

Desempeño de los paneles fotovoltaicos en condiciones reales de operación

Universidad Nacional de Colombia



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

SEDE BOGOTÁ
FACULTAD DE INGENIERÍA

Laboratorio de Ensayos Eléctricos e Industriales (LABE)

Ing Rafael Ricardo Ávila Naranjo



Fabio Chaparro

ELÉCTRICOS INDUSTRIALES LABE

Contenido

1. Estudio del Espectro e Irradiancia incidentes en Bogotá para diferentes condiciones medioambientales

2. Muestra de las diferentes condiciones de Irradiancia y temperatura presentes en el País.

3. ¿Cómo afecta la temperatura de un panel en su desempeño?

4. Descripción de la normativa IEC 61215

5. Capacidad del Laboratorio en el desarrollo de pruebas en paneles fotovoltaicos

6. Bibliografía

2. Condiciones de irradiancia y temperatura promedios presentes en el país

► **Cartagena**

Temperatura Promedio Anual, 27°C

Temperatura

Irradiancia

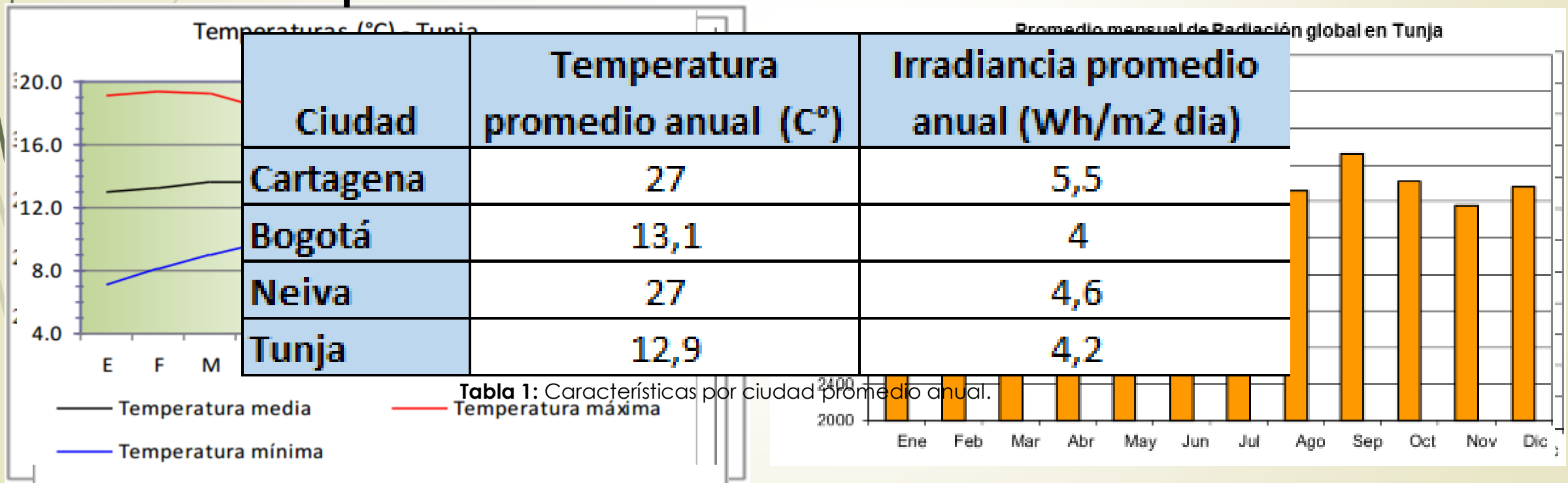


Imagen 1: Temperatura anual en Cartagena [1].

Imagen 2: Irradiancia anual en Cartagena [2].

3. ¿Cómo afecta la temperatura de un panel en su desempeño?

- ▶ Bajo cambio en la temperatura de operación en el panel

Irradiancia: 950 W/m²

temperatura (°C)	tensión (V)	potencia (W)
23,10	22,40	130,50
28,00	22,00	126,77
36,00	21,44	122,96

Tabla 2: datos técnicos de la prueba.

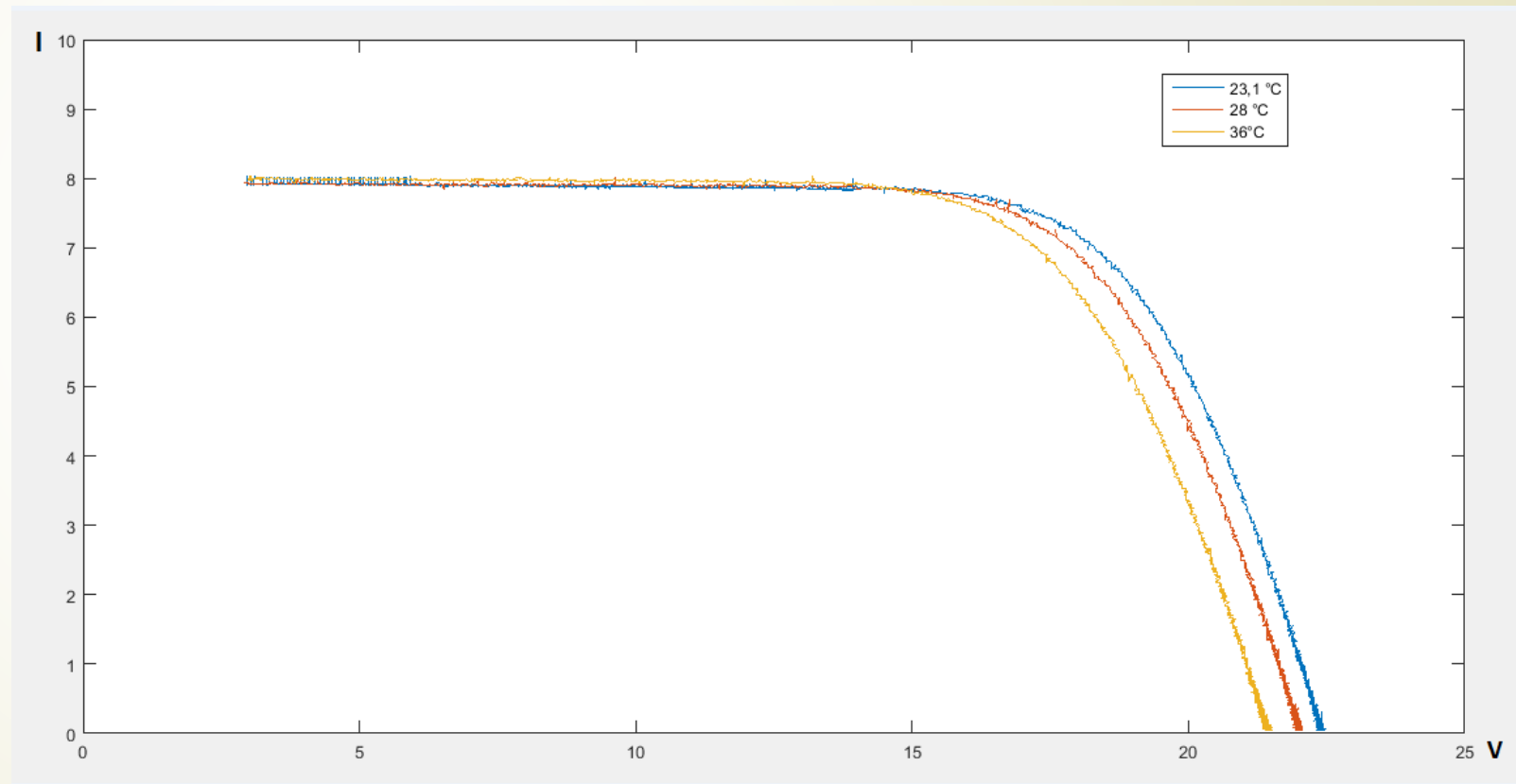


Imagen 9: Curvas I-V a diferentes temperaturas

3. ¿Cómo afecta la temperatura de un panel en su desempeño?

- cambio en la irradiancia incidente en el panel

Irradiancia (W/m ²)	Corriente (A)	Potencia max (W)
1220	11,09	376,78
1000	8,99	311,02
796	7,10	247,50

Imagen 11: datos técnicos de la prueba.

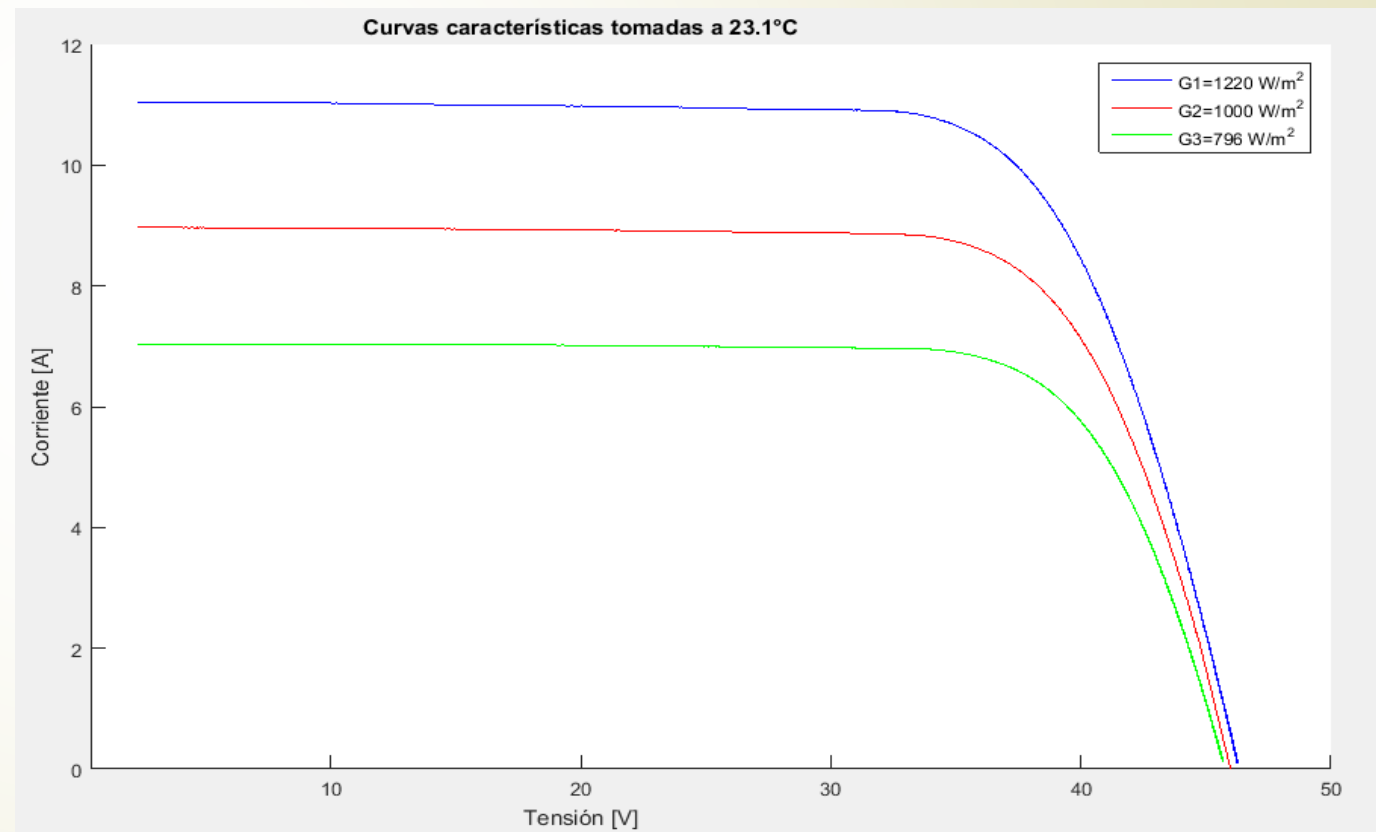


Imagen 12: Curvas I-V a diferentes irradiancias

3. ¿Cómo afecta la temperatura de un panel en su desempeño?

► Coeficientes de temperatura

relación a la cual decrece la eficiencia de un panel fotovoltaico por cada °C de más presente, por encima de la temperatura estándar de 25 °C

Valores típicos de coeficientes de temperatura		
Coeficiente de corriente de corto circuito (α) [%/°C]	Coeficiente de tensión de circuito abierto (β) [%/°C]	Coeficiente de punto de máxima potencia (γ) [%/°C]
0,05	-0,35	-0,4

Tabla 3: Valores de coeficientes típicos de temperatura.

4. Descripción de la normativa IEC 61215

- Inspección Visual
- Determinación del máximo punto de potencia
- Prueba de aislamiento eléctrico
- Medición de los coeficientes de temperatura
- Medición de la temperatura nominal de operación (NOCT)
- Desempeño a baja irradiancia
- Prueba de Exposición en el exterior
- Prueba de puntos calientes
- Prueba de pre acondicionamiento con exposición UV



4.

Descripción de la normativa IEC 61215

- ▶ Pruebas de ciclado térmicos
- ▶ Prueba de humedad – Congelamiento
- ▶ Prueba de calor húmedo
- ▶ Prueba de la robustez de los terminales
- ▶ Prueba de corriente de fuga
- ▶ Prueba de carga mecánica
- ▶ Prueba de impacto por granizo
- ▶ Prueba térmica de diodo Bypass



5. Capacidad del Laboratorio en el desarrollo de pruebas en paneles fotovoltaicos

Inspección Visual

- ▶ Área despejada que cuente con nivel de iluminación en la superficie del Módulo de 1000 lx.
- ▶ Se revisan los parámetros de la placa del fabricante y defectos visuales.
- ▶ En caso de no cumplirse alguno de los criterios, se anotan los detalles de la inconformidad en su respectiva casilla.
- ▶ De ser necesario soporte fotográfico se adjunta la imagen numerada, acompañada de su respectiva aclaración.



5. Inspección visual

Datos requeridos en la placa del fabricante

- Nombre comercial del fabricante.
- Denominación del tipo o número de modelo.
- Fecha y lugar de fabricación; alternativamente numero serial.
- Tensión máxima del sistema.
- Clase de protección contra descargas eléctricas.
- Tensión en circuito abierto (V_{OC}) y tolerancias finales.
- Corriente de corto circuito (I_{SC}) y tolerancias finales.
- Máxima potencia (P_{MAX}) y tolerancias finales.
- Datos eléctricos a condiciones de prueba estándar (1000 W/m², 25 °C, AM 1,5).
- Verificación del uso de símbolos internacionales.

Nombre del Fabricante

100W Polycrystalline Photovoltaic Solar Panel

Part #: Numero serial

Maximum Power (Pmax): 100 Watts
Open Circuit Voltage (Voc): 21.60 Volts
Short Circuit Current (Isc): 6.32 Amps
Max Power Voltage (Vpm): 17.40 Volts
Max Power Current (Imp): 5.75 Amps
Max System Voltage: 1000 VDC (600 VDC UL)

Dimensions: 40.0" x 26.4" x 1.2"
[1015mm x 670mm x 30mm]

Weight: 18.7 lbs [8.5kg]

Max Series Fuse Rating: 8 Amps

Nom Operating Cell Temp: 48 C [+/-2]



5. Inspección visual

Datos requeridos en inspección de defectos visuales

- ▶ Superficies externas rotas, agrietadas, rasgadas, dobladas o mal alineadas, incluyendo sustratos, marcos y unión.
- ▶ Burbujas o delaminaciones entre el circuito eléctrico y el borde del módulo.
- ▶ La sumatoria del área de todas las burbujas presentadas no debe superar el 1% de la superficie total del módulo.
- ▶ Evidencia de cualquier encapsulante fundido en el frente posterior o frontal del módulo.
- ▶ Células agrietadas o rotas.
- ▶ Huecos o corrosión visible de cualquiera de las capas del circuito activo.
- ▶ Conexiones, uniones o terminales rotas.
- ▶ Corto circuito en partes eléctricas energizadas o partes expuestas a ser energizadas.
- ▶ Verificar que la marca del módulo (etiqueta) esté disponible y que la información sea legible.



5. Aislamiento eléctrico

- ▶ Colocar la muestra tal que se garantice una fácil manipulación y ausencia de contacto eléctrico con cualquier otro material.
- ▶ Se deben conectar los terminales del Módulo entre sí (Cortocircuitar)
- ▶ Se conecta el terminal positivo del generador al punto de conexión de los terminales del Módulo.
- ▶ Se conecta el terminal negativo del generador al marco de aluminio del módulo.
- ▶ Para módulos con tensión de circuito abierto mayor a 50 VDC se debe aplicar una tensión de 1000 V D.C. más dos veces la tensión máxima del módulo. Para módulos con una tensión menor a 50 V D.C. se debe aplicar una tensión de 500 VDC.
- ▶ Se aplica dicha tensión por 1 min, si no se presenta disrupción en ese tiempo, se debe exponer nuevamente el panel a la misma tensión por 2 minutos.
- ▶ Se mide la resistencia de aislamiento eléctrico del panel.



5.

Determinación del punto de máxima potencia

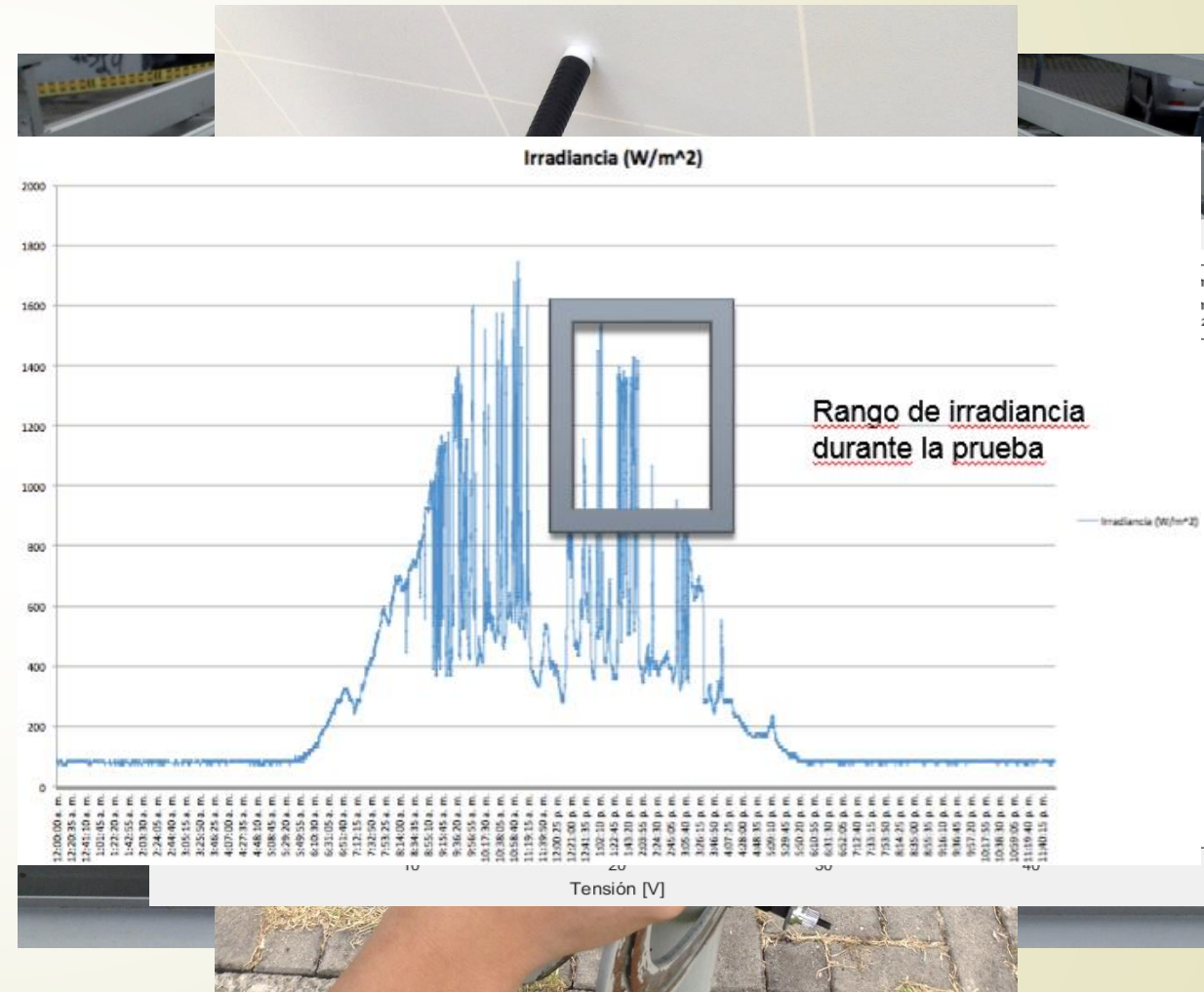
Condiciones generales del ensayo:

- Mediciones de irradiancia con dispositivo fotovoltaico de referencia calibrado, coplanar.
- Medición de temperatura: Precisión de $\pm 1\%$ con repetitividad de $\pm 0.5\%$.
- Mediciones de Tensión y Corriente:

Precisión de $\pm 0.2\%$ de la tensión de circuito abierto.

Precisión de $\pm 0.2\%$ de la corriente de cortocircuito.

- La corriente de cortocircuito debe de ser extrapolada de las características de corriente-tensión. La curva es extrapolada a tensión cero siempre y cuando la caída de tensión sea menor a un 3% de la tensión de circuito abierto.
- La prueba se debe realizar cuando la irradiancia total no fluctuó más del $\pm 1\%$.
- La precisión del procedimiento de la corrección de irradiancia y temperatura conforme a IEC 60891 debe de ser comprobada periódicamente.



5.

Coeficientes de temperatura

Ejecución de la prueba:

- Disponer del módulo a una temperatura menor o igual a 20 °C.
- Inicialmente se toman dos mediciones:
 - Irradiancia menor a 1000 W/m^2
 - Irradiancia mayor a 1000 W/m^2
- Posteriormente se permite calentar el panel y se toman nuevamente dos curvas.
- Esto durante 4 ocasiones en donde se garanticen intervalos constantes para un rango entre 20 °C y 50 °C.
- Con las mediciones se hace interpolación de las curvas tomadas misma temperatura con diferentes niveles de Irradiancia.
- Se discrimina la pendiente de la recta obtenida y se realiza conversión porcentual tomando como 100 % el valor nominal máximo de la variable.

- Se obtiene:

Coeficiente de temperatura de corriente (α)

Coeficiente de temperatura de tensión (β)

Coeficiente de temperatura de potencia (δ)

5.

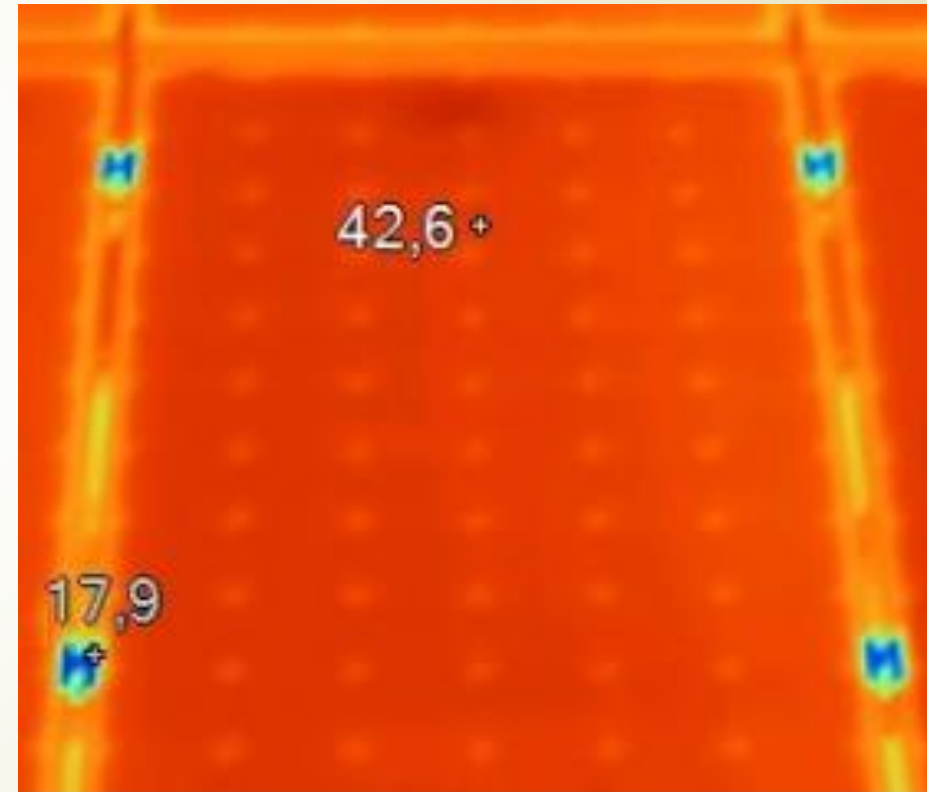
Coeficientes de temperatura

MEDICIONES						
Temperatura	Condiciones radiación solar			Prueba		
22 °C	Alta (1)	Baja (2)	Alta o baja (3)	P. M. P.		Linealidad
28 °C	Alta (4)	Baja (5)	Alta o baja (6)			
33 °C	Alta (7)	Baja (8)		C. T.		
38 °C	Alta (9)	Baja (10)				
43 °C	Alta (11)	Baja (12)				

5.

Temperatura nominal de operación (NOCT)

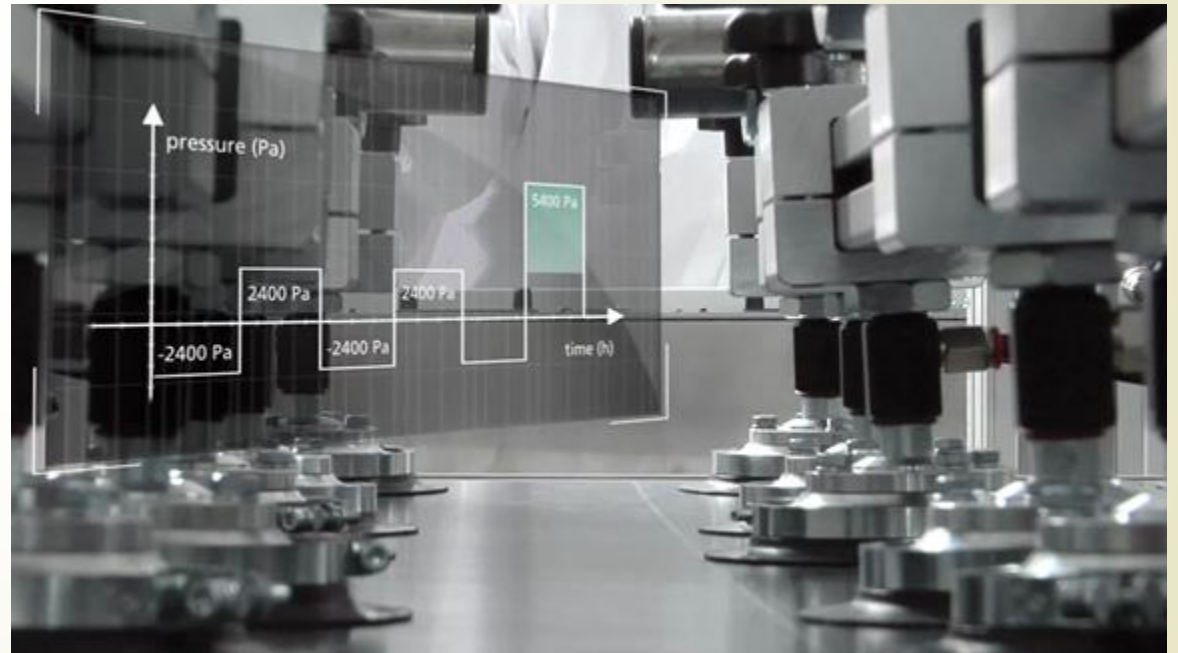
- ▶ El módulo de prueba debe de estar inclinado a $45^\circ \pm 5^\circ$ con respecto a la horizontal y estar al menos 0,6 m por encima del plano de referencia horizontal
- ▶ Tomar un mínimo de 10 puntos aceptables cubriendo un rango de irradiancia de al menos 300 W/m^2 , asegurándose que los datos sean tomados antes y después del medio día, graficar $(T_p - T_{amb})$ y desarrollar una regresión lineal
- ▶ Determinar el valor de $(T_p - T_{amb})$ a 800 Wm^2 y adicionar 20°C para dar el valor preliminar de la temperatura a NOCT
- ▶ Calculo del promedio de la T_{amb} y el promedio de la velocidad de viento en los periodos donde se desarrollaron las mediciones, aplicar el factor de corrección y aplicarlo al dato de temperatura a NOCT
- ▶ Repetir el procedimiento durante tres días y sacar el promedio de los resultados dados.



5.

Ensayo de carga mecánica

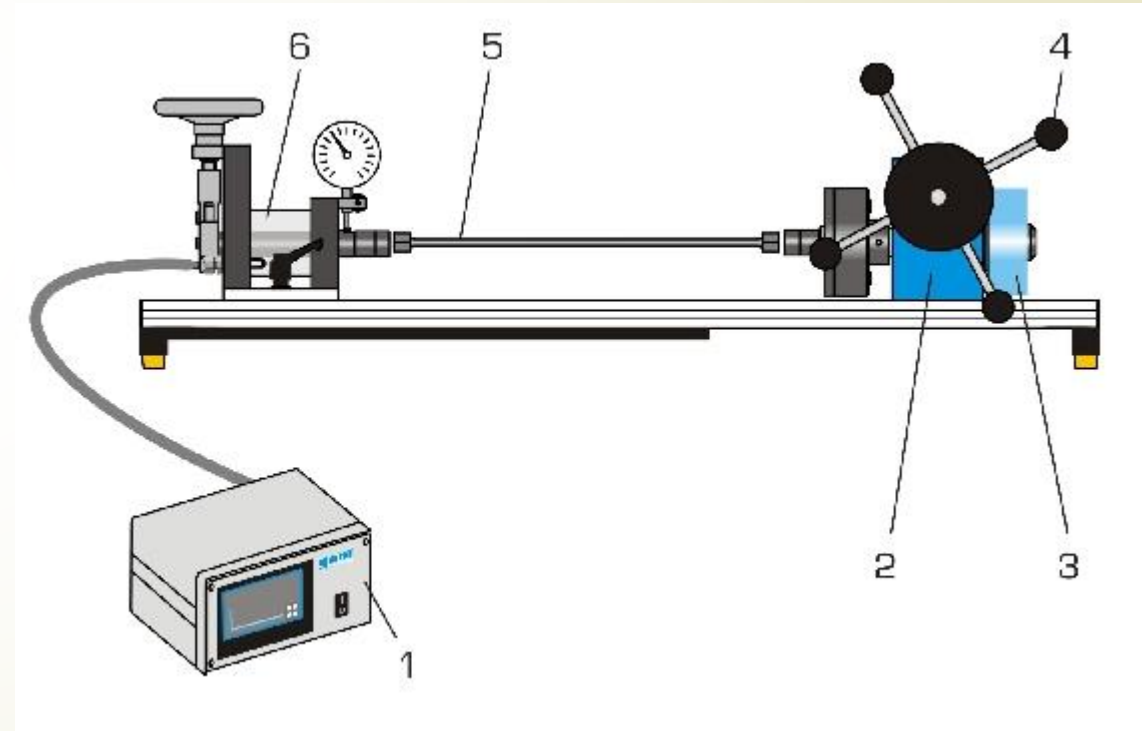
- ▶ El panel fotovoltaico es ubicado horizontalmente mientras que se le aplica de forma gradual carga uniforme distribuida, hasta inducir en la superficie una presión de 2400 Pa
- ▶ Dicha condición se mantiene durante 1 hora
- ▶ Se repite en 3 ciclos por ambas caras del módulo
- ▶ Una vez desarrollada esta prueba, se procede a desarrollar pruebas de máximo punto de potencia, aislamiento eléctrico e inspección visual



5.

Ensayo de torsión

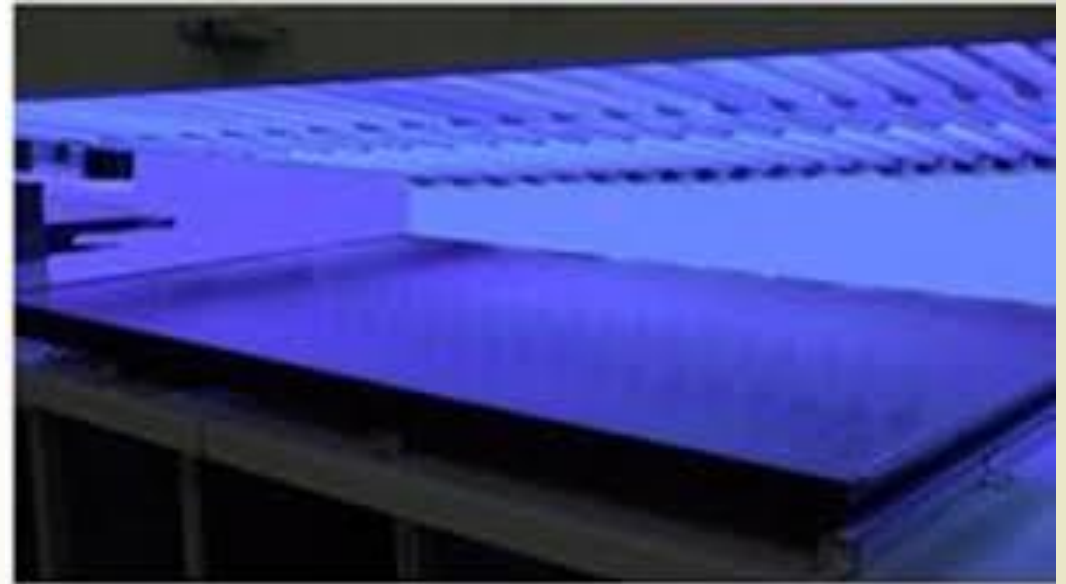
- ▶ Se somete el módulo a un efecto de torsión inducido mediante el cambio de inclinación de uno de los laterales mientras que el otro se encuentra fijo
- ▶ Se ubica el módulo en una estructura con una inclinación de 0°
- ▶ Se aplica una presión en una de las esquinas de tal forma que haya una inclinación respecto al lado fijo de $1,2^\circ$
- ▶ Esta presión se aplica durante el periodo de 1 h, en donde se monitorea continuamente la condición de circuito abierto en búsqueda de fallos



5.

Ensayo de exposición UV

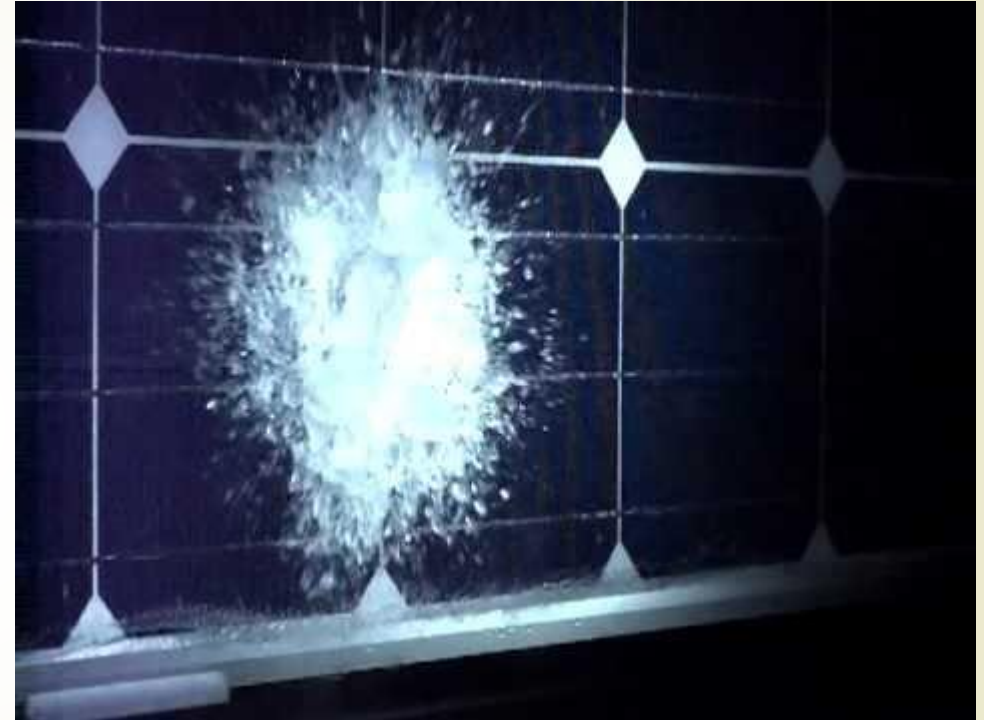
- ▶ Se expone el módulo fotovoltaico a cantidades de irradiancia no mayores de 250 W/m^2 con una longitud de onda de 280 nm a 385 nm
- ▶ El panel fotovoltaico debe estar a una temperatura de $60 \text{ }^\circ\text{C} \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$
- ▶ Se debe someter el panel a 15 kWh/m^2 en las longitudes de onda entre 285 nm y 385 nm , de los cuales al menos 5 kWh/m^2 deben ser a una longitud de onda de 280 nm a 320 nm
- ▶ Una vez desarrollada esta prueba, se procede a desarrollar pruebas de máximo punto de potencia, aislamiento eléctrico e inspección visual



5.

Ensayo de impacto

- Se ubica el módulo fotovoltaico de tal forma que quede perpendicular a la trayectoria de los proyectiles
- Se dispone a disparar proyectiles de hielo de diámetro y velocidades acorde con la tabla
- Se hace un total de 11 disparos en posiciones específicas de acuerdo con la normativa
- Una vez expuesto el panel a los impactos, se desarrollan las pruebas de máximo punto de potencia, aislamiento eléctrico e inspección visual

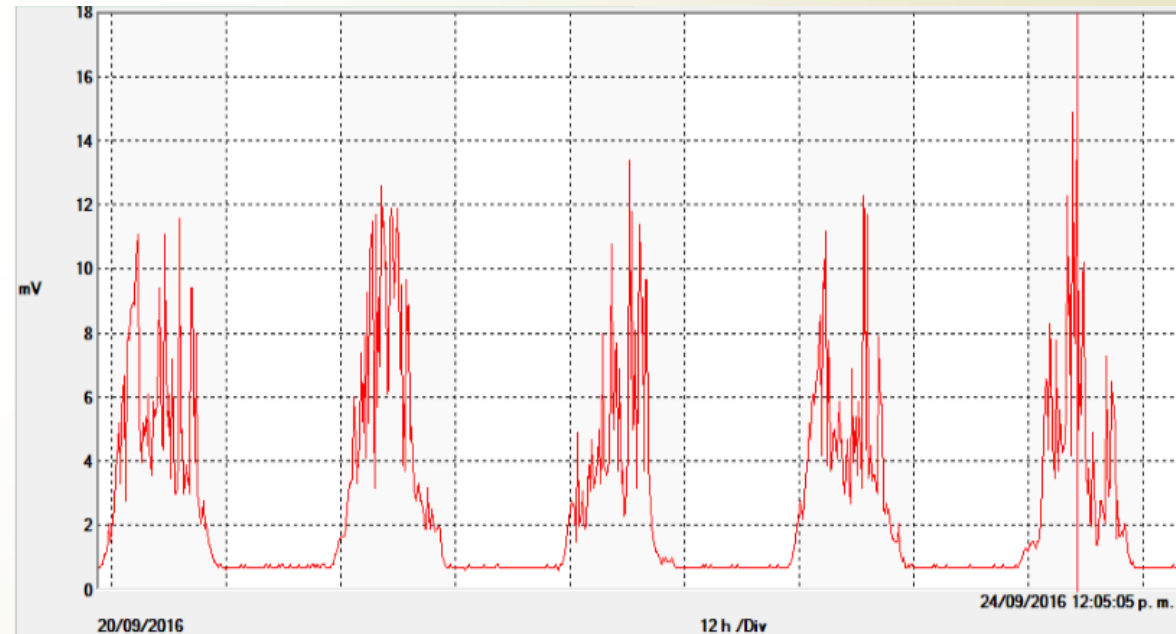


Diameter mm	Mass g	Test velocity m·s ⁻¹	Diameter mm	Mass g	Test velocity m·s ⁻¹
12,5	0,94	16,0	45	43,9	30,7
15	1,63	17,8	55	80,2	33,9
25	7,53	23,0	65	132,0	36,7
35	20,7	27,2	75	203,0	39,5

5.

Evaluación de potencial de radiación solar

- ▶ Se instalan un dispositivo capaz de medir la radiación en el lugar de interés
- ▶ Dicho dispositivo esta en la capacidad de enviar los datos en tiempo real a un servidor
- ▶ Los datos están en la capacidad de ser consultados en tiempo real por un dispositivo con acceso a internet
- ▶ Después de un periodo de muestreo considerable se esta en la capacidad determinar el potencial energético solar del lugar y de esta manera evaluar el potencial para la implementación de un posible proyecto de energía solar





¡Gracias!

6. Bibliografía

- Normativa: IEC 61215 “Crystalline silicon terrestrial photovoltaic (PV) modules – Design qualification and type approval”
- Normativa: ASTM E1830 “Standard test methods for determining mechanical integrity of photovoltaic modules.”