

PROPUESTA DE EVALUACION DEL COMPORTAMIENTO DE PANELES FOTVOLTAICOS

Susana Chiabrera*, Vicente Volantino**
INTI, Instituto Nacional de Tecnología Industrial

INTRODUCCION

En el INTI se han venido realizando desde hace varios años ensayos sobre módulos fotovoltaicos.

Dichos ensayos fueron hechos a pedido de los interesados, en forma puntual; es decir, a medida que surgía la necesidad de los mismos.

A partir de la experiencia adquirida en el Instituto y al estudio de normas internacionales utilizadas para la caracterización de dichos módulos, se ha podido elaborar un plan de ensayos, tal que permitan caracterizar cada modelo de panel fotovoltaico existente en el mercado.

Si bien en la Normativa de referencia se propone una gran variedad de ensayos a ejecutar, en esta propuesta del INTI se han seleccionado una cantidad de ensayos mínimos que, a nuestro criterio, son los necesarios para efectuar una evaluación del comportamiento de los módulos sin tener que someterlos a ensayos demasiado exigentes, en relación con las aplicaciones para las cuales serán utilizados.

Es una propuesta para la calificación del diseño y la aprobación de cada tipo de módulo fotovoltaico, que sigue las pautas de la IEC, aplicable para el modelo de silicio cristalino, en utilización para operación a largo plazo y exposición a la intemperie.

OBJETIVO

Determinar las características eléctricas y térmicas de los módulos y mostrar, en la medida de lo posible, dentro de las restricciones razonables de costo y tiempo, que el módulo es capaz de soportar exposición prolongada a la intemperie.

* División Energía No Convencional - Dpto. de Energía.

** División Habitabilidad Higrotérmica - Dpto. Construcciones.

La verdadera expectativa de tiempo de vida útil de los módulos, así calificados, dependerá de su diseño, el medio ambiente y las condiciones bajo las cuales serán operados.

PROPUESTA DE EVALUACION

Dentro del procedimiento de calificación se prevén ensayos de tipo eléctrico, mecánico y climático.

Para la organización de la serie de ensayos, los módulos se dividen en grupos, dentro de cada uno de los cuales se realizará una secuencia de ensayos llevados a cabo en el orden establecido por la propuesta. Para la implementación de esta calificación, se tomarán tres (3) módulos al azar de una producción normal de fabricación.

La secuencia de los ensayos se puede observar en la figura 1.

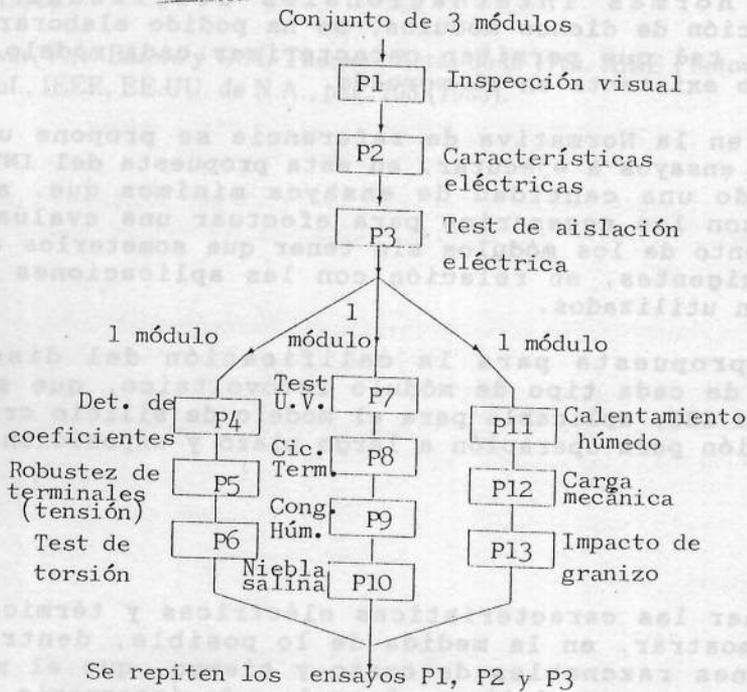


Figura 1

Cabe aclarar, que las pruebas que se realizan al final de cada ensayo sirven, cuando la secuencia lo indica, como mediciones iniciales para el próximo ensayo.

Además, cualquier modificación en el diseño, en los materiales, componentes o procesamiento de los módulos, puede requerir la repetición de algunos o todos los ensayos realizados para mantener la validez de la certificación.

CRITERIOS DE ACEPTACION

Un diseño de módulo será considerado como aceptable, si cada serie de ensayos cumple con los siguientes criterios:

1) La degradación de la potencia máxima de salida deberá ser inferior a un determinado porcentaje, que quedará definido luego de su discusión en el ámbito que corresponde (a nuestro criterio, dentro del subcomité de Energía Solar del IRAM).

2) Ninguna muestra podrá presentar fallas de conexionado eléctrico interno (circuito abierto) ó falta de conexión a masa, durante los ensayos.

3) No deberá presentar defectos mayores que se observen a simple vista, extendiéndose por tales a:

a) Rotura o grieta de la cubierta de vidrio.
del 10% del área de esa celda.

c) Burbujas o delaminación que forman un camino continuo entre cualquier parte del circuito eléctrico y el terminal del módulo.

d) No deberá tener pérdidas de integridad mecánica, de tal manera que en la instalación u operación del módulo, no debe observarse alabeo en el área de exposición.

4) El módulo deberá estar suficientemente aislado.

Si uno o más módulos no cumplen con estos criterios, se considerará que el diseño no reúne los requerimientos de calificación.

PROCEDIMIENTO DE ENSAYOS

P1: INSPECCION VISUAL

El objetivo es detectar cualquier defecto visual en el módulo.

El procedimiento consiste en inspeccionar cuidadosamente cada módulo, bajo una iluminación no inferior a 1000 lux, para poder detectar la existencia de algunas de las siguientes fallas:

- Rotura, rajadura o raspado en las superficies exteriores.
- Rotura de celdas.
- Rajadura de celdas.
- Interconexiones o uniones falladas.
- Celdas en contacto entre sí o con el marco.
- Fallas en el material adhesivo.
- Burbujas o delaminaciones que formen un camino continuo entre una celda y el terminal del módulo.
- Terminaciones deficientes.
- Cualquier otra condición que pueda afectar el funcionamiento.

En caso de que exista alguna rotura, fisura, burbujeo, etc. que pueda agravarse y afectar adversamente el funcionamiento del módulo, será conveniente entonces tomar nota y/o fotografiar la naturaleza y ubicación de la falla.

Se dará por aceptada esta prueba, si no se verifica ninguna de las fallas citadas en el punto 3 de los criterios de aceptación.

P2: FUNCIONAMIENTO EN CONDICIONES NORMALIZADAS

El objetivo es determinar como varía el funcionamiento eléctrico de un módulo, con carga, en condiciones normalizadas (temperatura de celda 25 ± 2 °C, radiación 1000 W/m^2), empleando iluminación natural o artificial mediante un simulador clase A.

El procedimiento consiste en determinar la curva característica corriente-voltaje en las condiciones indicadas.

Cuando sea necesario, se harán las correcciones que correspondan por temperatura y radiación.

P3: AISLACION ELECTRICA

El objetivo es verificar si el módulo está o no lo suficientemente aislado eléctricamente.

Para ello se determina la rigidez dieléctrica y se mide la resistencia de aislación.

El ensayo se realiza sobre módulos a temperatura ambiente y con una humedad relativa que no supere el 75%.

El procedimiento consiste en efectuar un cortocircuito entre los terminales y aplicar una diferencia de potencial de 2000 voltios, más el máximo voltaje del sistema, entre éstos y la parte metálica del marco, durante un minuto.

Luego se reduce el voltaje aplicado hasta llegar a 0 voltios.

Después se comienza a aumentar hasta un valor no inferior a 500 voltios y se determina la resistencia de aislación.

Los requerimientos de este ensayo son para verificar que no se produzcan descargas disruptivas y que la resistencia de la aislación no sea inferior a 50 M Ω .

P4: MEDICION DE COEFICIENTES DE TEMPERATURA

El objetivo es determinar los coeficientes de variación con la temperatura de corriente (α) y de voltaje (β) para mediciones de módulos. Dichos coeficientes así determinados son válidos a la radiación a la cual fueron hechas las mediciones, y para módulos lineales es también válido dentro de un rango de $\pm 30\%$ de ese nivel de radiación.

El procedimiento consiste en determinar la corriente de cortocircuito y la tensión de circuito abierto a distintas temperaturas (a intervalo de 2 °C aproximadamente), sobre un rango de alrededor de 20 °C.

Se grafican las curvas de tensión y de corriente en función de la temperatura, y se determinan por el método de cuadrados mínimos la función que mejor ajusta en cada caso. Se obtienen de las pendientes de las curvas, en el punto medio del rango de interés, los valores de los coeficientes α y β .

P5: ROBUSTEZ DE TERMINALES. TEST DE TENSION

El objetivo es determinar que tanto los terminales como su unión al cuerpo del módulo, sean capaces de soportar esfuerzos equivalentes a los que se apliquen durante las operaciones de montaje y de manipuleo.

El procedimiento consiste en aplicar una fuerza (que depende de la sección de los terminales), en la dirección de su eje y que actúe en un sentido saliente al módulo. Esta fuerza se aplica progresivamente y mantenida por un período de 10 segundos aproximadamente.

Los requerimientos de este ensayo son que no haya evidencia de daño mecánico y que la potencia máxima de salida no disminuya por debajo del límite de aceptación.

P6: TEST DE TORSION

El objetivo es detectar los daños que podrían ocasionársele al módulo si se lo montaría sobre una estructura defectuosa.

El procedimiento consiste en aplicarle un esfuerzo de torsión a una de las esquinas del módulo, manteniendo las tres restantes en el mismo plano.

Los requerimientos de este ensayo son que no se detecten cortocircuitos internos, ni fallas de tierra, que no haya evidencias de defectos visuales y que la potencia máxima de salida no haya disminuido por debajo del límite de aceptación.

P7: EXPOSICION ULTRAVIOLETA

El objetivo es determinar la aptitud del módulo para soportar la exposición a radiación ultravioleta.

El procedimiento consiste en exponer al módulo a una radiación U.V. total de 15 kWhm^{-2} , manteniendo la temperatura del mismo dentro del rango prescrito ($60 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$).

La radiación U.V. indicada corresponde a 325 horas de exposición a la radiación solar, según lo establece la IEC 904-3.

Los requerimientos de este ensayo son que no haya evidencias de defectos visuales, ni degradación de la potencia máxima de salida por debajo del límite de aceptación y que se mantenga el valor de la resistencia de aislación eléctrica.

P8: CICLADO TERMICO

El objetivo es determinar la aptitud de un módulo para soportar desajustes térmicos, fatigas y otros esfuerzos causados por reiterados cambios de temperatura.

El procedimiento consiste en colocar el módulo dentro de una cámara climática con control automático de temperatura, circulación interior de aire y medios para evitar la condensación durante el ensayo y someterlo a ciclos de temperatura, entre -30°C y 85°C , de acuerdo con el perfil de la figura 2.

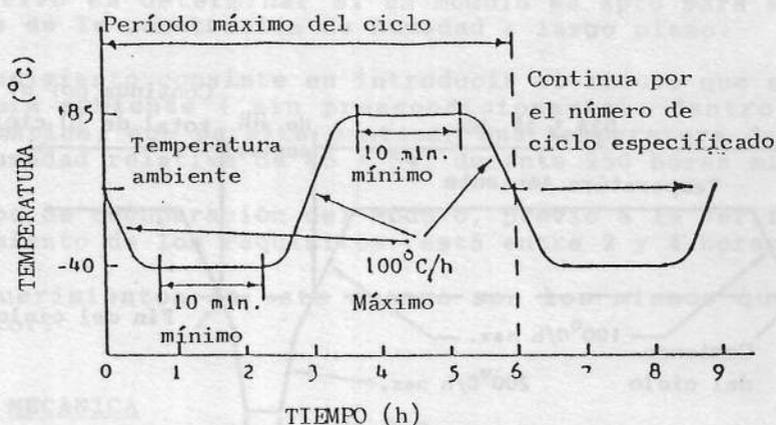


Figura 2

La cantidad de ciclos a que debe someterse el módulo, está sujeto a discusión dentro del ámbito correspondiente. Sin embargo, en la propuesta de referencia se indican valores comprendidos entre 50 y 200 ciclos.

Los requerimientos de este ensayo son: que no haya cortocircuito o falla de tierra, que no haya evidencia de defectos visuales, que la degradación de la potencia máxima de salida sea inferior al límite de aceptación y que se mantenga el valor de la resistencia de aislación eléctrica. La verificación de estos requisitos debe efectuarse luego de un tiempo de recuperación del módulo mínimo de 1 hora.

P9: CONGELAMIENTO HUMEDO

El objetivo es determinar si un módulo es apto para soportar los efectos de alta temperatura y humedad, seguidos por temperatura bajo cero. Este ensayo no debe considerarse un test de shock térmico.

El procedimiento consiste en colocar el módulo dentro de una cámara como la mencionada en el ítem anterior, y someterlo a diez ciclos comprendidos entre +85 °C y 85% de humedad relativa, y -30 °C sin control de la humedad (Ver figura 3).

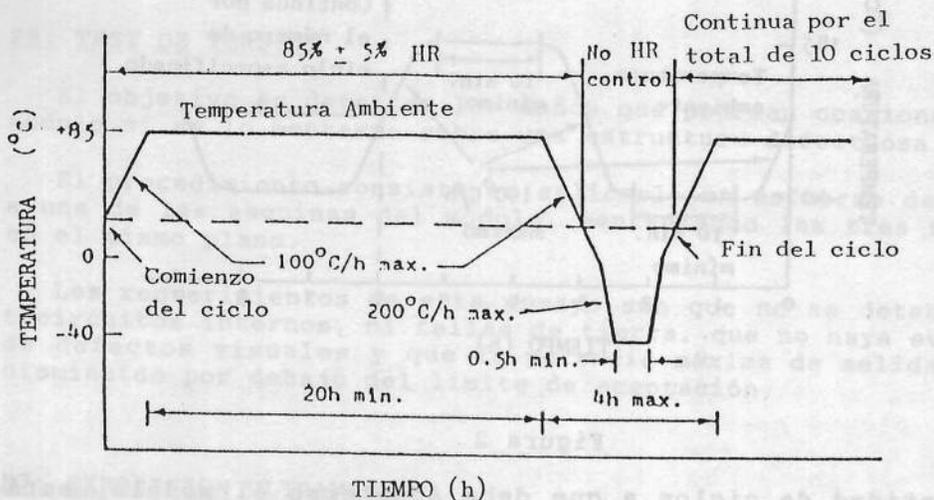


Figura 3

Los requerimientos de este ensayo son los mismos que los detallados en el test de ciclado térmico (P8).

La verificación de estos requisitos deben efectuarse luego de un tiempo de recuperación del módulo, entre 2 y 4 horas.

P10: EXPOSICION A NIEBLA SALINA

El objetivo es determinar si un módulo es apto para soportar la exposición a niebla salina.

El procedimiento consiste en colocar el módulo dentro de una cámara en la que se pulveriza sobre el frente, vapor de agua con una determinada concentración de sal en forma continua, durante un período no inferior a 96 horas.

Los requerimientos de este ensayo son los mismos que los dados en los puntos anteriores (P8 y P9).

P11: CALENTAMIENTO HUMEDO

El objetivo es determinar si un módulo es apto para soportar los efectos de la penetración de humedad a largo plazo.

El procedimiento consiste en introducir el módulo que se halla a temperatura ambiente (sin preacondicionarlo), dentro de una cámara climática, que permita mantener una temperatura de 85 ± 2 °C y una humedad relativa de $85 \pm 5\%$, durante 250 horas mínimo.

El tiempo de recuperación del módulo, previo a la verificación del cumplimiento de los requisitos, está entre 2 y 4 horas.

Los requerimientos de este ensayo son los mismos que en el caso anterior.

P12: CARGA MECANICA

El objetivo es determinar la aptitud de un módulo, ante la acción del viento, nieve y/o carga de hielo.

El procedimiento consiste en montar el módulo sobre una estructura rígida, según las especificaciones dadas por el fabricante. Ante la existencia de distintas posibilidades de montaje, se elegirá la más desfavorable, es decir, aquella en la cual la distancia entre puntos fijos es mayor.

Sobre la cara frontal se aplica una carga equivalente a 2.400 Pa distribuida uniformemente, durante una hora. Sin retirarlo de la estructura, se aplica sobre el módulo la misma carga sobre la cara posterior.

Estos procedimientos se repiten una vez más.

Cabe aclarar que, el valor propuesto de la carga aplicada (2400 Pa), equivale a una presión del viento de 130 km/h, con un factor de seguridad de 3, que tiene en cuenta el caso de vientos borrascosos.

Cuando la utilización del módulo implique que el mismo deba soportar acumulación pesada de nieve o hielo, la carga aplicada se aumenta a 5400 Pa, solamente sobre la cara frontal del módulo.

Los requerimientos de este ensayo son los mismos que en el punto anterior y además, que no presente fallas intermitentes de circuito abierto.

P13: IMPACTO DE GRANIZO

El objetivo es verificar que el módulo es capaz de soportar el impacto de piedras de granizo.

El procedimiento consiste en impulsar esferas de hielo, desde un cañón lanzador, a una velocidad determinada, para que impacten en dirección normal a la cara frontal del módulo (Ver Figura 4).

El tamaño de las esferas estará comprendido entre 12,5 y 60 mm, tomándose como valor nominal 25 mm de diámetro, lo cual determina su masa y la velocidad de impacto.

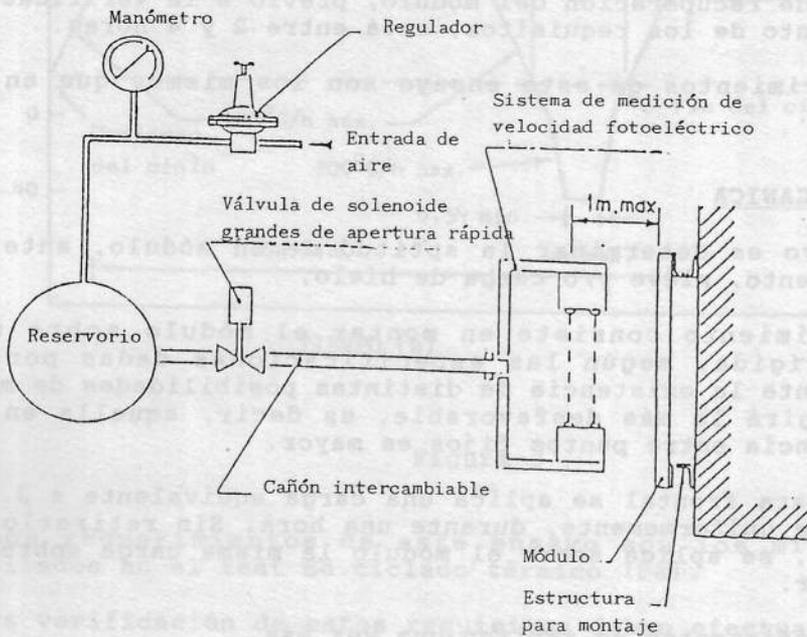


Figura 4

El procedimiento se repite sobre diferentes puntos de impacto del módulo, distribuidos en toda la superficie del mismo.

Los requerimientos de este ensayo son los mismos que los descritos en el punto P11.

CONCLUSIONES

En este trabajo se presenta una propuesta de evaluación de los módulos fotovoltaicos, desarrollada en el INTI, en base a la experiencia adquirida en los ensayos efectuados y los antecedentes extraídos de la norma de referencia.

Como se trata de una propuesta original, se considera que la misma se deberá discutir y analizar más exhaustivamente, dentro del ámbito natural (Subcomité de Energía Solar de IRAM), con la participación de todos los sectores involucrados, desde los usuarios hasta los empresarios del sector, con el objeto de conseguir un consenso generalizado antes de su aplicación.

Por último, se hace constar que la idea de esta propuesta, es la de considerar todos los aspectos inherentes al funcionamiento de un módulo fotovoltaico, resultando por lo tanto, una evaluación integral del comportamiento del mismo.

1. Generadores Fotovoltaicos

REFERENCIAS

- [1] International Electrotechnical Commission - Solar Photovoltaic Energy System. Proposal for design qualification and type approval of terrestrial photovoltaic modules.
- [2] Norme Internationale CEI 68-2-21 (1991) (International Standard IEC 68-2-21).



Fig. 1. Circuito equivalente de una celda fotovoltaica

Fig. 2.

Para el modelo de la Fig. 1 tenemos:

$$I_{sc}(1 - \frac{V}{V_{oc}}) = I - \frac{V}{R_s} - \frac{V}{R_L}$$

1.1 Modelo simplificado

Para que los valores típicos proporcionados de I_{sc} sean $I_{sc} = 0,01$ A, $V_{oc} = 0,5$ V y para la máxima generación de energía P_{max} a $V_{mp} = 0,4$ V, $I_{mp} = 0,01$ A, se puede obtener un equivalente por obtener un modelo simplificado (Fig. 3). Este modelo es simplificado ya que no muestra explícitamente la "dieta" de potencia del módulo con la ayuda de los valores característicos. Para obtener modelo simplificado:

$$I_{sc} = I_{sc} \left(1 - \frac{V}{V_{oc}} \right)$$

donde:

$$I = I_{sc} \left(1 - \frac{V}{V_{oc}} \right) - \frac{V}{R_s} - \frac{V}{R_L}$$