função da temperatura e radiação”, Rio de Janeiro.
- Agilent Technologies, 2007 “Agilent 34410A/11A User’s Guide”, Edition 4.
- Gasparin, F. P., 2009, “Desenvolvimento de um traçador de curvas características de Módulos Fotovoltaicos”. Dissertação de Mestrado, PROMEC/UFRGS, Porto Alegre RS.
- Prieb, C. W. M., 2002. “Desenvolvimento de um Sistema de Ensaio de Módulos Fotovoltaicos”. Dissertação de mestrado, PROMEC/UFRGS, Porto Alegre RS.