
NORMA CUBANA

NC

IEC 61215: 2012
(Publicada por la IEC en 2005)

**MÓDULOS FOTOVOLTAICOS (FV) DE SILICIO CRISTALINO
PARA USO TERRESTRE — CUALIFICACIÓN DEL DISEÑO Y
HOMOLOGACIÓN
(IEC 61215: 2005, IDT)**

Crystalline silicon terrestrial photovoltaic (PV) modules — Design qualification and type approval

ICS: 27.160

1. Edición Octubre 2012
REPRODUCCIÓN PROHIBIDA

Oficina Nacional de Normalización (NC) Calle E No. 261 El Vedado, La Habana. Cuba.
Teléfono: 830-0835 Fax: (537) 836-8048; Correo electrónico: nc@ncnorma.cu; Sitio
Web: www.nc.cubaindustria.cu



Cuban National Bureau of Standards

Prefacio

La Oficina Nacional de Normalización (NC) es el Organismo Nacional de Normalización de la República de Cuba y representa al país ante las organizaciones internacionales y regionales de normalización.

La elaboración de las Normas Cubanas y otros documentos normativos relacionados se realiza generalmente a través de los Comités Técnicos de Normalización. Su aprobación es competencia de la Oficina Nacional de Normalización y se basa en las evidencias del consenso.

Esta Norma Cubana:

- Ha sido elaborada por el Comité Técnico de Normalización NC/CTN 57 de Electrónica, la Dirección de Calidad de la Empresa de Componentes Electrónicos **Ernesto Ché Guevara** de Pinar del Río con la colaboración del CTN/50 de Telecomunicaciones y la Asesoría de la ONN (Oficina Nacional de Normalización), así como representantes de las siguientes entidades.

- Instituto Cubano de Radio y Televisión (ICRT)
- Ministerio de Educación Superior, Instituto Superior Politécnico (José A. Echevarría, ISPJAE).
- Ministerio de las Informática y las Comunicaciones (MIC).
- Empresa de Radiocomunicaciones de Cuba (RADIOCUBA).
- Empresa de Teléfono Celulares de Cuba (CUBACEL).
- Empresa de Telecomunicaciones de Cuba (ETECSA).
- Empresa de Telecomunicaciones Móviles (MOVITEL)
- Ministerio de las Fuerzas Armadas Revolucionarias (MINFAR).
- Ministerio del Interior (MININT).

- Es una adopción idéntica de la Norma Internacional IEC 61215: 2005 *Crystalline silicon terrestrial photovoltaic (PV) modules — Design qualification and type approval*. (Ver Introducción).

© NC, 2012

Todos los derechos reservados. A menos que se especifique, ninguna parte de esta publicación podrá ser reproducida o utilizada en alguna forma o por medios electrónicos o mecánicos, incluyendo las fotocopias, fotografías y microfilmes, sin el permiso escrito previo de:

Oficina Nacional de Normalización (NC)

Calle E No. 261, El Vedado, La Habana, Habana 4, Cuba.

Impreso en Cuba.

Índice

PREFACIO	2
0 Introducción.....	5
1 Objeto y campo de aplicación	6
2 Normas para consulta	6
3 Toma de muestras	7
4 Marcado.....	7
5 Ensayos.....	7
6 Criterios de aceptación	8
7 Defectos visuales importantes.....	8
8 Informe	9
9 Modificaciones	12
10 Procedimientos de ensayo	12
10.1 Inspección visual.....	12
10.2 Determinación de la potencia máxima.....	13
10.3 Ensayo de aislamiento.....	14
10.4 Medición de los coeficientes de temperatura	15
10.5 Medición de la temperatura de operación nominal de la celda (TONC).....	17
10.6 Comportamiento en CEM y TONC	26
10.7 Funcionamiento a baja irradiancia	27
10.8 Ensayo de exposición en exterior	28
10.9 Ensayo de resistencia a la formación de puntos calientes	29
10.10 Ensayo de preconditionamiento con UV	36
10.11 Ensayos de ciclos térmicos	37
10.12 Ensayo de humedad-congelación	39

10.13	Ensayo de calor húmedo	41
10.14	Ensayo de robustez de los terminales	41
10.15	Ensayo de corriente de fugas del módulo mojado	43
10.16	Ensayo de carga mecánica.....	44
10.17	Ensayo de granizo	45
10.18	Ensayo térmico de diodos de derivación	48
ANEXO A (INFORMATIVO).....		51
ANEXO ZA (NORMATIVO)		53
Figura 1	Secuencia de ensayos de cualificación.....	11
Figura 2	Factor de corrección de la TONC.....	25
Figura 3	Placa de referencia.....	26
Figura 4	Medida de la TONC por el método de la placa de referencia.....	26
Figura 5	Factor de corrección del viento.....	27
Figura 6	Efecto de punto caliente en una celda tipo A.....	31
Figura 7	Características inversas.....	32
Figura 8	Efecto de punto caliente en una celda tipo B.....	32
Figura 9	Caso SP: Conexión serie-paralelo.....	34
Figura 10	Caso SPS: Conexión serie-paralelo-serie.....	34
Figura 11	Ensayo de ciclos térmicos.....	39
Figura 12	Ciclo de humedad-congelación.....	41
Figura 13	Equipo para el ensayo de granizo.....	47
Figura 14	Localización de los puntos de impacto.....	49
Tabla 1	Resumen de los niveles de ensayo.....	12
Tabla 2	Masas de las bolas de hielo y velocidades de ensayo.....	47
Tabla 3	Localización de los impactos.....	48

0 Introducción

Esta norma ha sido elaborada a partir de la norma UNE-EN 61215 del 2006 que es una traducción al español de la norma IEC 61215:2005, la cual adopta como norma oficial.

La Norma Internacional IEC 61215 ha sido elaborada por el comité técnico 82 de IEC: Sistemas de conversión fotovoltaica de la energía solar.

Esta segunda edición anula y sustituye a la primera edición publicada en 1993 y constituye una revisión técnica.

Los principales cambios respecto a la edición anterior (publicada en 1993) se detallan en el Anexo A.

La conformidad con la presente norma no excluye la observancia de las obligaciones jurídicas establecidas en el país.

MÓDULOS FOTOVOLTAICOS (FV) DE SILICIO CRISTALINO PARA USO TERRESTRE — CUALIFICACIÓN DEL DISEÑO Y HOMOLOGACIÓN

1 Objeto y campo de aplicación

Esta norma internacional establece los requisitos de IEC para la cualificación del diseño y la homologación de módulos fotovoltaicos para uso terrestre adecuados para operación de larga duración en ambientes exteriores, como se define en la Norma IEC 60721-2-1. Es aplicable sólo a módulos de silicio cristalino. La Norma IEC 61646 es la correspondiente para módulos de lámina delgada

Esta norma no es aplicable a módulos usados con luz solar concentrada.

El objeto de esta secuencia de ensayos es determinar las características eléctricas y térmicas del módulo y mostrar, dentro de lo posible, con las limitaciones razonables de coste y tiempo, que el módulo es capaz de soportar exposiciones prolongadas en los climas descritos en el objeto y campo de aplicación. El tiempo de vida real esperado de los módulos así cualificados dependerá de su diseño y de las condiciones ambientales y de trabajo en las que estén operando.

2 Normas para consulta

Las normas que a continuación se indican son indispensables para la aplicación de esta norma. Para las referencias con fecha, sólo se aplica la edición citada. Para las referencias sin fecha se aplica la última edición de la norma (incluyendo cualquier modificación de ésta).

IEC 60068-1:1988 Ensayos ambientales. Parte 1: Generalidades y guía.

IEC 60068-2-21:1999 Ensayos ambientales. Parte 2-21: Ensayos. Ensayo U: Robustez de los terminales y de los dispositivos de fijación.

IEC 60068-2-78:2001 Ensayos ambientales. Parte 2-78: Ensayos. Ensayo Cab: Calor húmedo, ensayo continuo.

IEC 60410:1973 Planes de muestreo y procedimientos para la inspección por atributos.

IEC 60721-2-1:1982 Clasificación de las condiciones ambientales. Parte 2: Condiciones ambientales presentes en la naturaleza. Temperatura y humedad.

IEC 60891:1987 Procedimiento de corrección con la temperatura y la irradiancia de la característica I-V de dispositivos fotovoltaicos de silicio cristalino. Modificación 1 (1992)

IEC 60904-1:1987 Dispositivos fotovoltaicos. Parte 1: Medida de la característica intensidad de la corriente-voltaje de los módulos fotovoltaicos.

IEC 60904-2:1989 Dispositivos fotovoltaicos. Parte 2: Requisitos de celdas solares de referencia.

IEC 60904-3:1989 Dispositivos fotovoltaicos. Parte 3: Fundamentos de medida de dispositivos solares fotovoltaicos (FV) de uso terrestre con datos de irradiancia espectral de referencia.

IEC 60904-6:1994 Dispositivos fotovoltaicos. Parte 6: Requisitos para los módulos solares de referencia.

IEC 60904-7:1998 Dispositivos fotovoltaicos. Parte 7: Cálculo del error introducido por desacoplo espectral en las medidas de un dispositivo fotovoltaico.

IEC 60904-9:1995 Dispositivos fotovoltaicos. Parte 9: Requisitos de funcionamiento para los simuladores solares.

IEC 60904-10:1998 Dispositivos fotovoltaicos. Parte 10: Métodos de medida de la linealidad.

IEC 61853: - Evaluación de la potencia y la energía de los módulos fotovoltaicos.

ISO/IEC 17025:1999 Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración.

3 Toma de muestras

Para los ensayos de cualificación deben tomarse al azar ocho módulos (mas el número de recambios que se deseen) de uno o más lotes de producción, de acuerdo con el procedimiento indicado en la Norma IEC 60410. Los módulos deben haber sido fabricados con los materiales y componentes especificados en los planos y procesos de las hojas técnicas y estar sujetos a la inspección normal del fabricante, el control de calidad y los procedimientos de aceptación de la producción. Los módulos deben estar completos en cada uno de sus detalles y se deben acompañar de las instrucciones de manejo, montaje y conexión suministradas por el fabricante, incluyendo el máximo voltaje permitido del sistema.

Si los diodos de derivación no están accesibles en los módulos estándar, puede prepararse un módulo especial para el ensayo térmico del diodo de derivación (10.18). El diodo de derivación debería montarse físicamente como estaría en un módulo estándar, con un sensor térmico situado sobre el diodo, como se requiere en el apartado 10.18.2. Esta muestra no tiene que pasar los otros ensayos de la secuencia indicada en la figura 1.

Cuando los módulos a ensayar son prototipos de un nuevo diseño y no provienen de la línea de producción, debe hacerse constar este hecho en el informe de ensayos (véase la cláusula 8).

4 Marcado

Cada módulo debe llevar marcada de forma clara e indeleble la siguiente información:

- nombre, anagrama o símbolo del fabricante;
- tipo o nombre de modelo;
- número de serie;
- polaridad de los terminales o contactos (se permite un código de colores);
- voltaje máxima del sistema para la que el módulo es adecuado.

La fecha y lugar de fabricación, que deben estar marcados sobre el módulo o bien ser trazables a partir del número de serie.

5 Ensayos

Antes de empezar los ensayos, todos los módulos, incluido el de control, deben exponerse a la luz solar (real o simulada) a un nivel de irradiación de entre 5 Kwh. m⁻² y 5,5 Kwh. m⁻², permaneciendo en circuito abierto.

Los módulos deben dividirse en grupos y someterse a las secuencias de ensayos de cualificación de la figura 1, llevados a cabo en el orden establecido. Cada casilla se refiere al apartado correspondiente de esta norma. Los procedimientos de ensayo y los niveles de exigencia, incluyendo mediciones iniciales y finales en caso de ser necesarias, se detallan en la cláusula 10.

NOTA 1 Si las mediciones finales de un ensayo sirven como mediciones iniciales del ensayo siguiente de la secuencia, no es necesario repetirlas. En estos casos las mediciones iniciales se omiten del ensayo.

Durante la realización de los ensayos, el técnico que los realice debe seguir estrictamente las instrucciones de manipulación, montaje y conexión indicadas por el fabricante. Los ensayos descritos en los apartados 10.4, 10.5, 10.6 y 10.7 pueden omitirse si la futura Norma IEC 61853 hubiera sido ejecutada o estuviese previsto que se ejecutara en este tipo de módulo.

Las condiciones de ensayo se resumen en la tabla 1.

NOTA 2 Los ensayos de la tabla 1 determinan los niveles mínimos exigidos para la cualificación. Si el laboratorio y el fabricante del módulo lo acuerdan, los ensayos pueden realizarse con niveles de exigencia más altos.

6 Criterios de aceptación

El diseño de un módulo debe considerarse que ha pasado los ensayos de cualificación, y por tanto la homologación IEC, si cada una de las muestras de ensayo cumple los siguientes criterios:

- a) la degradación de la potencia máxima de salida después de cada ensayo no supera el límite establecido, ni el 8% después de cada secuencia;
- b) ninguna muestra ha presentado circuito abierto alguno durante los ensayos;
- c) no hay evidencia visual de defectos importantes, según se definen en la cláusula 7;
- d) se cumplen los requisitos del ensayo de aislamiento, después de los ensayos;
- e) se cumplen los requisitos del ensayo de corriente de fugas del módulo mojado al principio y fin de cada secuencia y después del ensayo de calor húmedo;
- f) se cumplen los requisitos de los ensayos individuales.

Si dos o más módulos no cumplen estos criterios de ensayo, debe considerarse que el diseño no responde a los requisitos de la cualificación. Si un módulo falla en cualquier ensayo, otros dos módulos que cumplan los requisitos de la cláusula 3 deben someterse a la totalidad de la secuencia de ensayos correspondiente, desde el principio. Si uno o ambos de estos módulos fallan también, se considera que el diseño no responde a los requisitos de cualificación. Si, por el contrario, ambos módulos pasan la secuencia de ensayos, debe considerarse que el diseño satisface los requisitos de cualificación.

7 Defectos visuales importantes

Para los fines de la cualificación del diseño y la homologación se consideran defectos visuales importantes los siguientes:

- a) superficies externas rotas, agrietadas o rasgadas, incluyendo la cara frontal y la posterior, marcos y cajas de conexiones;
- b) superficies externas dobladas o desalmadas, incluyendo la cara frontal y posterior, marcos y cajas de conexiones cuyo estado implicará el deterioro de la instalación y/o del funcionamiento del módulo;
- c) una grieta en una celda cuya continuación podría aislar del circuito eléctrico del módulo más del 10% del área de dicha celda;

- d) burbujas o exfoliaciones que creen un camino continuo entre cualquier parte del circuito eléctrico y el borde del módulo;
- e) pérdida de la integridad mecánica que implicara el deterioro de la instalación y/o del funcionamiento del módulo.

8 Informe

Seguidamente a la homologación, el organismo de ensayos debe preparar un informe certificado de los ensayos de cualificación, con las características de comportamiento medidas y los detalles de cualquier fallo y repetición de ensayo producidos, de acuerdo con la Norma ISO/IEC 17025. El informe debe contener la especificación detallada para el módulo. Cada certificado o informe de ensayo debe incluir al menos la siguiente información:

- a) título;
- b) nombre y dirección del laboratorio de ensayo y lugar donde se han llevado a cabo los ensayos;
- c) identificación única de la certificación o el informe y de cada página;
- d) nombre y dirección del cliente, donde proceda;
- e) descripción e identificación de la unidad sometida a los ensayos;
- f) caracterización y condición de la unidad de ensayo;
- g) fecha de recepción de la unidad de ensayo y fecha(s) del ensayo, donde proceda;
- h) identificación de método de ensayo usado;
- l) referencia al procedimiento de elección de muestras, donde proceda;
- j) cualquier desviación, añadido o exclusión producidos en el método de ensayo, y cualquier otra información relevante de un ensayo específico, tales como las condiciones medioambientales;
- k) mediciones, exámenes y resultados obtenidos apoyados por tablas, gráficos, esquemas y fotografías según convenga, incluyendo los coeficientes de temperatura de la intensidad de la corriente de cortocircuito, del voltaje de circuito abierto y de la potencia pico, la temperatura de operación nominal de la celda (TONC), la potencia a la TONC, a las condiciones estándar de medida (CEM*) y a baja irradiancia, el espectro de la lámpara utilizada para el ensayo de preacondicionamiento con UV, la máxima pérdida de potencia observada después de todos los ensayos y cualquier fallo observado;
- l) una indicación de la incertidumbre estimada de los resultados del ensayo (donde sea pertinente);
- m) firma y titulación o identificación equivalente de la(s) persona(s) que acepta(n) la responsabilidad del contenido del certificado o informe, y fecha de edición;
- n) donde sea pertinente, indicación de que los resultados sólo se refieren a las unidades ensayadas;
- o) una advertencia de que el certificado o el informe no debe reproducirse excepto de forma total, sin el consentimiento escrito del laboratorio.

El fabricante debe guardar una copia de este informe, como referencia

NOTA NACIONAL - Debido a su amplia utilización en la bibliografía fotovoltaica, y únicamente para el propósito de esta norma se adoptan las siglas CEM con el significado de condiciones estándar de medida. Las siglas CEM, se vienen usando en el conjunto de las normas UNE con el significado de compatibilidad electromagnética.

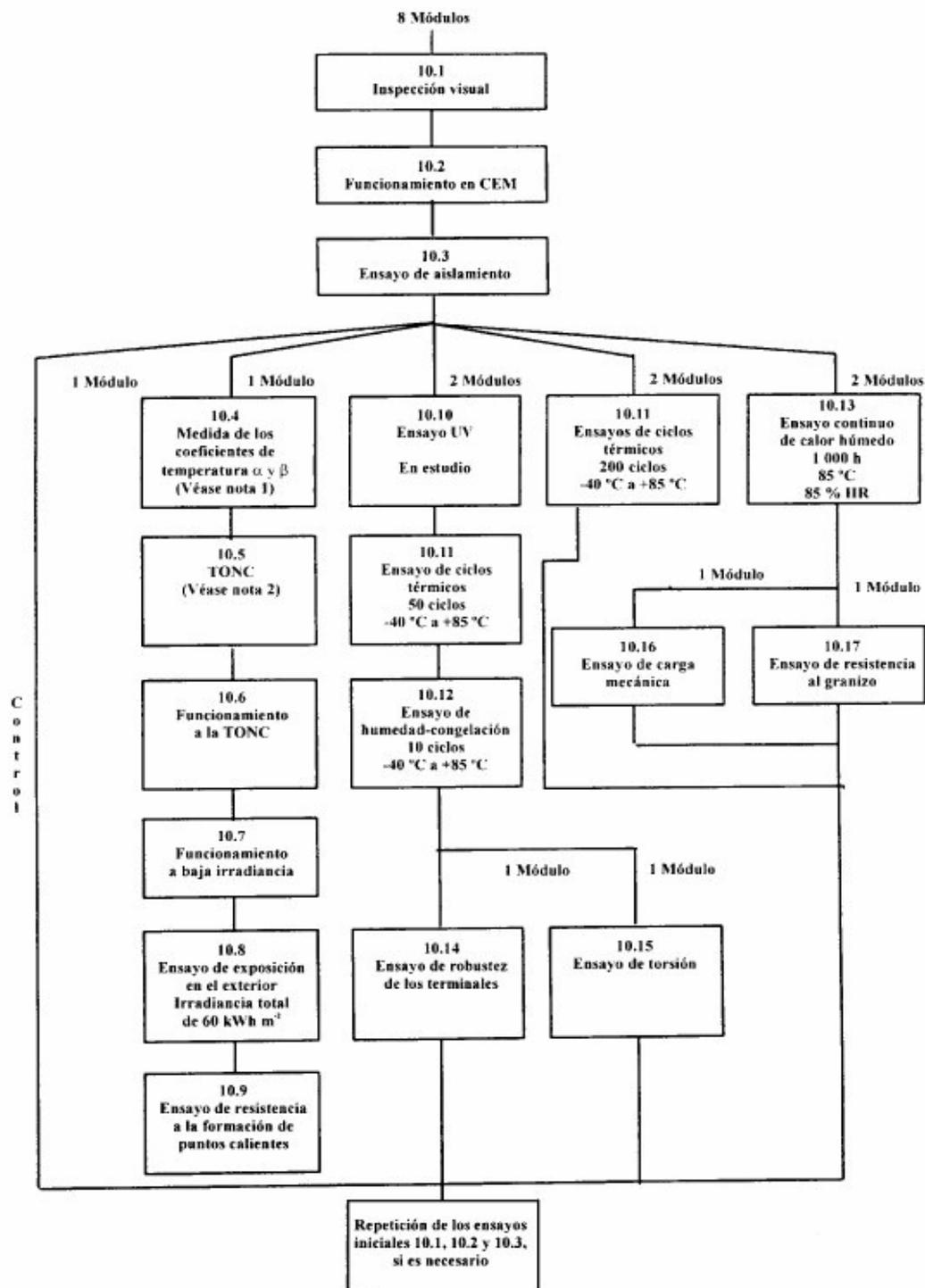


Fig. 1 — Secuencia de ensayos de cualificación

NOTAS

- 1 Puede omitirse si se ha ejecutado la Norma IEC 61853
- 2 En el caso de módulos no diseñados para montarse en estructuras de soporte abiertas, la TONC puede sustituirse por la temperatura media de equilibrio de la unión de la celda solar en las condiciones de referencia normalizadas.

Tabla 1 — Resumen de los niveles de ensayo

Ensayo	Título	Condiciones de ensayo
10.1	Inspección visual	Véase la lista detallada de inspección en el apartado 10.1.2
10.2	Determinación de la potencia máxima	Véase la Norma IEC 60904-1
10.3	Ensayo de aislamiento	Resistencia dieléctrica a 1000 V dc + dos veces el voltaje máximo del sistema durante 1 min. Para módulos con un área inferior a 0,1 m ² , la resistencia de aislamiento no debe ser inferior a 400 MΩ. Para módulos con un área superior a 0,1 m ² , el producto de la resistencia de aislamiento medida por el área del módulo no debe ser inferior a 40 MΩ.m ² La medición se realiza a 500 V o al voltaje máximo del sistema, si éste es mayor
10.4	Medición de los coeficientes de temperatura (véase la nota 1)	Véanse los detalles en el apartado 10.4 Véase la Norma IEC 60904-10 como guía
10.5	Medición de la TONC (véase la nota 1)	Irradiancia solar total: 800 W.m ⁻² Temperatura ambiente: 20 °C Velocidad del viento: 1 m.s ⁻¹
10.6	Comportamiento en CEM y TONC (véase la nota 1)	Temperatura de la celda: 25 °C y TONC Irradiancia: 1 000 W.m ⁻² y 800 W.m ⁻² y la distribución espectral de referencia de la irradiancia solar según la Norma IEC 60904-3
10.7	Comportamiento a baja irradiancia (véase la nota 1)	Temperatura de la celda: 25 °C Irradiancia: 200 W.m ⁻² y la distribución espectral de referencia de la Irradiancia solar según la Norma IEC 60904-3.
10.8	Ensayo de exposición en exterior	Irradiación solar total de 60 Kwh.m ⁻²
10.9	Ensayo de resistencia a la formación de puntos calientes	Exposición durante 5 h a una irradiancia de 1 000 W.m ⁻² en la peor condición de punto caliente para el módulo
10.10	Preacondicionamiento con UV	Irradiación total UV de 15 Kwh.m ⁻² en el intervalo de longitudes de onda de 280 nm a 385 nm, siendo la irradiación UV en la franja de 280 nm a 320 nm de 5 Kwh.m ⁻²
10.11	Ensayo de ciclos térmicos	50 y 200 ciclos de -40 °C a +85 °C, con una intensidad de la corriente de corriente del módulo igual a la del punto de máxima potencia en CEM, durante el ensayo de 200 ciclos
10.12	Ensayo de humedad-congelación	10 ciclos de +85 °C, 85% HR hasta -40 °C
10.13	Ensayo de calor húmedo	1 000 h a +85 °C, 85% HR
10.14	Ensayo de robustez de los terminales	Según la Norma IEC 60068-2-21

10.15	Ensayo de corriente de fugas del módulo mojado	Véanse los detalles en el apartado 10.15 Para módulos con un área inferior a $0,1 \text{ m}^2$, la resistencia de aislamiento no debe ser inferior a $400 \text{ M}\Omega$. Para módulos con superficie mayor que $0,1 \text{ m}^2$, el producto de la resistencia de aislamiento, medida a 500 V o al voltaje máximo del sistema, si éste es mayor, por el área del módulo no debe ser inferior a $40 \text{ M}\Omega.\text{m}^2$
10.16	Ensayo de carga mecánica	Tres ciclos de $2\ 400 \text{ Pa}$ de carga uniforme, aplicada durante 1 h sobre las superficies frontal y posterior, secuencialmente Carga de nieve opcional de $5\ 400 \text{ Pa}$ durante el último ciclo sobre la cara frontal
10.17	Ensayo de granizo	Bola de hielo de 25 mm de diámetro a 23 m.s^{-1} dirigida contra 11 puntos de impacto
10.18	Ensayo térmico de diodos de derivación	Una hora a I_{sc} y 75°C Una hora a $1,25$ veces I_{sc} y 75°C

NOTA 1 Estos ensayos pueden omitirse si la futura la Norma IEC 61853 se ha ejecutado en este tipo de módulo.

9 Modificaciones

Cualquier cambio en el diseño, los materiales, los componentes o en la fabricación del módulo puede requerir la repetición de parte o la totalidad de los ensayos de cualificación para poder mantener la homologación.

10 Procedimientos de ensayo

10.1 Inspección visual

10.1.1 Objeto

Detectar cualquier defecto visual en el módulo.

10.1.2 Procedimiento

Se inspecciona cuidadosamente cada módulo bajo una iluminación no inferior a $1\ 000 \text{ lux}$ en los aspectos siguientes:

- superficies externas rotas, dobladas, desalmadas o rasgadas;
- celdas rotas;
- celdas agrietadas;
- interconexiones o uniones defectuosas;
- celdas haciendo contacto con otras o con el marco;
- defectos de adhesión;
- burbujas o exfoliaciones formando un camino continuo entre una celda y el borde del módulo;

- superficies pegajosas en los materiales plásticos;
- terminales defectuosos, partes eléctricas activas expuestas;
- cualquier otra condición que pueda afectar al comportamiento del módulo.

Tómese nota y/o fotografíese la naturaleza y situación de cualquier grieta, burbuja o exfoliación, etc. que pudieran agravarse y afectar adversamente al comportamiento del módulo en los ensayos siguientes.

10.1.3 Requisitos

Las condiciones de aspecto que no sean los defectos visuales listados en la cláusula 7 son aceptables desde el punto de vista de la homologación.

10.2 Determinación de la potencia máxima

10.2.1 Objeto

Determinar la potencia máxima del módulo antes y después de diferentes ensayos ambientales. El factor más importante es la repetitividad del ensayo.

10.2.2 Aparatos

- a) Fuente de radiación (luz solar o simulador solar de clase B o mejor, conforme a la Norma IEC 60904-9).
- b) Dispositivo FV de referencia conforme a la Norma IEC 60904-2 o la Norma IEC 60904-6. Si se utiliza un simulador de clase B, el dispositivo de referencia debe ser un módulo de referencia del mismo tamaño y con la misma tecnología de celdas (para que tenga la misma respuesta espectral) que la muestra a ensayar.
- c) Estructura de soporte adecuada para mantener la muestra de ensayo y el dispositivo de referencia en un plano normal a la radiación incidente.
- d) Un medio para hacer un seguimiento de la temperatura de la muestra de ensayo y del dispositivo de referencia con una precisión de ± 1 °C y una repetitividad de $\pm 0,5$ °C.
- e) Equipo de medición de la intensidad de la corriente de la muestra de ensayo y del dispositivo de referencia con una precisión de la lectura de $\pm 0,2$ %.
- f) Equipo de medición del voltaje de la muestra de ensayo y del dispositivo de referencia con una precisión de la lectura de $\pm 0,2$ %.

10.2.3 Procedimiento

Se determina la curva característica intensidad de la corriente-voltaje del módulo conforme a la Norma IEC 60904-1 en un conjunto de condiciones específicas de irradiancia y temperatura (un intervalo recomendado es temperatura de la celda entre 25 °C y 50 °C e irradiancia entre 700 W.m⁻² y 1 100 W.m⁻²), utilizando luz natural o un simulador de clase B o mejor, conforme a los requisitos de la Norma IEC 60904-9. En circunstancias especiales, en las que los módulos estén diseñados para trabajar en un intervalo de condiciones diferentes, las características intensidad de la corriente - voltaje pueden medirse usando los niveles de temperatura e irradiancia similares a las condiciones de operación esperadas. Las correcciones de temperatura e irradiancia pueden hacerse según la Norma IEC 60891, con el fin de comparar los conjuntos de mediciones

realizados en el mismo módulo antes y después de los ensayos ambientales. Sin embargo, debe realizarse un esfuerzo por asegurar que las mediciones de la potencia pico se llevan a cabo bajo las mismas condiciones de trabajo, lo que significa minimizar la magnitud de la corrección, realizando todas las mediciones de potencia pico de un módulo concreto a aproximadamente la misma temperatura e irradiancia. La repetibilidad de la medición de la potencia máxima debe ser superior a $\pm 1\%$.

NOTA Utilícese el módulo de control como una comprobación cada vez que se miden los módulos a ensayar.

10.3 Ensayo de aislamiento

10.3.1 Objeto

El objeto es determinar si el módulo está o no suficientemente bien aislado entre las partes conductoras de corriente y el marco o el mundo exterior.

10.3.2 Aparatos

- a) Fuente de voltaje a corriente continua (c.c.) con limitación de intensidad de la corriente capaz de aplicar 500 V o 1 000 V más dos veces el voltaje máximo del sistema del módulo según el punto c) del apartado 10.3.4.
- b) Un instrumento para medir la resistencia de aislamiento.

10.3.3 Condiciones de ensayo

Los ensayos deben realizarse en módulos a la temperatura ambiente de la atmosfera envolvente (véase la Norma IEC 60068-1) y a una humedad relativa que no supere el 75%.

10.3.4 Procedimiento

- a) Se cortocircuitan los terminales de salida del módulo y se conectan al terminal positivo de un aparato medidor del aislamiento en corriente continua con limitación de intensidad de la corriente.
- b) Se conectan las partes metálicas expuestas del módulo al terminal negativo del aparato de ensayo. Si el módulo no tiene marco o si el marco es mal conductor eléctrico, se envuelve una lámina conductora alrededor de los bordes y sobre la cara posterior del módulo y se conecta la lámina al terminal negativo del aparato de ensayo.
- c) Se aumenta el voltaje aplicado por el aparato de ensayo, a un ritmo que no exceda $500 \text{ V}\cdot\text{s}^{-1}$, hasta un valor de 1 000 V más dos veces el voltaje máximo del sistema (es decir, el voltaje máximo del sistema marcado sobre el módulo por el fabricante). Si el voltaje máximo del sistema no excede de 50 V, el voltaje aplicado debe ser 500 V. Manténgase el voltaje en este valor durante 1 min.
- d) Se reduce el voltaje aplicado hasta cero y se cortocircuitan los terminales del equipo de ensayo para descargar el voltaje creado en el módulo.
- e) Se quita el cortocircuito.
- f) Se aumenta el voltaje proporcionado por el equipo de ensayo a un ritmo que no exceda $500 \text{ V}\cdot\text{s}^{-1}$ hasta 500 V o hasta el voltaje máximo del sistema para el módulo, si éste fuera mayor que ese valor. Se mantiene este voltaje durante 2 min. A continuación se mide la resistencia de aislamiento.

- g) Se reduce el voltaje aplicado a cero y se cortocircuitan los terminales del equipo de ensayo para descargar el voltaje creado en el módulo.
- h) Se quita el cortocircuito y se desconecta el equipo de ensayo del módulo.

NOTA Si el módulo no tiene marco metálico ni cubierta de vidrio, el ensayo de aislamiento debería repetirse con la placa metálica situada sobre la cara frontal del módulo, como en el punto b) del apartado 10.3.4 b).

10.3.5 Requisitos del ensayo

Son necesarios los siguientes requisitos:

- ninguna ruptura dieléctrica o agrietamiento superficial durante el paso c);
- para módulos con un área menor que $0,1 \text{ m}^2$ la resistencia de aislamiento no debe ser inferior a $400 \text{ M}\Omega$;
- para módulos con un área mayor que $0,1 \text{ m}^2$ el producto de la resistencia de aislamiento medida por el área del módulo no debe ser inferior a $40 \text{ M}\Omega.\text{m}^2$

10.4 Medición de los coeficientes de temperatura

10.4.1 Objeto

El objeto de este ensayo es determinar los coeficientes de temperatura de la intensidad de la corriente (α), el voltaje (β) y la potencia pico (δ) a partir de mediciones realizadas sobre el módulo. Los coeficientes así determinados son válidos para la irradiancia a la que se realizaron las mediciones. Véase la Norma IEC 60904-10 para la evaluación de los coeficientes de temperatura del módulo a distintos niveles de irradiación.

10.4.2 Aparatos

Se requieren los siguientes aparatos para controlar y medir las condiciones de ensayo:

- a) fuente de radiación (luz natural o simulador solar de clase B o mejor, conforme a la Norma IEC 60904-9) del tipo a utilizar en los siguientes ensayos;
- b) dispositivo FV de referencia cuyos valores de intensidad de la corriente de cortocircuito en función de la irradiancia hayan sido calibrados frente a un radiómetro absoluto según la Norma IEC 60904-2 o la Norma IEC 60904-6;
- c) algún equipo necesario para cambiar la temperatura de la muestra de ensayo en el intervalo de interés;
- d) estructura de soporte adecuada para fijar la muestra de ensayo y el dispositivo de referencia en el mismo plano normal al rayo incidente;
- e) un medio de hacer un seguimiento de la temperatura de la muestra de ensayo y del dispositivo de referencia con una precisión de $\pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$ y una repetitividad de $\pm 0,5 \text{ }^\circ\text{C}$;
- f) equipo de medición de las intensidades de corriente de la muestra de ensayo y del dispositivo de referencia con una precisión del $\pm 0,2 \%$ de la lectura;
- g) equipo de medición del voltaje de la muestra de ensayo y del dispositivo de referencia con una precisión del $\pm 0,2 \%$ de la lectura.

10.4.3 Procedimiento

Hay dos procedimientos aceptados para medir los coeficientes de temperatura.

10.4.3.1 Procedimiento con luz natural

a) Las mediciones con luz natural solo deben realizarse cuando:

- la irradiancia total es al menos tan alta como el límite superior del intervalo de interés;
- la variación de irradiancia provocada por pequeñas oscilaciones (nubes, bruma o humo) es inferior al $\pm 2\%$ de la irradiancia total medida por el dispositivo de referencia;
- la velocidad del viento es inferior a $2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

b) Se monta el dispositivo de referencia en el mismo plano que el módulo de ensayo, de forma que ambos estén perpendiculares a la radiación directa incidente $\pm 5^\circ$ y se conectan a la instrumentación necesaria.

NOTA Las mediciones descritas en los siguientes apartados deberían realizarse lo más rápidamente posible, durante pocas horas y en el mismo día para minimizar los cambios en las condiciones espectrales. De otro modo pueden ser necesarias correcciones espectrales.

c) Si el módulo de ensayo y el dispositivo de referencia están equipados con controladores de temperatura, se ajustan los controles al valor deseado.

d) Si no se utilizan controladores de temperatura, se sombrean el módulo de ensayo y el dispositivo de referencia y se protegen del viento hasta que sus temperaturas sean constantes con un valor comprendido en $\pm 1^\circ\text{C}$ la temperatura ambiente, o se deja que el módulo de ensayo se establezca a su temperatura de equilibrio, o se enfría el módulo de ensayo hasta una temperatura por debajo de la temperatura de ensayo requerida y se deja que el módulo se caliente de forma natural. El dispositivo de referencia debería estabilizarse también a su temperatura de equilibrio $\pm 1^\circ\text{C}$ antes de proceder a la medición.

e) Se registran la característica intensidad de la corriente-voltaje y la temperatura del módulo de ensayo simultáneamente a la intensidad de la corriente de cortocircuito y la temperatura del dispositivo de referencia, a los valores deseados de temperatura. Si es necesario, se realizan las mediciones inmediatamente después de suprimir la sombra.

f) La irradiancia G_0 debe calcularse conforme a la Norma IEC 60891, a partir de la intensidad de la corriente medida (I_{sc}) del dispositivo FV de referencia y su valor de calibración en CEM (I_{rc}). Debería corregirse el efecto de la temperatura del dispositivo de referencia, T_m , utilizando el coeficiente de temperatura especificado en dicho dispositivo α_{rc}

$$G_0 = \frac{100 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2} \times I_{sc}}{I_{rc}} \times [1 - \alpha_{rc}(T_m - 25^\circ\text{C})]$$

donde α_{rc} es el coeficiente de temperatura relativo [$1/^\circ\text{C}$] a 25°C y $1000 \text{ W}/\text{m}^2$.

g) Se ajusta la temperatura por medio de un controlador o, alternativamente, exponiendo y sombreando el módulo de ensayo, según convenga para alcanzar y mantener la temperatura deseada. Alternativamente, puede estar permitido dejar calentar de forma natural el módulo de ensayo e ir registrando periódicamente los datos según el procedimiento descrito en el punto d).

- h) Se verifica que las temperaturas del módulo de ensayo y del dispositivo de referencia están estabilizadas y permanecen constantes con ± 1 °C, y que la irradiancia medida con el dispositivo de referencia se mantiene constante $\pm 1\%$ durante los periodos de registro de cada conjunto de datos. Todos los datos deben registrarse a $1\ 000\ \text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ o bien trasladarse a ese nivel de irradiancia.
- i) Se repiten los pasos d) hasta h). Las temperaturas del módulo deben ser tales que el intervalo de interés sea de al menos 30 °C y que este se divida en al menos cuatro intervalos aproximadamente iguales. Deben realizarse un mínimo de tres mediciones en cada una de las condiciones de ensayo.

10.4.3.2 Procedimiento con simulador solar

- a) Se determina la intensidad de la corriente de cortocircuito del módulo a la irradiancia deseada a la temperatura ambiente, de acuerdo con la Norma IEC 60904-1.
- b) Se monta el módulo de ensayo en el equipo utilizado para cambiar la temperatura. Se monta el dispositivo FV de referencia dentro del haz incidente del simulador. Se realizan las conexiones a la instrumentación.
- c) Se ajusta la irradiancia de forma que el módulo a ensayar produzca la intensidad de la corriente de cortocircuito determinada en el punto a). Utilizar el dispositivo FV de referencia para mantener esta irradiancia durante todo el ensayo.
- d) Se calienta o enfría el módulo hasta la temperatura de interés. Una vez haya alcanzado dicha temperatura, se miden I_{sc} , V_{oc} y la potencia pico. Se varía la temperatura del módulo en pasos de aproximadamente 5 °C, en un intervalo de interés de al menos 30 °C, y se repiten las mediciones de I_{sc} , V_{oc} y la potencia pico.

NOTA La característica completa intensidad de la corriente-voltaje puede medirse a cada temperatura, para determinar la variación de la temperatura en el voltaje a la potencia pico y en la intensidad de la corriente a la potencia pico.

10.4.3.3 Cálculo de los coeficientes de temperatura

- a) Se trazan los valores de I_c , V_{oc} y P_{maz} en función de la temperatura y se construye una curva por el método de mínimos cuadrados por cada conjunto de datos.
- b) A partir de las pendientes de las rectas obtenidas por mínimos cuadrados de la intensidad de la corriente, voltaje y P_{max} , se calcula α , el coeficiente de temperatura de la intensidad de la corriente de cortocircuito, β , el coeficiente de temperatura de el voltaje de circuito abierto, y δ , el coeficiente de temperatura de P_{max} del módulo.

NOTA 1 Véase la Norma IEC 60904-10 para determinar si los módulos de ensayo pueden considerarse dispositivos lineales.

NOTA 2 Los coeficientes de temperatura medidos en este procedimiento son válidos únicamente a la irradiancia a la que se han medido. Los coeficientes de temperatura relativos, expresados en porcentaje, pueden determinarse dividiendo los valores calculados α , β , δ por los valores de intensidad de la corriente, voltaje y potencia pico a 25 °C.

NOTA 3 Como el factor de llenado del módulo es una función de la temperatura, no es suficiente utilizar el producto de α y β como coeficiente de temperatura de la potencia pico.

10.5 Medición de la temperatura de operación nominal de la celda (TONC)

10.5.1 Objeto

Determinar la TONC del módulo.

10.5.2 Introducción

La TONC se define como la temperatura media de unión de la celda en equilibrio de un módulo montado en una estructura abierta en el siguiente ambiente de referencia normalizado, SRE (*Standard Reference Environment*):

- ángulo de inclinación: 45° respecto de la horizontal
- irradiancia total: 800 W.m⁻²
- temperatura ambiente 20 °C
- velocidad del viento 1 m.s⁻¹
- carga eléctrica ninguna (circuito abierto).

La TONC puede ser utilizada por el diseñador del sistema como indicativo de la temperatura a la que el módulo operará en campo y es, por tanto, un parámetro útil en la comparación del comportamiento de diferentes diseños de módulos. Sin embargo, la temperatura real de operación en cada instante está afectada por la estructura de sujeción, la irradiancia, la velocidad del viento, la temperatura ambiente, la temperatura del cielo y las reflexiones y emisiones del suelo y objetos cercanos. Para las estimaciones precisas del funcionamiento deben tenerse en cuenta estos factores.

Se describen dos métodos para determinar la TONC.

El primero, llamado "método primario", es universalmente aplicable a todos los módulos FV. En el caso de módulos no diseñados para montaje en estructuras abiertas, el método primario puede utilizarse para determinar la temperatura media de equilibrio de la unión de la celda solar en SRE, con el módulo montado según las recomendaciones del fabricante.

El segundo, llamado "el método de la placa de referencia", es más rápido pero sólo es aplicable a módulos FV del tipo que responde a cambios en la temperatura ambiente (dentro de intervalos restringidos de velocidad del viento e irradiancia) de la misma forma que las placas de referencia usadas en las mediciones. Los módulos de silicio cristalino con un vidrio frontal y una cubierta plástica posterior se encuentran dentro de esta categoría. Las placas de referencia se calibran usando el mismo procedimiento del método primario.

10.5.3 Método primario

10.5.3.1 Principio

Este método está basado en la adquisición de datos reales de la temperatura de la celda bajo un intervalo de condiciones ambientales que incluyan el SRE. Los datos se presentan de forma que permitan la interpolación precisa y reproducible del valor de la TONC.

La temperatura de la unión de la celda solar (T_J) es fundamentalmente una función de la temperatura ambiente (T_{amb}), la velocidad media del viento (V) y la irradiancia solar total (G) incidente en la superficie activa del módulo. La diferencia de temperaturas ($T_J - T_{amb}$) es suficientemente independiente de la temperatura ambiente y es, en esencia, linealmente proporcional a la irradiancia, para niveles superiores a 400 W.m⁻². El procedimiento consiste en representar ($T_J - T_{amb}$) en función de G para un periodo en el que las condiciones de viento sean favorables. Un valor preliminar de la TONC se determina añadiendo 20 °C al valor de ($T_J - T_{amb}$) obtenido mediante interpolación a la irradiancia de 800 W.m⁻² del SRE. Finalmente, se añade a la TONC preliminar un factor de corrección, dependiente de la temperatura media y la velocidad del viento durante el tiempo del ensayo, para corregirla a 20 °C y 1 m.s⁻¹.

10.5.3.2 Aparatos

Se precisan los siguientes aparatos:

a) estructura abierta para montar el(los) módulo(s) de ensayo y el piranómetro en el modo especificado (véase el apartado 10.5.3.3). La estructura debe diseñarse para minimizar la conducción de calor procedente del (de los) módulo(s) e interferir lo menos posible con la radiación libre de calor de sus caras frontal y posterior;

NOTA En el caso de módulos no diseñados para estructuras abiertas, el(los) módulo(s) debería(n) montarse según las recomendaciones del fabricante.

b) piranómetro montado en el plano del(de los) módulo(s) y a menos de 0,3 m de la agrupación de módulos de ensayo;

c) instrumentos para medir la velocidad del viento hasta $0,25 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ y la dirección del viento, instalados aproximadamente 0,7 m por encima del tope del borde superior del (de los) módulo(s) y 1,2 m al este o al oeste;

d) un sensor de temperatura ambiente con una constante de tiempo igual o menor que la del (de los) módulo(s), instalado en un receptáculo sombreado y bien ventilado y cercano a los sensores de viento;

e) sensores de temperatura unidos por soldadura o por adhesivo conductor térmico a la cara posterior de las dos celdas más próximas al centro de cada módulo, u otro equipo necesario para la medición de la temperatura de la celda aprobado por la IEC;

f) sistema de adquisición de datos, con una precisión en la medición de temperatura de $\pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$, para registrar los siguientes parámetros con una periodicidad de no más de 5 s:

- irradiancia;
- temperatura ambiente;
- temperatura de la celda;
- velocidad del viento;
- dirección del viento.

10.5.3.3 Instalacion del (de los) módulo(s) de ensayo

Angulo de inclinación: El (los) módulo(s) de ensayo deben situarse inclinado(s) $45^\circ \pm 5^\circ$ respecto a la horizontal y con la cara frontal apuntando hacia el ecuador.

Altura: El borde inferior del (de los) módulo(s) debe estar 0,6 m o más por encima del plano horizontal local o del nivel del suelo.

Configuración: Para simular las condiciones térmicas de los bordes de los módulos instalados en un sistema, el (los) módulo(s) de ensayo debe(n) montarse en una superficie plana que se extienda al menos 0,6 m alrededor del (de los) módulo(s) en todas las direcciones. Para módulos diseñados para montaje independiente en instalaciones con estructura abierta, deben utilizarse placas negras de aluminio u otros módulos del mismo diseño para cubrir el área restante de la superficie plana.

Área circundante: No debe haber obstrucciones que impidan la total irradiación del (de los) módulo (s) de ensayo durante un periodo que abarque desde las 4 h antes y las 4 h después del mediodía solar local. El suelo próximo al (a los) módulo (s) no debe presentar ninguna reflectancia solar anormalmente elevada y debe ser plano y nivelado, o con pendiente descendente en todas las direcciones respecto de la estructura de ensayo. La hierba, otros tipos de vegetación, el asfalto o el lodo se aceptan para el área local circundante.

10.5.3.4 Procedimiento

- a) Se instalan los aparatos con el (los) módulo (s) de ensayo, según se describe en el apartado 10.5.3.3. Se verifica que el (los) módulo (s) de ensayo está (n) en circuito abierto.
- b) En un día de cielo despejado, soleado y con poco viento, se registra, en función del tiempo, la temperatura de la celda, la temperatura ambiente, la irradiancia, la velocidad del viento y la dirección del viento.
- c) Se rechazan todos los datos tornados en las condiciones siguientes:
 - irradiancia inferior a 400 W.m^{-2}
 - datos tornados en el intervalo de 10 min que transcurre seguidamente a una variación de la irradiancia superior al 10 % de la diferencia de los valores máximo y mínimo registrados durante ese periodo de 10 min;
 - velocidad del viento fuera del intervalo $1 \text{ m.s}^{-1} + 0,75 \text{ m.s}^{-1}$;
 - temperatura ambiente fuera del intervalo $20 \text{ °C} + 15 \text{ °C}$, o que varíe en más de 5 °C entre el valor mínimo y el máximo en un registro de una colección de datos;
 - datos tomados durante el intervalo de 10 min que transcurre seguidamente a una ráfaga de viento de más de 4 m.s^{-1} ;
 - dirección del viento en un ángulo de $+20^\circ$ respecto al este o al oeste.
- d) A partir de un mínimo de 10 puntos de datos que cubran un intervalo de irradiancia de al menos 300 W.m^{-2} en torno al mediodía solar, considerando instantes anteriores y posteriores a éste, se representa $(T_J - T_{amb})$ en función de la irradiancia. Se utiliza un análisis de regresión para ajustar los puntos medidos.
- e) Se determina el valor de $(T_J - T_{amb})$ a 800 W.m^{-2} y se añaden 20 °C para obtener el valor preliminar de la TONC.
- f) Se calcula la temperatura ambiente media, T_J , y la velocidad media del viento, V , asociados a los datos aceptados, y se determina el factor de corrección apropiado a partir de la figura 2.
- g) Se suma el factor de corrección a la TONC preliminar para corregirlo a 20 °C y 1 ms^{-1} . El resultado de esta suma es la TONC del módulo.
- h) Se repite el proceso entero durante dos días más y se promedian los tres valores de la TONC calculados para cada módulo de ensayo.

10.5.4 Método de la placa de referencia

10.5.4.1 Principio

Este método está basado en el principio de comparación de la temperatura del (de los) módulo (s) de ensayo con la de las de placas de referencia, sometidas a las mismas condiciones de irradiancia, temperatura ambiente y velocidad del viento. La temperatura en equilibrio de la placa de referencia en el SRE se determina usando el método primario descrito en el apartado 10.5.3.

La TONC del módulo de ensayo se obtiene corrigiendo la diferencia de temperatura entre el módulo de ensayo y las placas de referencia a las condiciones del SRE y sumando este valor al de la temperatura media de equilibrio de las placas de referencia en SRE. Se ha establecido que esta diferencia de temperatura es insensible a fluctuaciones de irradiancia y a ligeras variaciones de la temperatura ambiente y de la velocidad del viento.

10.5.4.2 Placa de referencia

Las placas de referencia deben estar hechas de aleación de aluminio duro y con las dimensiones mostradas en la figura 3. La cara frontal debe pintarse de negro mate y la posterior de blanco brillante. Se deben suministrar los medios para medir la temperatura de las placas de referencia con la precisión exigida. En la figura 3 se muestra un método en el que se emplean dos termopares. Se fija un termopar en cada una de las ramas de las ranuras fresadas, con ayuda de un adhesivo que sea conductor térmico y aislante eléctrico, después de haber eliminado todo el aislante en una distancia de 25 mm a partir del punto de unión. La parte restante de los hilos del termopar se fija finalmente en la ranura con masilla conductora.

Al menos deben hacerse y calibrarse tres placas de referencia, utilizando el método primario descrito en el apartado 10.5.3. Las temperaturas de equilibrio así calculadas deben estar en el intervalo de 46 °C a 50 °C y no deben diferir entre ellas en más de 1 °C. Una de las placas de referencia debe mantenerse sin utilizar como placa de control. Antes de realizar la medición de la TONC, las temperaturas de equilibrio de las placas de referencia deben comprobarse frente a la de control bajo las condiciones de aceptación descritas en el punto c) del apartado 10.5.3.4 con el fin de detectar cualquier cambio en sus propiedades térmicas. Si las temperaturas medidas de las placas de referencia difieren en más de 1 °C, debe investigarse el motivo y tomar las medidas correctoras necesarias antes de seguir con el ensayo.

10.5.4.3 Lugar de ensayo

Se elige un lugar de ensayo plano en el que las perturbaciones eólicas causadas por edificios, árboles y relieves topográficos sean despreciables. Deben evitarse reflexiones no uniformes del suelo y los objetos que se encuentran detrás del plano de ensayo.

10.5.4.4 Aparatos

Se requieren los siguientes aparatos (véase la figura 4):

- a) Un número de placas de referencia como las descritas en el apartado 10.5.4.2 (una más que el número de módulos a ensayar simultáneamente).
- b) Un piranómetro o un dispositivo FV de referencia.
- c) Una estructura abierta para sujetar el (los) módulo (s) y el piranómetro, inclinada 45° +5° respecto de la horizontal y con su parte frontal orientada hacia el ecuador. Cada módulo debe estar flanqueado por dos placas de referencia, con el borde inferior del (de los) módulo (s) a aproximadamente a 1 m del suelo. La estructura debe estar diseñada de forma que minimice la conducción del (de los) módulo (s) y las placas y que interfiera lo menos posible con la radiación libre de calor proveniente de sus caras frontales y posteriores.

- d) Instrumentos para medir la velocidad del viento hasta 0,25 m.s-1 y la dirección del viento, instalados aproximadamente 0,7 m por encima del borde superior del (de los) módulo (s) y 1,2 m al este o el oeste, según se muestra en la figura 4.
- e) Sensor de temperatura ambiente con una constante de tiempo igual o menor que la del (de los) módulo (s), instalado en un receptáculo sombreado y bien ventilado y cercano a los sensores de viento.
- f) Sensores de temperatura unidos por soldadura o por adhesivo conductor térmico a la cara posterior de las dos celdas más próximas al centro de cada módulo, u otro equipo necesario para la medición de la temperatura de la celda aprobado por IEC.
- g) Sistema de adquisición de datos, con una precisión en la medición de temperatura de ± 1 °C, para registrar los siguientes parámetros con una periodicidad de no más de 5 s:
 - irradiancia;
 - temperatura ambiente;
 - temperatura de la celda;
 - velocidad del viento;
 - dirección del viento;
 - temperaturas de las placas de referencia.

10.5.4.5 Procedimiento

- a) Se montan los aparatos con el (los) módulo (s) y las placas de referencia según se muestra en la figura 4. Se verifica que el (los) módulo (s) de ensayo está (n) en circuito abierto.
- b) En un día adecuado, de cielo despejado, soleado y con poco viento, se registran, en función del tiempo, la (s) temperatura (s) del (de los) módulo (s) de ensayo, la temperatura de la placa de referencia, la irradiancia, la temperatura ambiente, la velocidad del viento y la dirección del viento.
- c) Se rechazan todos los datos tomados durante, ó 15 min inmediatamente después de, las condiciones siguientes:
 - irradiancia inferior a 750 W.m-2 o superior a 850 W.m-2;
 - irradiancia que varíe en más de ± 40 W.m-2 durante el registro de un conjunto de datos;
 - velocidad del viento superior a 2 ms-1 que permanezca durante más de 30 s;
 - velocidad del viento inferior a 0,5 m-s-1;
 - dirección del viento en un ángulo de $+20^\circ$ respecto al este o al oeste;
 - diferencias entre las temperaturas de las placas de referencia de más de 1 °C.
- d) Para cada punto de datos medido en el periodo seleccionado, se toma la temperatura media TP de todas las placas de referencia.
- e) Para cada punto de datos en el periodo seleccionado y para cada módulo de ensayo:
 - 1) Se toma la temperatura media de la celda T_J se calcula:

$$\Delta T_{JP} = T_J - T_P$$

Si ΔT_{JP} varía en más de 4 °C, el método de la placa de referencia no es aplicable y debe utilizarse el método primario descrito en 10.5.3.

2) Promediar todos los valores de ΔT_{JP} y calcular así ΔT_{JPm} .

3) Corregir ΔT_{JPm} a las SRE de la forma siguiente:

$$\Delta T_{JPm} (\text{corregida}) = (f / \zeta \cdot R) \cdot \Delta T_{JPm} (\text{sin corregir})$$

donde

f el factor de corrección de irradiancia, es 800 dividido por la irradiancia media en el periodo seleccionado;

ζ el factor de corrección de la temperatura ambiente, se obtiene a partir de la temperatura ambiente media T_{amb} en el periodo seleccionado, usando la siguiente tabla (se acepta la interpolación lineal de los valores de ζ);

Tamb ° C	ζ
0	1,09
10	1,05
20	1,00
30	0,96
40	0,92
50	0,87

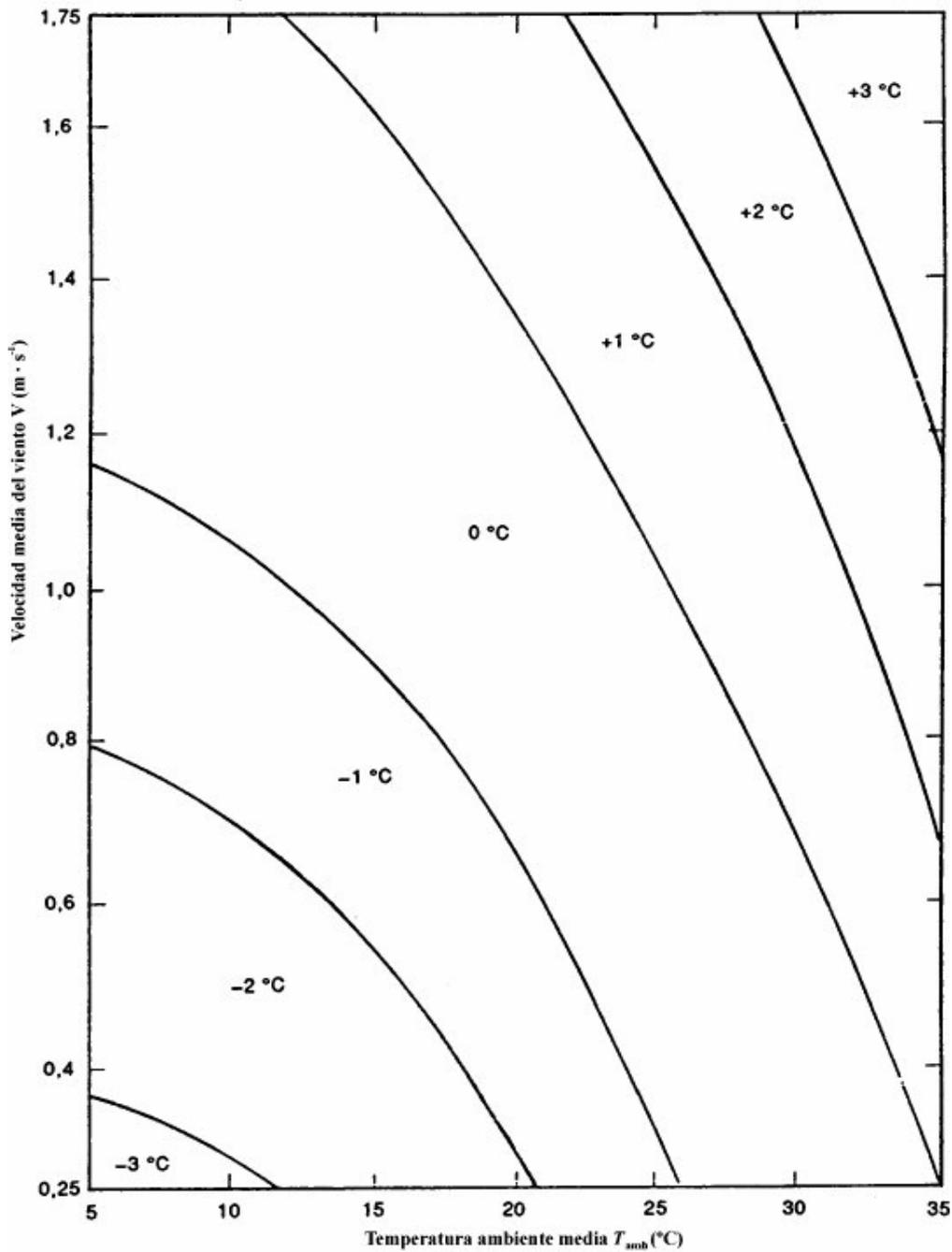
R el factor de corrección del viento, se obtiene a partir de la velocidad del viento media en el periodo seleccionado, usando el grafico de la figura 5.

4) Calcular la TONC del módulo de ensayo como:

$$TONC = T_{PR} + \Delta T_{JPm} (\text{corregida})$$

donde T_{PR} es la temperatura media de equilibrio de las placas de referencia en las condiciones del SRE.

f) Repetir el procedimiento entero durante dos días adicionales y promediar los tres valores de TONC para cada módulo de ensayo.



Dimensiones en milímetros

Fig. 2 — Factor de corrección de la TONC

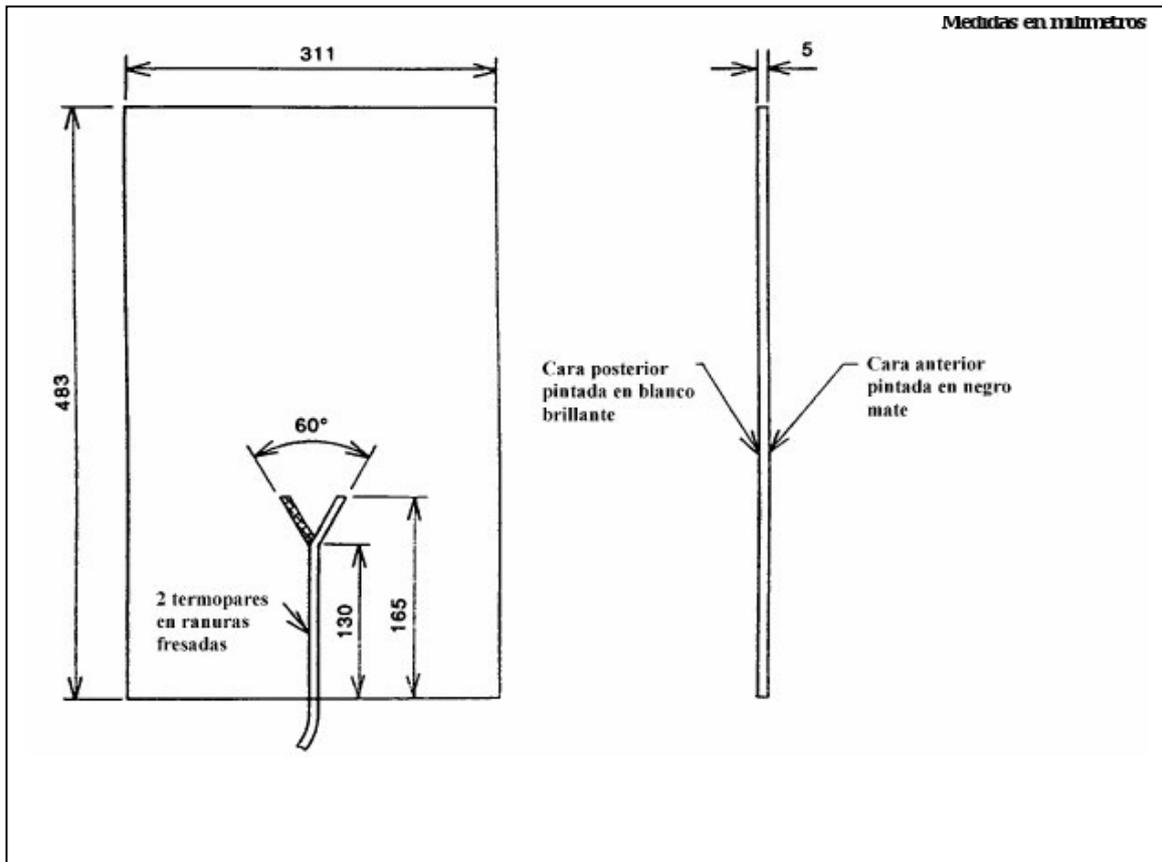


Fig. 3 — Placa de referencia

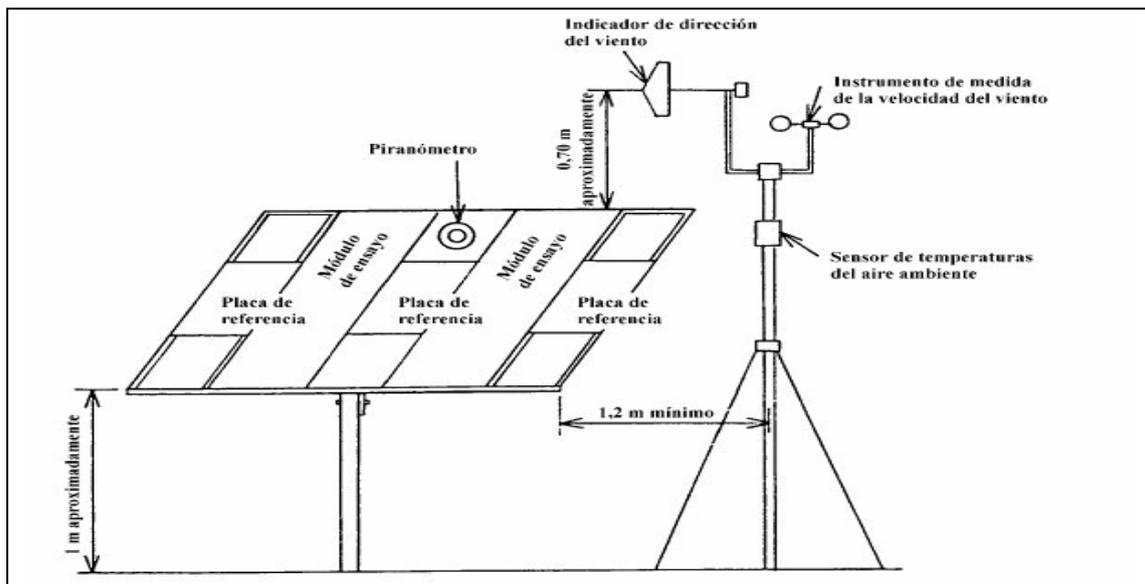


Fig. 4 — Medida de la TONC por el método de la placa de referencia

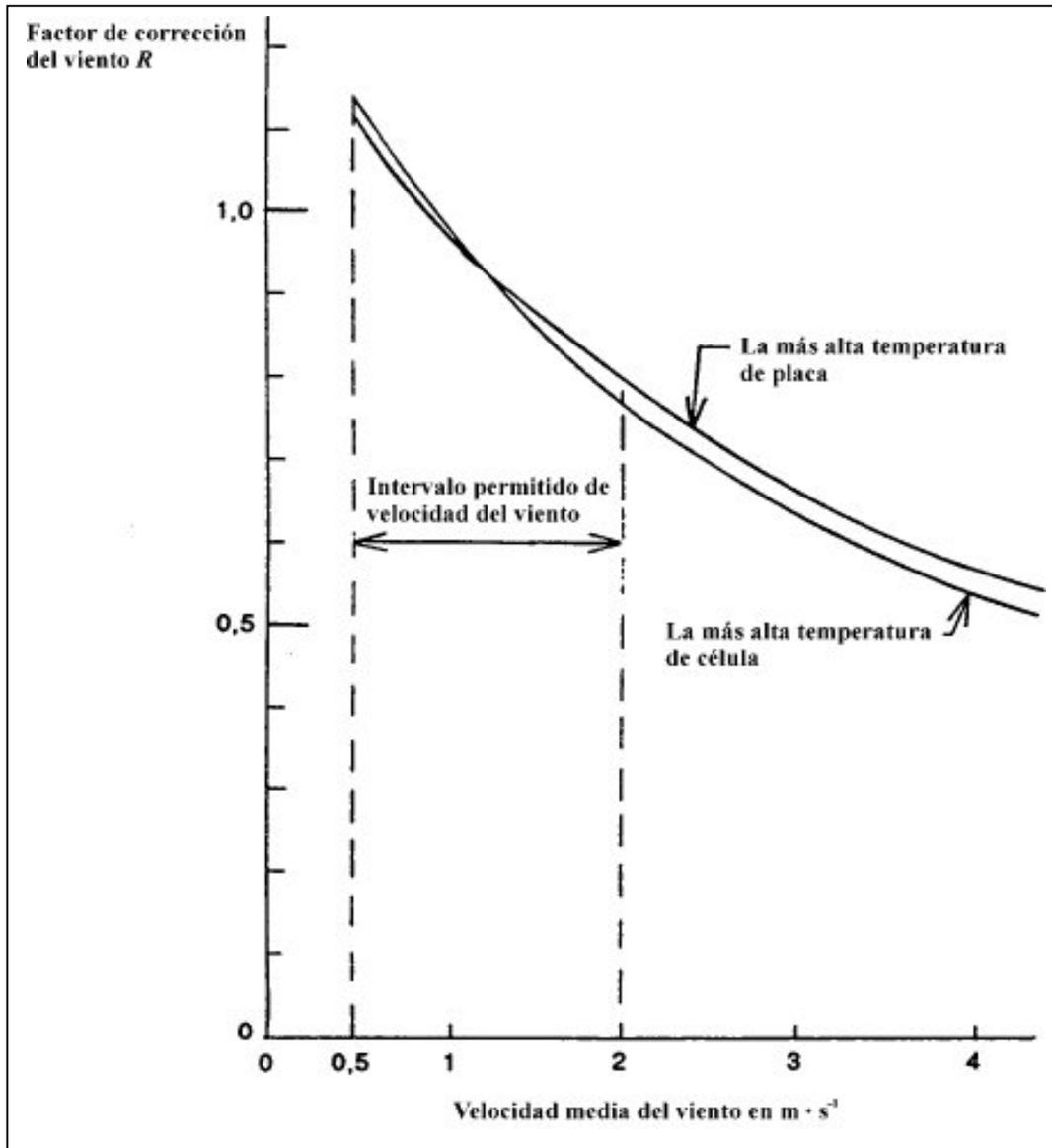


Fig. 5 — Factor de corrección del viento

10.6 Comportamiento en CEM y TONC

10.6.1 Objeto

Determinar como el comportamiento eléctrico del módulo varia con la carga en CEM ($1\ 000\ \text{W} \cdot \text{m}^{-2}$, temperatura de la celda solar $25\ ^\circ\text{C}$, distribución espectral de la irradiancia solar de referencia según la Norma IEC 60904-3) y a la TONC y una irradiancia de $800\ \text{W} \cdot \text{m}^{-2}$, con la distribución espectral de irradiancia de referencia según la Norma IEC 60904-3.

10.6.2 Aparatos

- a) Fuente de radiación (luz solar natural o simulador solar de clase B o mejor) de acuerdo con la Norma IEC 60904-9.
- b) Dispositivo FV de referencia según la Norma IEC 60904-2 o la Norma IEC 60904-6. Si se utiliza un simulador solar de clase B, el dispositivo de referencia debe ser un módulo del mismo tamaño y con la misma tecnología de celda que el módulo a ensayar, con el fin de hacer coincidir sus respuestas espectrales.
- c) Estructura de soporte adecuada para mantener la muestra de ensayo y el dispositivo de referencia en un plano normal a la radiación incidente.
- d) Un medio de hacer un seguimiento de la temperatura de la muestra de ensayo y del dispositivo de referencia con una precisión de ± 1 °C y una repetitividad de $\pm 0,5$ °C.
- e) Equipo de medición de la intensidad de la corriente de corriente de la muestra de ensayo y del dispositivo de referencia con una precisión de $\pm 0,2\%$ de la lectura.
- f) Equipo de medición del voltaje de la muestra de ensayo y del dispositivo de referencia con una precisión de $\pm 0,2\%$ de la lectura.
- g) Equipo necesario para cambiar la temperatura de la muestra de ensayo a la TONC medida en el apartado 10.5.

10.6.3 Procedimiento

10.6.3.1 CEM

Se mantiene el módulo a 25 °C y se traza su curva característica intensidad de la corriente-voltaje a una irradiancia de 1 000 W.m⁻² (medida con un dispositivo de referencia adecuado), según la Norma IEC 60904-1, utilizando luz solar natural o un simulador solar de clase B o mejor, conforme a los requisitos de la Norma IEC 60904-9.

10.6.3.2 TONC

Se calienta el módulo uniformemente hasta la TONC y se traza su curva característica intensidad de la corriente-voltaje a una irradiancia de 800 W.m⁻² (medida con un dispositivo de referencia adecuado), según la Norma IEC 60904-1, utilizando luz solar natural o un simulador solar de clase B o mejor, conforme a los requisitos de la Norma IEC 60904-9.

Si el dispositivo de referencia no está acoplado espectralmente con el módulo de ensayo, se usa la Norma IEC 60904-7 para calcular la corrección por desacople espectral.

10.7 Funcionamiento a baja irradiancia

10.7.1 Objeto

Determinar cómo varía el comportamiento eléctrico del módulo con la carga a 25 °C y a una irradiancia de 200 W.m⁻² (medida con un dispositivo de referencia adecuado), de acuerdo con la Norma IEC 60904-1, utilizando luz solar natural o un simulador de clase B o mejor, conforme a los requisitos de la Norma IEC 60904-9.

10.7.2 Aparatos

- a) Fuente de radiación (luz solar o un simulador solar de clase B o mejor) conforme a la Norma IEC 60904-9.
- b) Equipo necesario para cambiar la irradiancia a 200 W.m^{-2} sin afectar a la distribución espectral relativa de la irradiancia y la uniformidad espacial, conforme a la Norma IEC 60904-10.
- c) Un dispositivo FV de referencia conforme a la Norma 60904-2 o a la Norma 60904-6.
- d) Una estructura de soporte adecuada para montar la muestra de ensayo y el dispositivo de referencia en un plano normal al haz de radiación incidente.
- e) Un medio para hacer un seguimiento de las temperaturas de la muestra de ensayo y el dispositivo de referencia con precisión de $\pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$ y repetitividad de $\pm 0,5 \text{ }^\circ\text{C}$.
- f) Equipo para medir las intensidades de corriente de la muestra de ensayo y del dispositivo de referencia con precisión de la lectura de $\pm 0,2\%$.
- g) Equipo para medir los voltajes de la muestra de ensayo y del dispositivo de referencia con precisión de la lectura de $\pm 0,2\%$.

10.7.3 Procedimiento

Se determina la característica intensidad de la corriente-voltaje del módulo a $25 \text{ }^\circ\text{C} \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ y a una irradiancia de 200 W.m^{-2} (medida por un dispositivo de referencia adecuado), de acuerdo con la Norma IEC 60904-1, utilizando luz solar o un simulador de clase B o mejor, conforme a los requisitos de la Norma IEC 60904-9. La irradiancia debe reducirse al valor especificado utilizando filtros neutros o cualquier otra técnica que no afecte a la distribución espectral de la irradiancia. (Consúltase la Norma IEC 60904-10 sobre cómo reducir la irradiancia sin cambiar su distribución espectral).

10.8 Ensayo de exposición en exterior

10.8.1 Objeto

El objeto de este ensayo es realizar una evaluación preliminar de la capacidad del módulo a soportar la exposición a las condiciones exteriores y detectar los efectos de degradación sinérgica que no puedan detectarse mediante los ensayos de laboratorios

NOTA. Debería tenerse cautela al hacer juicios absolutos acerca de la vida del módulo basado en el hecho de haber superado este ensayo, ya que el ensayo es demasiado corto y las condiciones de ensayo variables. Este ensayo debería usarse sólo como guía o indicador de posibles problemas.

10.8.2 Aparatos

- a) Dispositivo capaz de medir la irradiación solar, con una incertidumbre de menos de $\pm 5 \%$.
- b) Medios para montar el módulo, según recomienda el fabricante, en el mismo plano que el dispositivo de referencia.
- c) Una carga dimensionada de forma que en CEM el módulo opere cerca del punto de máxima potencia.

10.8.3 Procedimiento

- a) Se fija la carga al módulo y se monta éste en el exterior, siguiendo las recomendaciones del fabricante y en el mismo plano que el medidor de irradiación. Se deben instalar antes de la realización de los ensayos todos los dispositivos de protección del efecto de punto caliente recomendados por el fabricante.
- b) Se expone el módulo a una irradiación acumulada de 60 kWh.m^{-2} , medida con el dispositivo de medida de irradiación, bajo las condiciones conformes a ambientes exteriores, según se definen en la Norma IEC 60721-2-1.

10.8.4 Mediciones finales

Se repiten los ensayos de los apartados 10.1, 10.2 y 10.3.

10.8.5 Requisitos

Los requisitos son los siguientes:

- no debe haber evidencia de defectos visuales importantes, según se definen en la cláusula 7;
- la degradación de la potencia de salida máxima no debe exceder el 5% del valor medido antes del ensayo;
- la resistencia de aislamiento debe cumplir los mismos requisitos que para las mediciones iniciales.

10.9 Ensayo de resistencia a la formación de puntos calientes

10.9.1 Objeto

El objeto de este ensayo es determinar la capacidad del módulo para resistir los efectos de calentamiento por la existencia de puntos calientes, como por ejemplo una soldadura fundida o el deterioro del encapsulado. Este defecto podrían provocarlo celdas agrietadas o desacopladas, fallos de interconexión, sombreado parcial o suciedad superficial.

10.9.2 Efecto del punto caliente

El efecto de punto caliente se produce en un módulo cuando su intensidad de la corriente de corriente de operación excede la intensidad de la corriente de cortocircuito reducida de una de sus celdas (o de un grupo de sus celdas) sombreada (s) o defectuosa (s). Cuando se produce esta condición, la celda (o grupo de celdas afectadas) es forzada(o) a trabajar en polarización inversa y debe disipar potencia, lo que puede causar un sobrecalentamiento.

La figura 6 ilustra el efecto de punto caliente en un módulo constituido por una rama de celdas en serie, una de las cuales, la celda Y, está parcialmente sombreada. La cantidad de potencia disipada en Y es igual al producto de la intensidad de la corriente del módulo por el voltaje inverso creada a lo largo de Y. Para cualquier nivel de irradiancia, la potencia máxima se disipa en la condición de cortocircuito, cuando el voltaje inverso en Y es igual al voltaje generado por las restantes (s - 1) celdas en el módulo. Esto se representa en la figura 6 mediante el rectángulo rayado, construido en la intersección de la característica I-V inversa de Y con la proyección de la característica I-V directa de las restantes (s-1) celdas.

Debido a que las características inversas pueden variar considerablemente de una celda a otra, es necesario clasificar las celdas en limitadas por voltaje (tipo A), o limitadas por intensidad de la corriente (tipo B), según corte la curva característica I-V la "zona límite de ensayo" mostrada en la figura 7.

La figura 6 se aplica a las celdas de tipo A. Ilustra que la máxima disipación en una celda defectuosa o sombreada ocurre cuando su característica inversa interseca la proyección de la característica de las (s-1) celdas restantes en el punto de máxima potencia.

En contraste, la figura 8 muestra que la máxima disipación en una celda tipo B ocurre cuando se sombrea totalmente. Pero conviene notar que, en este caso, la potencia disipada puede ser una fracción de la potencia total del módulo.

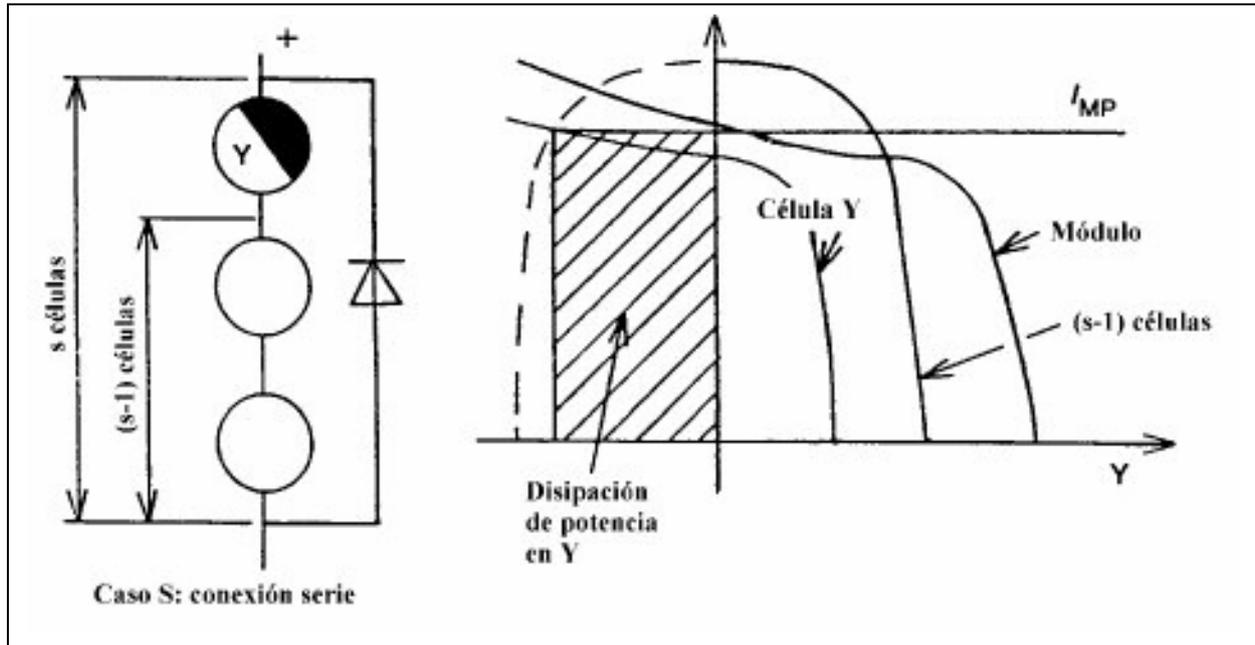


Fig. 6 — Efecto de punto caliente en una celda tipo A

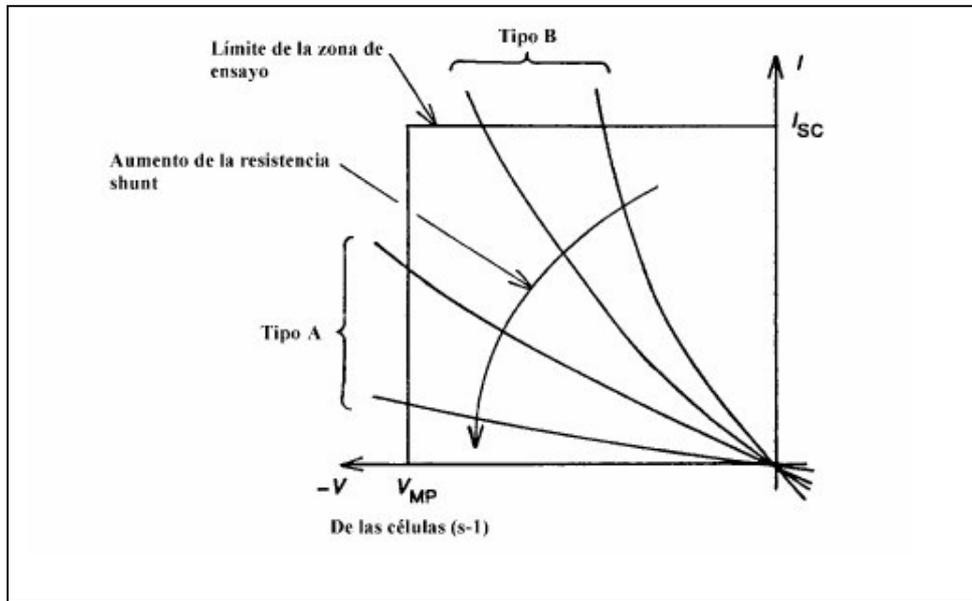


Fig. 7 — Características inversas

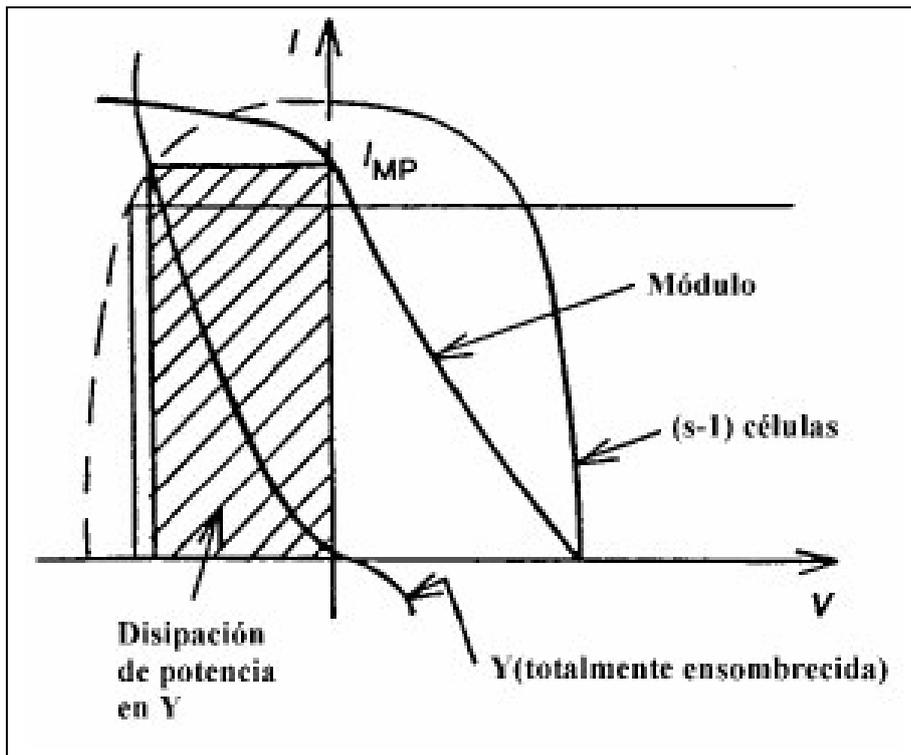


Fig. 8 — Efecto de punto caliente en una celda tipo B

10.9.3 Clasificación de las interconexiones de celdas

Las celdas solares en un módulo FV están conectadas según una de las siguientes formas:

Caso S: conexión en serie de s celdas en una única rama;

Caso SP: conexión serie-paralelo, es decir, conexión en paralelo de p ramas, cada una con s celdas en serie; véase la figura 9;

Caso SPS: conexión serie-paralelo-serie, es decir, una conexión serie de b bloques, donde cada bloque consiste en una conexión paralela de p ramas, cada una con s celdas en serie. Véase la figura 10

Los diodos de derivación, si los hubiere, limitan el voltaje inverso de las celdas que abarcan y de esta forma definen la parte del circuito a ensayar. La máxima disipación de potencia interna ocurre con el módulo cortocircuitado.

NOTA La máxima disipación de potencia interna del diodo ocurre cuando el elemento de circuito protegido por el diodo de derivación está cortocircuitado. Normalmente esto se efectúa cortocircuitando el módulo entero. Si el módulo no tiene diodos de derivación, consúltense las instrucciones del fabricante para ver si se recomienda un número máximo de módulos en serie antes de conectar los diodos de derivación. Si el máximo número de módulos en serie es mayor que uno, los ensayos siguientes en esta sección deberían realizarse con ese número de módulos en serie. Si este número es alto, una fuente de alimentación de corriente constante puede sustituir todos los módulos excepto el de ensayo. En este caso, la intensidad de la corriente de la fuente de alimentación debería fijarse a I_{MP} durante las 5 h de exposición.

10.9.4 Aparatos

- a) Fuente de radiación 1. Simulador solar continuo o luz solar natural capaz de proporcionar una irradiancia no inferior a 700 W.m^{-2} , con una no uniformidad no superior a $\pm 2 \%$ y una estabilidad temporal de $\pm 5 \%$.
- b) Fuente de radiación 2. Simulador solar de clase C (o mejor) o luz solar natural con una irradiancia de $1\,000 \text{ W.m}^{-2} \pm 10\%$.
- c) Trazador de curvas I-V de módulos.
- d) Conjunto de cubiertas opacas para el sombreamiento de las celdas de ensayo en incrementos del 5% .
- e) Un detector de temperatura adecuado, si es necesario.

10.9.5 Procedimiento

Deben instalarse antes de ensayar el módulo todos los dispositivos de protección contra la formación de puntos calientes recomendados por el fabricante.

10.9.5.1 Caso S

- a) Se expone el módulo sin sombrear a la fuente de radiación 1, a una irradiancia no inferior a 700 W.m^{-2} . Se mide la característica I-V y se determina la intensidad de la corriente en el punto de máxima potencia, I_{MP} .
- b) Se cortocircuita el módulo y se selecciona una celda por uno de los siguientes métodos:

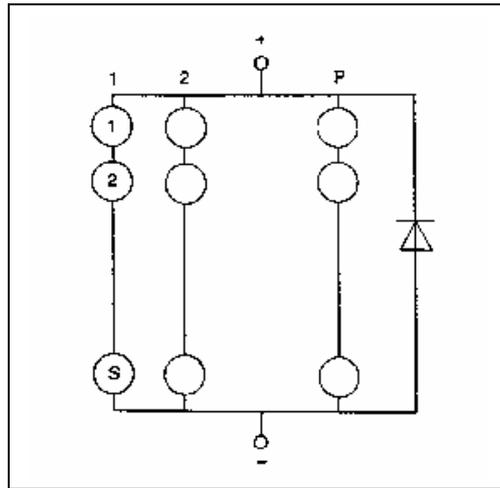


Fig. 9 — Caso SP: Conexión serie-paralelo

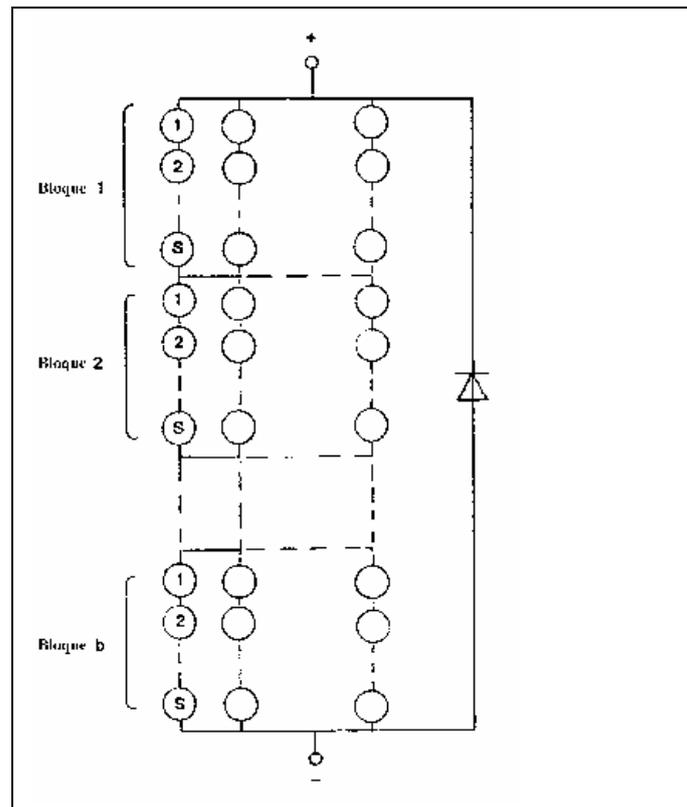


Fig. 10 — Caso SPS: Conexión serie-paralelo-serie

- 1) Con el módulo expuesto a la fuente de radiación 1, a una irradiancia estable no inferior a 700 W.m^{-2} , se determina la celda más caliente utilizando un detector de temperatura adecuado. [Se recomienda una cámara de infrarrojos (IR)].
- 2) Bajo la irradiancia especificada en el punto a), se somborean completamente todas las celdas, de una en una, y se selecciona aquella o una de aquellas que ocasione el mayor descenso de la intensidad de la corriente de cortocircuito cuando es sombreada. Durante este proceso no debe cambiar la irradiancia en más de $\pm 5 \%$.
 - c) Bajo la misma irradiancia utilizada en el punto a) ($\pm 3 \%$), se somborea completamente la celda seleccionada y se comprueba que la intensidad de la corriente de cortocircuito (I_{sc}) del módulo es inferior a la intensidad de la corriente en el punto de máxima potencia (I_{MP}) del módulo determinada en el punto a). Si esta condición no se cumple, la condición de máxima disipación de potencia con una sola celda no puede establecerse. En este caso, se precede con la celda seleccionada completamente sombreada, omitiendo el punto d).
 - d) Se reduce gradualmente el área sombreada de la celda seleccionada hasta que la I_{sc} del módulo coincida lo más posible con la I_{MP} . En este estado, se disipa la potencia máxima con la celda seleccionada.
 - e) Se expone el módulo a la fuente de radiación 2. Se anota el valor de I_{sc} y se mantiene el módulo en el estado de máxima disipación de potencia, reajustando la sombra, si fuera necesario, para mantener I_{sc} en el valor especificado. Bajo estas condiciones, la temperatura del módulo debería ser de $50 \text{ °C} \pm 10 \text{ °C}$.
 - f) Se mantiene esta situación durante un tiempo de exposición total de 5 h

10.9.5.2 Caso SP

a) Se expone el módulo sin somborear a la fuente de radiación 1 a una irradiancia no inferior a 700 W.m^{-2} . Se mide la característica I-V y se determina I_{sc}^* , la intensidad de la corriente de cortocircuito correspondiente al estado de máxima disipación de potencia por efecto de punto caliente, a partir de la siguiente ecuación, asumiendo que todas las ramas generan la misma intensidad de la corriente:

$$I_{sc}^* = I_{sc} \cdot (p - 1) / p + (I_{MP} / p) \text{ donde}$$

I_{sc} es la intensidad de la corriente de cortocircuito del módulo sin somborear;

I_{MP} es la intensidad de la corriente a la potencia máxima del módulo sin somborear;

p es el número de ramas en paralelo del módulo.

b) Se cortocircuita el módulo y se selecciona una celda por uno de los siguientes métodos:

1) con el módulo expuesto a la fuente de radiación 1, a una irradiancia estable no inferior a 700 W.m^{-2} , se determina la celda más caliente utilizando un detector de temperatura adecuado;

2) bajo la irradiancia especificada en el punto a), se somborean completamente todas las celdas, de una en una, y se selecciona aquella o una de aquellas que ocasiona el mayor descenso de la intensidad de la corriente de cortocircuito cuando es sombreada. Durante este proceso no debe cambiar la irradiancia en más de $\pm 5 \%$.

c) Bajo la misma irradiancia utilizada en el punto a) ($\pm 3 \%$), se comprueba que, con la celda seleccionada completamente sombreada, la I_{sc} del módulo es inferior a I_{sc}^* , determinada en el punto a). Si esta condición no se cumple, la condición de máxima disipación de potencia con una

sola celda no puede establecerse. En este caso se precede con la celda seleccionada completamente sombreada, omitiendo el punto d).

d) Se reduce gradualmente el área sombreada de la celda seleccionada hasta que la I_{SC} del módulo coincida lo más posible con I_{SC}^* . En este estado, se disipa la potencia máxima con la celda seleccionada.

e) Se expone el módulo a la fuente de radiación 2. Se anota el valor de I_{SC} y se mantiene el módulo en el estado de máxima disipación de potencia, reajustando la sombra, si fuera necesario, para mantener I_{SC} en el valor especificado. Bajo estas condiciones, la temperatura del módulo debería ser de $50\text{ °C} \pm 10\text{ °C}$.

f) Se mantiene esta situación durante un tiempo de exposición total de 5 h.

10.9.5.3 Caso SPS

a) Se cortocircuita el módulo sin sombrear y se expone a la fuente de radiación 1 a una irradiancia estable no inferior a 700 W.m^{-2} . Se escoge al azar al menos el 30 % de las celdas del módulo, se sombrea completamente de una en una y se mide la temperatura a la que se estabilizan, usando un equipo de imagen térmica u otro medio apropiado.

b) Se sombrea completamente la celda más caliente detectada en el punto a).

c) Mientras se registra su temperatura, se reduce gradualmente el área sombreada y se determina la condición en la que se alcanza la máxima temperatura.

d) Se expone el módulo a la fuente de radiación 2 y se mantiene en la condición de sombreado establecida en el punto c). Bajo estas condiciones, la temperatura del módulo debería ser de $50\text{ °C} \pm 10\text{ °C}$.

e) Se mantiene esta situación durante un tiempo de exposición total de 5 h.

10.9.6 Mediciones finales

Se repiten los ensayos de los apartados 10.1, 10.2 y 10.3.

10.9.7 Requisitos

Los requisitos son los siguientes:

- no debe haber evidencia de defectos visuales importantes, según se definen en la cláusula 7. Si hay evidencia de daños serios pero no calificables como defectos visuales importantes, se repite el ensayo con 2 celdas adicionales. Si no hay daños visuales alrededor de ninguna de estas dos celdas, el tipo de módulo pasa el ensayo de punto caliente;
- la degradación de la potencia máxima de salida no debe exceder el 5 % del valor medido antes del ensayo;
- la resistencia de aislamiento debe cumplir los mismos requisitos que para las mediciones iniciales.

10.10 Ensayo de acondicionamiento con UV

10.10.1 Objeto

Preacondicionar el módulo con radiación ultravioleta (UV) antes de los ensayos de ciclos térmicos/humedad congelación para identificar aquellos materiales y adhesivos que son susceptibles de degradación por UV.

10.10.2 Aparatos

a) Equipo para controlar la temperatura del módulo mientras es irradiado con luz UV. El equipo debe ser capaz de mantener el módulo a la temperatura de $60\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$.

b) Medios para medir y grabar la temperatura del (de los) módulo (s) con una precisión de $\pm 2\text{ °C}$. Los sensores de temperatura deben estar fijados a la parte frontal o posterior del módulo, cerca de su punto medio. Si se ensaya más de un módulo simultáneamente, será suficiente registrar la temperatura de una muestra significativa.

c) Instrumentación capaz de medir la irradiación de la luz UV producida por la fuente de luz UV en el plano de ensayo del (de los) módulo (s), dentro de los intervalos de longitud de onda de 280 nm a 320 nm y de 320 nm a 385 nm, con una incertidumbre de $\pm 15\%$.

d) Una fuente de luz UV capaz de producir irradiación UV con una uniformidad de irradiancia de $\pm 15\%$ sobre el plano de ensayo del (de los) módulo (s) sin irradiancia apreciable a longitudes de onda inferiores a 280 nm y capaz de suministrar la irradiación necesaria en las diferentes regiones espectrales de interés definidas en el apartado 10.10.3.

10.10.3 Procedimiento

a) Utilizando el radiómetro calibrado se mide la irradiancia en el plano de ensayo del módulo propuesto y se garantiza que a longitudes de onda entre 280 nm y 385 nm no supera $250\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ (es decir, en torno a cinco veces el nivel de la luz solar natural) y que tiene una uniformidad de $\pm 15\%$ sobre el plano de ensayo.

b) Se monta un módulo en circuito abierto en el plano de ensayo en la posición seleccionada en el punto a), normal al haz de irradiancia UV. Se verifica que la temperatura del módulo es de $60\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$.

c) Se expone (n) el (los) módulo (s) a una irradiación UV total de $15\text{ kWh}\cdot\text{m}^{-2}$ en el intervalo de longitudes de onda entre 280 nm y 385 nm, con al menos $5\text{ kWh}\cdot\text{m}^{-2}$ en el intervalo de longitudes de onda entre 280 nm y 320 nm, mientras se mantiene la temperatura del módulo dentro del intervalo prescrito.

10.10.4 Mediciones finales. Se repiten los ensayos de los apartados 10.1, 10.2 y 10.3

10.10.5 Requisitos

Los requisitos son los siguientes:

- no debe haber evidencia de defectos visuales importantes, según se definen en la cláusula 7;
- la degradación de la potencia máxima de salida no debe exceder el 5% del valor medido antes del ensayo;
- la resistencia de aislamiento debe cumplir los mismos requisitos que para las mediciones iniciales.

10.11 Ensayos de ciclos térmicos

10.11.1 Objeto

Determinar la capacidad del módulo a resistir disequilibrios térmicos, fatigas u otras tensiones causadas por repetidos cambios de temperatura.

10.11.2 Aparatos

- a) Cámara climática con control automático de temperatura, medios para hacer circular el aire en su interior, y medios para minimizar la condensación sobre el módulo durante el ensayo, capaces de someter a uno o más módulos al ciclo térmico de la figura 11.
- b) Medios para el montaje o la sujeción del (de los) módulo (s) en la cámara que permitan la libre circulación del aire circundante. Su conducción térmica debe ser baja, de forma que, a efectos prácticos, el (los) módulo (s) esté (n) aislado (s) térmicamente.
- c) Medios para medir y registrar la temperatura del (de los) módulo (s) con una precisión de ± 1 °C. Los sensores de temperatura deben estar fijados a la parte frontal o posterior del módulo, cerca de su punto medio. Si se ensaya más de un módulo simultáneamente, será suficiente registrar la temperatura de una muestra representativa.
- d) Medios para aplicar una intensidad de la corriente de corriente igual a la intensidad de la corriente de potencia pico en CEM del (de los) módulo (s) bajo ensayo.
- e) Medios para vigilar la corriente a través de cada módulo durante el ensayo.

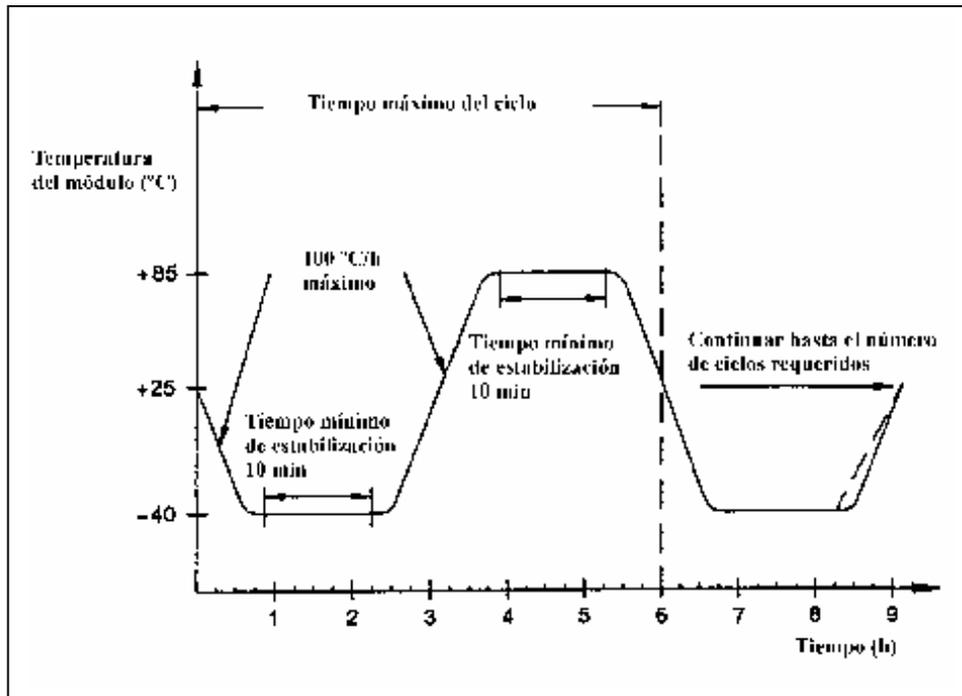


Fig. 11 — Ensayo de ciclos térmicos

10.11.3 Procedimiento

- Se instala el (los) módulo (s) a temperatura ambiente en la cámara.
- Se conecta el equipo de monitorización de la temperatura al (a los) sensor (es). Se conecta cada módulo con la fuente de intensidad de la corriente apropiada, conectando el terminal positivo del módulo al terminal positivo de la fuente y el segundo terminal en consecuencia. Durante el ensayo de 200 ciclos térmicos, se fija la intensidad de la corriente a la intensidad de la corriente a la potencia pico medida en CEM, con tolerancia de $\pm 2\%$. La intensidad de la corriente debe mantenerse sólo si la temperatura supera los $25\text{ }^{\circ}\text{C}$. Durante el ensayo de 50 ciclos térmicos no se requiere ningún flujo de corriente.
- Se cierra la cámara y se somete al (a los) módulo (s) al ciclado entre temperaturas del módulo de $-40\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $+85\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$, según el perfil mostrado en la figura 11. El ritmo de variación de la temperatura entre los extremos bajo y alto no debe superar $100\text{ }^{\circ}\text{C/h}$, y la temperatura del módulo debe permanecer estable en cada extremo durante un tiempo de al menos 10 min. La duración del ciclo no debe superar las 6 h, a no ser que el módulo tenga una capacidad de calor tan alta que se requiera un ciclo más largo. El número de ciclos debe ser el que se indica en los recuadros correspondientes de la figura 1.
- Durante el ensayo, se registra la temperatura del módulo y se vigila la corriente a través del (de los) módulo (s).

NOTA En un módulo con circuitos en paralelo, un circuito abierto en una rama provocará una discontinuidad en el voltaje, pero no hará que llegue a cero.

10.11.4 Mediciones finales

Después de un tiempo de recuperación de al menos 1 h, se repiten los ensayos de los apartados 10.1, 10.2 y 10.3.

10.11.5 Requisitos

Los requisitos son los siguientes:

- no debe producirse interrupción de la corriente durante el ensayo;
- no debe haber evidencia de defectos visuales importantes, según se definen en la cláusula 7;
- la degradación de la potencia máxima de salida no debe superar el 5 % del valor medido antes del ensayo;
- la resistencia de aislamiento debe cumplir los mismos requisitos que para las mediciones iniciales.

10.12 Ensayo de humedad-congelación

10.12.1 Objeto

El objeto de este ensayo es determinar la capacidad del módulo a resistir los efectos de altas temperaturas y humedad seguidas de temperaturas bajo cero. Este ensayo no es de choque térmico.

10.12.2 Aparatos

- a) Cámara climática con control automático de temperatura y humedad, capaz de someter uno o más módulos al ciclo de humedad-congelación especificado en la figura 12.
- b) Medios para montar o sujetar e l(los) módulo (s) en la cámara, de forma que se permita la libre circulación del aire circundante, Su conducción térmica debe ser baja, de forma que, a efectos prácticos, el (los) módulo (s) esté (n) aislado (s) térmicamente.
- c) Medios para medir y registrar la temperatura del (de los) módulo (s) con una precisión de ± 1 °C. (Es suficiente registrar la temperatura de una muestra significativa, si más de un módulo es ensayado simultáneamente).
- d) Medios para vigilar la continuidad del circuito interno de cada módulo, durante el ensayo.

10.12.3 Procedimiento

- a) Se coloca un sensor adecuado de temperatura a la superficie frontal o posterior del (de los) módulo (s) cerca del punto medio.
- b) Se instala el (los) módulo (s) a temperatura ambiente en la cámara climática.
- c) Se conecta el equipo de monitorización de la temperatura al (a los) sensor (es) de temperatura.
- d) Después de cerrar la cámara, se somete al (a los) módulo (s) a 10 ciclos completos según el perfil mostrado en la figura 12. Las temperaturas máxima y mínima deben encontrarse dentro de ± 2 °C de los valores especificados y la humedad relativa debe mantenerse dentro del $\pm 5\%$ de los valores especificados, para todas las temperaturas superiores a la temperatura ambiente.
- e) Durante todo el ensayo, se registra la temperatura del módulo.

10.12.4 Mediciones finales

Después de un tiempo de recuperación de entre 2 h y 4 h, se repite el ensayo del apartado 10.3. Se repiten los ensayos de los apartados 10.1 y 10.2.

10.12.5 Requisitos

Los requisitos son los siguientes:

- no debe haber evidencia de defectos visuales importantes, según se definen en la cláusula 7;
- la degradación de la potencia máxima de salida no debe superar el 5 % del valor medido antes del ensayo;
- la resistencia de aislamiento debe cumplir los mismos requisitos que para las mediciones iniciales.

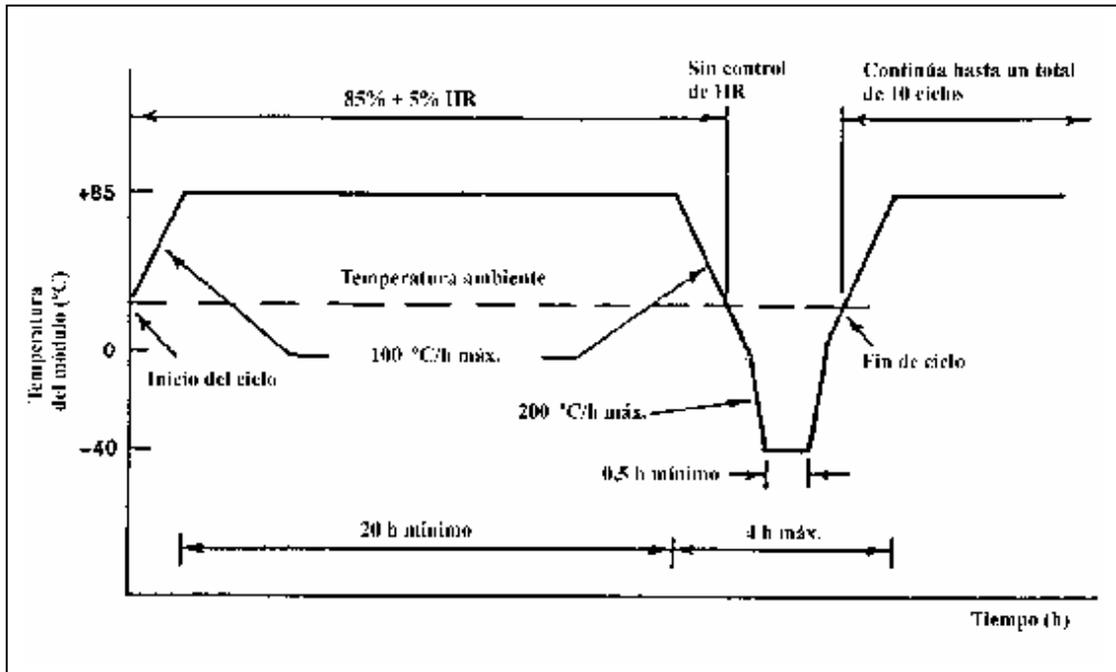


Fig. 12 — Ciclo de humedad-congelación

10.13 Ensayo de calor húmedo

10.13.1 Objeto

Determinar la capacidad del módulo a resistir los efectos a largo plazo de la penetración de humedad.

10.13.2 Procedimiento

En ensayo debe realizarse de acuerdo con la Norma IEC 60068-2-78 con las condiciones siguientes:

a) Preacondicionamiento

El (Los) módulo (s), estando a temperatura ambiente, debe (n) introducirse en la cámara sin preacondicionamiento.

b) Condiciones rigurosas

Son aplicables las siguientes condiciones rigurosas:

Temperatura de ensayo:	85 °C ± 2 °C
Humedad relativa:	85 % ± 5 %
Duración del ensayo:	1 000 h.

10.13.3 Mediciones finales

Después de un tiempo de recuperación de entre 2 h y 4 h, se repiten los ensayos de los apartados 10.3 y 10.15. Se repiten los ensayos de los apartados 10.1 y 10.2.

10.13.4 Requisitos

Los requisitos son los siguientes:

- no debe haber evidencia de defectos visuales importantes, según se definen en la cláusula 7;
- la degradación de la potencia máxima de salida no debe exceder el 5% del valor medido antes del ensayo;
- el ensayo de aislamiento y el de corriente de fugas del módulo mojado deben cumplir los mismos requisitos que para las mediciones iniciales.

10.14 Ensayo de robustez de los terminales

10.14.1 Objeto

Determinar si los terminales y las fijaciones de los terminales al cuerpo del módulo resisten tensiones mecánicas tales como las aplicadas durante el montaje o la manipulación normales de los módulos.

10.14.2 Tipos de terminales

Se consideran tres tipos de terminales de módulo:

- tipo A: hilo o conductor aéreo;
- tipo B: puntales, tuercas roscadas, tornillos, etc.;
- tipo C: conector.

10.14.3 Procedimiento

Preacondicionamiento: 1 h en las condiciones atmosféricas normalizadas para las mediciones y el ensayo.

10.14.3.1 Terminales tipo A.

Ensayo de tracción: según se describe en la Norma IEC 60068-2-21, se ensaya U_a , con las disposiciones siguientes:

- deben ensayarse todos los terminales;
- la fuerza de tracción no debe nunca exceder el peso del módulo.

Ensayo de doblado: según se describe en la Norma IEC 60068-2-21, se ensaya U_b , con las disposiciones siguientes:

- deben ensayarse todos los terminales;
- método 1-10 ciclos (1 ciclo es 1 doblado en cada dirección opuesta).

10.14.3.2 Terminales tipo B.

Ensayos de tracción y de doblado:

a) para módulos con los terminales expuestos, cada terminal debe ensayarse como los terminales tipo A;

b) si los terminales están dentro de una caja de protección, se debe aplicar el siguiente procedimiento:

- un cable de la sección y tipo recomendados por el fabricante del módulo, cortado a la longitud adecuada, debe conectarse a los terminales que se encuentran dentro de la caja, utilizando los procedimientos recomendados por el fabricante. El cable debe pasar a través del agujero del prensaestopas del cable, teniendo cuidado de utilizar todos los dispositivos previstos para la sujeción del cable. Debe colocarse la tapa de la caja de forma segura. El módulo debe ensayarse entonces como en el caso de los terminales tipo A.

Ensayo de par de apriete: según se describe en la Norma IEC 60068-2-21, se ensaya U_d con las disposiciones siguientes:

- deben ensayarse todos los terminales;
- severidad 1.

Las tuercas o tornillos deberían poderse retirar después, salvo que estuvieran específicamente diseñados para una fijación permanente.

10.14.3.3 Terminales tipo C.

Debe conectarse al terminal de salida del conector un cable de la sección y tipo recomendados por el fabricante del módulo, cortado a la longitud adecuada y se deben llevar a cabo los ensayos para los terminales de tipo A.

10.14.4 Mediciones finales

Se repiten los ensayos de los apartados 10.1, 10.2 y 10.3.

10.14.5 Requisitos

Los requisitos son los siguientes:

- no debe haber evidencia de daños mecánicos;
- la degradación de la potencia máxima de salida no debe superar el 5% del valor medido antes del ensayo;
- la resistencia de aislamiento debe cumplir los mismos requisitos que para las mediciones iniciales.

10.15 Ensayo de corriente de fugas del módulo mojado

10.15.1 Objeto

Evaluar el aislamiento del módulo en operación estando mojado y verificar que la humedad de la lluvia, niebla, rocío o nieve derretida no entra en las partes activas del circuito del módulo, donde podría causar corrosión, una derivación a masa o un riesgo para la seguridad.

10.15.2 Aparatos

- a) Cubeta superficial o depósito de tamaño suficiente que permita colocar el módulo con marco dentro de la solución, en posición plana y horizontal. Debe contener una solución acuosa de agente Resistividad: $3\ 500\ \Omega\cdot\text{cm}$ o inferior

Tensión superficial: $0,03\ \text{N}\cdot\text{m}^{-1}$ o inferior

humectante que cumpla los requisitos siguientes:

Temperatura: $22\ ^\circ\text{C} \pm 3\ ^\circ\text{C}$

La profundidad de la solución debe ser suficiente para cubrir todas las superficies, a excepción de las entradas de las cajas de conexiones que no estén diseñadas para ser sumergidas.

- b) Equipo de pulverización conteniendo la misma solución.
- c) Fuente de voltaje a corriente continua con limitación de corriente, capaz de aplicar 500 V o el voltaje máximo del sistema asignado para el módulo, considerando aquella que sea mayor.
- d) Instrumento para medición de la resistencia de aislamiento.

10.15.3 Procedimiento.

Todas las conexiones deben ser representativas de la instalación real de cableado recomendada y deben tomarse las precauciones necesarias para asegurar que las corrientes de fuga no provienen del cableado de la instrumentación fijado al módulo.

- a) Se sumerge el módulo en el depósito de la disolución requerida hasta una profundidad suficiente para cubrir todas las superficies, excepto las entradas de las cajas de conexión no diseñadas para ser sumergidas. Debe pulverizarse la solución sobre la totalidad de cada entrada de cable. Si el módulo está equipado con un conector de acoplamiento, este debería sumergirse durante el ensayo.

b) Se conectan los terminales de salida del módulo, puestos en cortocircuito, al terminal positivo del equipo de ensayo. Se conecta la solución líquida de ensayo al terminal negativo del equipo de medida, usando un conductor metálico apropiado.

c) Se aumenta el voltaje aplicado por el equipo de ensayo a un ritmo que no exceda 500 V.s^{-1} hasta 500 V o el voltaje máximo del sistema para el módulo, considerando aquel que sea más elevado. Se mantiene el voltaje a este valor durante 2 min. A continuación se determina la resistencia de aislamiento.

d) Se reduce el voltaje aplicado hasta cero y se cortocircuitan los terminales del equipo de medida para descargar el voltaje producido en el módulo.

10.15.4 Requisitos

Los requisitos son los siguientes:

- Para módulos con un área inferior a $0,1 \text{ m}^2$ la resistencia de aislamiento no debe ser inferior a $400 \text{ M}\Omega$.
- Para módulos con un área superior a $0,1 \text{ m}^2$ el producto de la resistencia de aislamiento medida por el área del módulo no debe ser inferior a $40 \text{ M}\Omega.\text{m}^2$.

10.16 Ensayo de carga mecánica

10.16.1 Objeto

El objeto de este ensayo es determinar la capacidad del módulo para resistir cargas de viento, nieve, estáticas o de hielo.

10.16.2 Aparatos

- a) Un soporte de ensayo rígido que permita montar los módulos boca arriba o boca abajo. El soporte de ensayo debe permitir que el módulo se desvíe libremente durante la aplicación de la carga.
- b) Instrumentación para vigilar la continuidad eléctrica del módulo durante el ensayo.
- c) Pesos apropiados o medios de presión que permitan aplicar la carga de forma gradual y progresiva.

10.16.3 Procedimiento

- a) Se equipa el módulo de tal forma que la continuidad eléctrica del circuito interno pueda vigilarse continuamente durante el ensayo.
- b) Se monta el módulo en una estructura rígida usando el método prescrito por el fabricante. (Si hay diferentes posibilidades, se usa la peor de ellas: aquella para la que la distancia entre los puntos de fijación sea mayor).
- c) Se aplica gradualmente una carga correspondiente a $2\,400 \text{ Pa}$ en la superficie frontal, repartida uniformemente. (Esta carga puede aplicarse neumáticamente o por medio de pesos que cubran la totalidad de la superficie. En este último caso el módulo debe montarse horizontalmente). Se mantiene esta carga durante 1 h.
- d) Se aplica el mismo procedimiento sobre la superficie posterior del módulo.
- e) Se repiten los pasos c) y d) hasta un total de tres ciclos.

NOTA 2400 Pa corresponden a una presión de viento de 130 kmh-1 (aproximadamente + 800 Pa) con un factor de seguridad de 3 para vientos fuertes. Si el módulo debe cualificarse para resistir acumulaciones pesadas de nieve y hielo, la carga aplicada a la cara frontal del módulo durante el último ciclo de este ensayo se incrementa de 2 400 Pa a 5 400 Pa.

10.16.4 Mediciones finales

Se repiten los ensayos de los apartados 10.1, 10.2 y 10.3.

10.16.5 Requisitos

Los requisitos son los siguientes:

- no debe producirse ningún fallo de circuito abierto intermitente durante el ensayo;
- no debe haber evidencia de defectos visuales importantes, según se definen en la cláusula 7;
- la degradación de la potencia máxima de salida no debe exceder el 5% del valor medido antes del ensayo;
- la resistencia de aislamiento debe cumplir los mismos requisitos que para las mediciones iniciales.

10.17 Ensayo de granizo

10.17.1 Objeto

Verificar que el módulo es capaz de resistir el impacto del granizo.

10.17.2 Aparatos

- a) Moldes de material adecuado para moldear bolas de hielo del diámetro requerido. El diámetro normalizado debe ser 25 mm, pero cualquier otro diámetro listado en la tabla 2 puede especificarse para ambientes especiales.
- b) Un congelador, controlado a $-10\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$.
- c) Un recipiente de almacenaje para conservar las bolas de hielo a la temperatura de $-4\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$.
- d) Un lanzador capaz de propulsar una bola de hielo a la velocidad especificada, dentro del $\pm 5\%$, de forma que golpee el módulo en el lugar de impacto especificado. La trayectoria de la bola de hielo desde el lanzador hasta el módulo puede ser horizontal, vertical o a cualquier ángulo intermedio, siempre que se cumplan las condiciones de ensayo requeridas.
- e) Un soporte rígido para sujetar el módulo de ensayo por el método prescrito por el fabricante, con la superficie de impacto perpendicular a la trayectoria de la bola proyectada.
- f) Una balanza para determinar la masa de una bola de hielo con una precisión de $\pm 2\%$.
- g) Un instrumento para medir la velocidad de la bola de hielo con una precisión de $\pm 2\%$. El sensor de velocidad no debe estar a más de 1 m de la superficie del módulo.

Como ejemplo, la figura 13 muestra en forma de esquema un aparato adecuado que comprende un lanzador neumático horizontal, un soporte vertical de módulo y un medidor de velocidad que mide electrónicamente el tiempo que tarda la bola de hielo en atravesar la distancia entre dos haces de luz. Este es solo un ejemplo, ya que se han utilizado con éxito otros aparatos incluyendo los lanzadores con honda y los dispositivos de resorte.

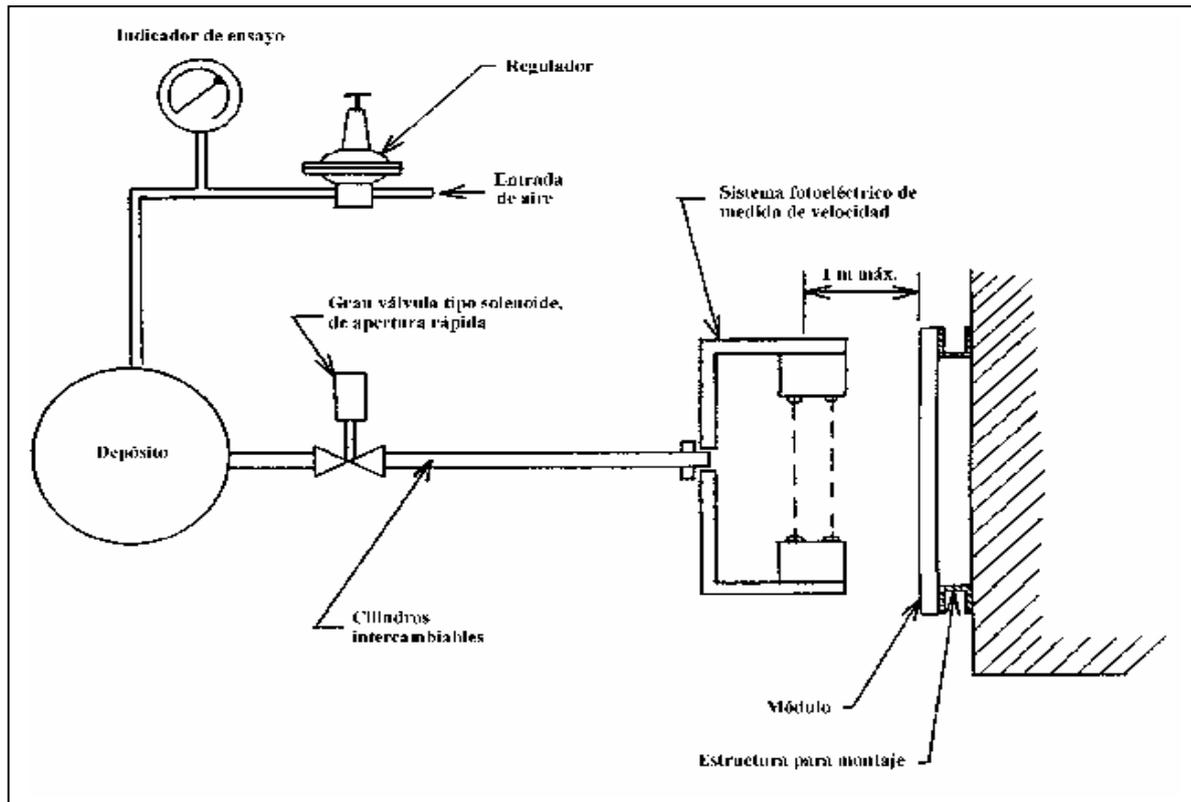


Fig. 13 — Equipo para el ensayo de granizo

Tabla 2 — Masas de las bolas de hielo y velocidades de ensayo

Diámetro mm	Masa g	Velocidad de ensayo m.s-1	Diámetro mm	Masa g	Velocidad de ensayo m.s-1
12,5	0,94	16,0	45	43,9	30,7
15	1,63	17,8	55	80,2	33,9
25	7,53	23,0	65	132,0	36,7
35	20,7	27,2	75	203,0	39,5

10.17.3 Procedimiento

- a) Utilizando los moldes y el congelador, se hacen suficientes bolas de hielo del tamaño requerido para el ensayo, incluyendo algunas para los ajustes preliminares del lanzador.
- b) Se examina cada una de ellas revisando fisuras, tamaño y masa. Una bola aceptable debe cumplir los criterios siguientes:
 - no tiene fisuras visibles a simple vista;
 - su diámetro está dentro del $\pm 5\%$ del valor requerido;
 - su masa está dentro del $\pm 5\%$ del valor nominal apropiado, según la tabla 2.
- c) Se sitúan las bolas en el contenedor de almacenaje y se dejan ahí durante al menos 1 h antes de su uso.

- d) Se verifica que todas las superficies del lanzador susceptibles de entrar en contacto con las bolas de hielo se encuentran próximas a la temperatura ambiente.
- e) Se efectúan disparos de prueba a un objetivo simulado, según el punto g) abajo descrito, y se ajusta el lanzador hasta que la velocidad de la bola de hielo, medida con un sensor de velocidad en la posición prescrita, este dentro del $\pm 5\%$ del valor apropiado de la velocidad del ensayo de granizo de la tabla 2.
- f) Se instala el módulo a temperatura ambiente en la estructura de soporte recomendada, con la superficie de impacto normal a la trayectoria de la bola de hielo.
- g) Se toma una bola de hielo del contenedor de almacenaje y se sitúa en el lanzador. Se apunta al primer punto de impacto especificado en la tabla 3 y se dispara. El tiempo transcurrido entre la extracción de la bola de hielo del contenedor y el impacto sobre el módulo no debe sobrepasar los 60 s.
- h) Se inspecciona el módulo en el área del impacto en busca de signos de daño y se toma nota de cualquier efecto visible del impacto. Son aceptables errores de hasta 10 mm respecto a la posición especificada.
- i) Si el módulo no ha resultado dañado, se repiten los puntos g) y h) para cada una de las localizaciones de impacto de la tabla 3, según se ilustra en la figura 14.

Tabla 3 — Localización de los impactos

Disparo N°	Localización
1	Una esquina de la ventana del módulo, a no más de 50 mm del marco
2	Un borde del módulo, a no más de 12 mm del marco
3,4	Sobre los bordes de las celdas, cerca de una unión eléctrica
5,6	Sobre puntos de mínimo espaciado entre celdas
7,8	Sobre la ventana del módulo, a no más de 12 mm de uno de los puntos en los que se fija el módulo a la estructura de soporte
9,10	Sobre la ventana del módulo, en los puntos más alejados de los puntos seleccionados anteriormente
11	Cualquier punto que pueda resultar especialmente vulnerable al impacto de granizo

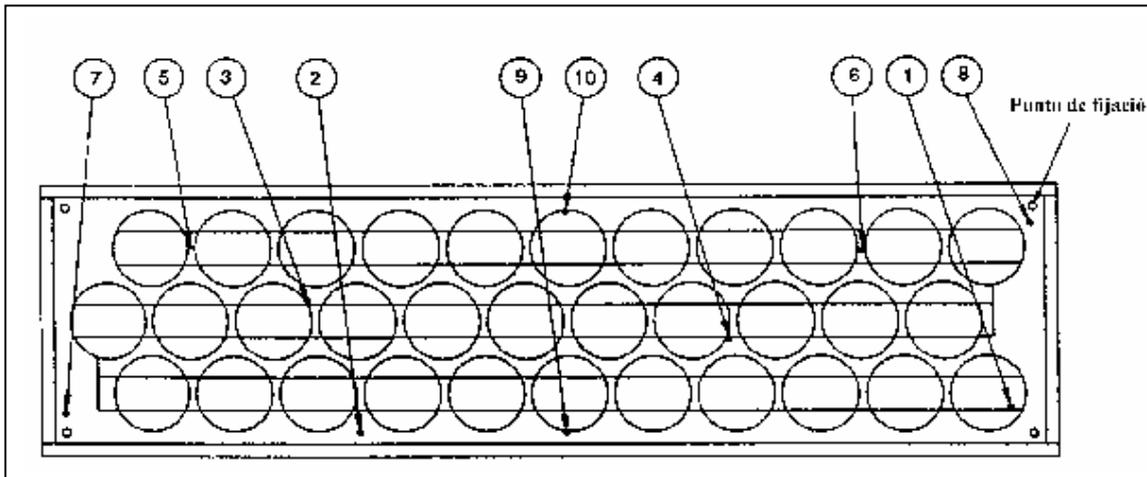


Fig. 14 — Localización de los puntos de impacto

10.17.4 Mediciones finales

Se repiten los ensayos de los apartados 10.1, 10.2 y 10.3.

10.17.5 Requisitos

Los requisitos son los siguientes:

- no debe haber evidencia de defectos visuales importantes, según se definen en la cláusula 7;
- la degradación de la potencia de salida máxima no debe exceder el 5% del valor medido antes del ensayo;
- la resistencia de aislamiento debe cumplir los mismos requisitos que para las mediciones iniciales.

10.18 Ensayo térmico de diodos de derivación

10.18.1 Objeto

Evaluar la adecuación del diseño térmico y la fiabilidad relativa a largo plazo de los diodos de derivación, utilizados para limitar los efectos nocivos de la susceptibilidad del módulo al efecto de punto caliente.

NOTA Si los diodos de derivación no están accesibles en el tipo de módulo a ensayar, se puede preparar una muestra especial para este ensayo. Esta muestra debe estar fabricada de la forma más fiel posible a la producción estándar de los módulos sometidos a ensayo, pero permitiendo el acceso a la medida de la temperatura del (de los) diodo (s) durante el ensayo. El ensayo debe proceder entonces de forma normal. Esta muestra especial de ensayo debe usarse sólo para el ensayo térmico de diodos de derivación y no para el resto de los ensayos de la secuencia.

10.18.2 Aparatos

- a) Medios para calentar el módulo a una temperatura de $75\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$.
- b) Medios para medir y registrar la temperatura del (de los) módulo(s) con una precisión de $\pm 1\text{ °C}$.
- c) Medios para medir la temperatura de cada diodo de derivación suministrado con el módulo. Debería tomarse la precaución de minimizar cualquier alteración de las propiedades del diodo o de su camino de transferencia de calor.
- d) Medios para aplicar una intensidad de corriente igual a 1,25 veces el valor de la intensidad de la corriente de cortocircuito del módulo bajo ensayo en CEM, y medios para monitorizar la corriente a través del módulo, durante todo el ensayo.

10.18.3 Procedimiento

- a) Se anulan eléctricamente todos los diodos de bloqueo incorporados en el módulo.
- b) Se determina la intensidad de la corriente de cortocircuito en CEM asignada al módulo a partir de su etiqueta o su hoja de instrucciones.
- c) Se preparan los medios para medir la temperatura de los diodos de derivación durante el ensayo.
- d) Se conectan los cables con la sección mínima recomendada por el fabricante a los terminales de salida del módulo. Se siguen las recomendaciones del fabricante para la entrada de los cables en el compartimento de cableado y se reemplaza la cubierta de dicho compartimento.

NOTA Algunos módulos tienen circuitos de diodos de derivación que se solapan. En estos casos puede ser necesario instalar un cable de acoplamiento para asegurar que toda la corriente está fluyendo a través de un diodo de derivación.

- e) Se calienta el módulo hasta $75\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$. Se aplica una intensidad de corriente al módulo igual a la intensidad de la corriente de cortocircuito del módulo medida en CEM $\pm 2\%$. Después de 1 h se mide la temperatura de cada diodo de derivación. Utilizando la información suministrada por el fabricante de diodos, se calcula la temperatura de la unión a partir de la temperatura medida en la caja y la potencia disipada en el diodo, usando la siguiente fórmula:

$$T_J = T_{\text{caja}} + R_{\text{THjc}} \cdot U_D \cdot I_D$$

donde

T_J es la temperatura de unión del diodo;

T_{caja} es la temperatura medida de la caja del diodo;

R_{THjc} es el valor dado por el fabricante de la relación entre la temperatura de la unión y la temperatura de la caja del diodo;

U_D es el voltaje del diodo;

I_D es la intensidad de la corriente de corriente del diodo.

NOTA - Si el módulo contiene un disipador térmico específicamente diseñado para reducir la temperatura de operación del diodo, este ensayo puede realizarse a la temperatura que el disipador térmico alcanza bajo las condiciones de $1\ 000\text{ W.m}^{-2}$ y ambiente a $43\text{ °C} \pm 3\text{ °C}$ con ausencia de viento, en vez de a 75 °C .

- f) Se aumenta la intensidad de la corriente aplicada a 1,25 veces la intensidad de la corriente de cortocircuito del módulo medida en CEM, mientras se mantiene la temperatura del módulo a $75\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$. Se mantiene la corriente durante 1 h.

- g) Se verifica que el diodo sigue operativo.

NOTA El funcionamiento del diodo puede comprobarse usando el ensayo consecutivo de resistencia a la formación de puntos calientes (apartado 10.9).

10.18.4 Mediciones finales

Se repiten los ensayos de los apartados 10.1, 10.2 y 10.3.

10.18.5 Requisitos

Los requisitos son los siguientes:

- la temperatura de la unión de diodo determinada en el punto e) del apartado 10.18.3 no debe superar la temperatura máxima asignada por el fabricante para la unión del diodo;
- no debe haber evidencia de defectos visuales importantes, según se definen en la cláusula 7;
- la degradación de la potencia de salida máxima no debe superar el 5 % del valor medido antes del ensayo;
- la resistencia de aislamiento debe cumplir los mismos requisitos que para las mediciones iniciales;
- el diodo debe seguir funcionando como tal después de la conclusión del ensayo.

Anexo A
(informativo)

**CAMBIOS EN ESTA SEGUNDA EDICION RESPECTO A LA PRIMERA EDICION DE LA NORMA
IEC 61215**

- a) El apartado 10.15 (Ensayo de torsión) ha sido suprimido.
Este ensayo se desarrolló en un principio para asegurar la conformidad con un sistema de montaje de diseño JPL. Los resultados de laboratorios de ensayo han demostrado que ningún tipo de módulo ha fallado nunca este ensayo.
- b) Se ha incluido un nuevo apartado 10.15 (Ensayo de corriente de fugas del módulo mojado).
Se realiza con los ensayos iniciales y finales y transcurridos entre 2 h y 4 h después de haber salido de la cámara de calor húmedo.
Este es un añadido importante a la Norma IEC 61646. Identifica los pequeños poros y exfoliaciones que no son detectables por inspección visual.
- e) Se ha añadido el apartado nuevo 10.18. (Ensayo térmico del diodo de derivación).

Los fallos en operación real de los diodos de derivación van frecuentemente asociados al sobrecalentamiento. Este ensayo determina qué temperatura alcanza el diodo de derivación en las condiciones del caso peor y compara esa temperatura con su temperatura límite asignado.

En el apartado 8 (Informe) se han añadido los requisitos para la Norma ISO/IEC 17025.

El apartado 10.2 se denomina ahora "Determinación de la potencia máxima".

Esto permite al laboratorio de ensayos seleccionar un conjunto de condiciones diferentes de las CEM para las medidas iniciales y finales. Se ha hecho para aumentar la repetitividad y para minimizar las traslaciones, especialmente en el caso de medidas en exterior.

El apartado 10.3 (Ensayo de aislamiento) ha sido modificado de forma que los criterios de aceptación/no aceptación pasan a depender del área del módulo.

En el apartado 10.4 se incluye ahora un método de ensayo en exterior y se hace referencia a la Norma IEC 60904-10.
- h) En el apartado 10.5 se ha modificado la medición de la TONC para una mayor claridad; se utiliza un ángulo de inclinación de 45 ° en lugar del ángulo de inclinación igual a la latitud.
- l) El apartado 10.6 se titula ahora "Comportamiento a CEM y TONC" ya que el apartado 10.2 no se limita a las CEM.
- j) El apartado 10.10 se titula ahora "Ensayo de precondicionamiento con UV".
Se usan los niveles de exposición utilizados originalmente y no los especificados en la Norma IEC 61345.
- k) Se han modificado los apartados 10.11 (Ensayo de ciclos térmicos) y 10.12 (Ensayo de humedad-congelación) para eliminar el requisito de vigilancia para la detección de fallos de puesta

a tierra durante estos ensayos. Esta modificación la propusieron varios laboratorios de ensayo, argumentando que este era un requisito difícil y que nunca habían observado un fallo de ese tipo.

Se ha considerado que cualquier derivación a tierra se observaría en los ensayos consecutivos de aislamiento en seco o de corriente de fugas del módulo mojado.

l) Se ha modificado el apartado 10.11 (Ensayos de ciclos térmicos) con el fin de añadir un requisito para la circulación de la corriente a la potencia pico a través del módulo, cuando este está a una temperatura por encima de la temperatura ambiente. Se ha adoptado este procedimiento para simular un fallo en funcionamiento real que no sería identificado con ciclos térmicos sin flujo de corriente, pero que sí causaría fallos con flujo de corriente. Este es un ensayo realista, ya que el módulo transportaría corrientes durante la mayoría de los días calurosos y soleados.

m) Se ha modificado el apartado 10.12 (Ensayo de humedad-congelación) con el fin de eliminar el método de las dos cámaras. Ninguno de los principales laboratorios de ensayo utiliza el método de las dos cámaras y se argumentó que el nivel de exigencia del ensayo sería considerablemente diferente si este fuera utilizado.

n) Se ha modificado el apartado 10.16 (Ensayo de carga mecánica) con el fin de añadir un tercer ciclo y planificar el ensayo opcional con una mayor carga de nieve. El ciclo adicional se ha añadido por la existencia de informes de fallos en módulos ocurridos durante el tercer ciclo, que es requerido por el ensayo de carga mecánica de ASTM.

Anexo ZA
(normativo)

OTRAS NORMAS INTERNACIONALES CITADAS EN ESTA NORMA CON LAS REFERENCIAS DE LAS NORMAS EUROPEAS CORRESPONDIENTES

Las normas que a continuación se indican son indispensables para la aplicación de esta norma. Para las referencias con fecha, sólo se aplica la edición citada. Para las referencias sin fecha se aplica la última edición de la norma (incluyendo cualquier modificación de esta).

NOTA Cuando una norma internacional haya sido modificada por modificaciones comunes CENELEC, indicado por (mod), se aplica la EN/HD correspondiente.

Norma Internacional	Fecha	Título	EN/HD	Fecha	Norma UNE correspondiente¹
IEC 60068-1	1988	Ensayos ambientales. Parte 1: Generalidades y guía	EN 60068-12)	1994	UNE-EN 60068-1:1997
IEC 60068-2-21	1999	Ensayos ambientales. Parte 2-21: Ensayos. Ensayo U: Robustez de los terminales y de los dispositivos de fijación	EN 60068-2-21	1999	UNE-EN 60068-2-21:2000
IEC 60068-2-78	2001	Ensayos ambientales. Parte 2-78: Ensayos. Ensayo Cab: Calor húmedo, ensayo continuo	EN 60068-2-78	2001	UNE-EN 60068-2-78:2002
IEC 60410	1973	Planes de muestreo y procedimientos para la inspección por atributos			
IEC 60721-2-1	1982	Clasificación de las condiciones ambientales. Parte 2: Condiciones ambientales presentes en la naturaleza. Temperatura y humedad	HD 478.2.1 SI3)	1989	UNE 20675-2-1:1993
IEC 60891	1987	Procedimiento de corrección con la temperatura y la irradiancia de la característica I-V de dispositivos fotovoltaicos de silicio cristalino			
+ A1	1992		EN60891	1994	UNE-EN 60891:1994

IEC 60904-1	1987	Dispositivos fotovoltaicos. Parte 1: Medida de la característica intensidad-tensión de los módulos fotovoltaicos	EN 60904-1	1993	UNE-EN 60904-1:1994
IEC 60904-2	1989	Dispositivos fotovoltaicos. Parte 2: Requisitos de celdas solares de referencia	EN 60904-2	1993	UNE-EN 60904-2:1994
IEC 60904-3	1989	Dispositivos fotovoltaicos. Parte 3: Fundamentos de medida de dispositivos solares fotovoltaicos (FV) de uso terrestre con datos de irradiancia espectral de referencia	EN 60904-3	1993	UNE-EN 60904-3:1994
IEC 60904-6	1994	Dispositivos fotovoltaicos. Parte 6: Requisitos para los módulos solares de referencia	EN 60904-6	1994	UNE-EN 60904-6:1997
IEC 60904-7	1998	Dispositivos fotovoltaicos. Parte 7: Calculo del error introducido por desacoplo espectral en las medidas de un dispositivo fotovoltaico	EN 60904-7	1998	UNE-EN 60904-7:1999
IEC 60904-9	1995	Dispositivos fotovoltaicos. Parte 9: Requisitos de funcionamiento para los simuladores solares			
IEC 60904-10	1998	Dispositivos fotovoltaicos. Parte 10: Métodos de medida de la linealidad	EN 60904-10	1998	UNE-EN 60904-10:1999
IEC 61853	_4)	Evaluación de la potencia y la energía de los módulos fotovoltaicos			
ISO/IEC 17025	1999	Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración	EN ISO/IEC 17025	2000	UNE-EN ISO/IEC 17025:20005)

- 1) Esta columna se ha introducido en el anexo original de la norma europea únicamente con carácter informativo a nivel nacional.
- 2) La Norma EN 60068-1 incluye el corrigendum de octubre de 1988 + AI: 1992 a la Norma IEC 60068-1.
- 3) El Documento de Armonización HD 478.2.1 incluye la Modificación AI: 1987 a la Norma IEC 60721-2-1.
- 4) En preparación.
- 5) Existe una nueva edición UNE-EN ISO/IEC 17025:2005.