# MEDICIONES PARA INSTALACIÓN, MANTENIMIENTO Y PUESTA EN MARCHA DE SISTEMAS FOTOVOLTÁICOS




Ing. Ethel Zangari
Ing. Harold Dávalos

PBTECHNOLOGIES

PBTECHNOLOGIES

# Contenido


- Introducción
- Norma IEC 62446-1
- Otras Normativas para sistemas PV
- Orden e intervalo de inspección
- Pruebas de Categoría 1
- Pruebas de Categoría 2
- Pruebas funcionales
- Curva I-V
- Termografía
- Pruebas adicionales
- Instrumentos de Medición




PBTECHNOLOGIES

# Introducción

Para evaluar el estado de las instalaciones fotovoltaicas son imprescindibles inspecciones, pruebas y mediciones. Como documento de referencia para esta evaluación se utiliza la normativa **IEC 62446-1**, donde se define el método y el alcance de la inspección de seguridad de las instalaciones fotovoltaicas.

Si se respetan estas directrices, se reduce el riesgo de descarga eléctrica o incendio.






PBTECHNOLOGIES

PBTECHNOLOGIES

# IEC 62446-1

Esta Norma describe la operación y mantenimiento de SFV

## Objetivos

- Evaluar aspectos críticos de los equipos y componentes de los sistemas fotovoltaicos.
- Identificar las actividades de mantenimiento preventivo
- Comprender el procedimiento a seguir antes, durante y después de la intervención del Equipo de O&M
- Identificar fallas, proponer indicadores de rendimiento de la planta y abordarlas con un mantenimiento predictivo
- Determinar y seguir prácticas de seguridad probadas en la ejecución del mantenimiento.
- Entender las capacidades requeridas y competencias profesionales del personal a cargo de realizar trabajos en el SFV.
- Entender cómo realizar un monitoreo de las pérdidas por suciedad.




PBTECHNOLOGIES

# Otras Normativas

Normas relacionadas con la verificación de la Energía Fotovoltáica

01 **IEC 60364,** Establece las normas para el diseño, instalación y verificación de instalaciones eléctricas. Su objetivo es garantizar la seguridad de las personas, los bienes y el medio ambiente.

02 **IEC 60364-6,** Orientado a instalaciones eléctrias de baja tensión (Parte 6, Verificación)

03 **IEC 60364-7-712**, Requisitos para instalaciones o ubicaciones especiales
- Sistemas de suministro de energía solar PV

04 **IEC 62446-1,** Sistemas conectados a la red: Documentación, pruebas de puesta en servicio e inspección.

PBT TECHNOLOGIES

# Otras Normativas

Normas relacionadas con la verificación de la Energía Fotovoltáica

05 **IEC 62446-2,** Sistemas conectados a la red: Mantenimiento de sistemas fotovoltáicos

06 **EN 61557,** Seguridad eléctrica en redes de baja tensión hasta 1000 VAC y 1500 VDC

07 **IEC 61730**, Cualificación de seguridad de los módulos fotovoltáicos (PV)

08 **HD 62305-3:2011,** protección contra descargas atmosféricas y rayos

IEC TS 62445:2013, EN 61724:2002, HD 60364-4 443:2016, ....

PPB TECHNOLOGIES

PBTECHNOLOGIES

# Inspecciones en sistemas PV

**Comprobar** que los equipos eléctricos se han seleccionado e instalado de forma correcta y que no se han detectado irregularidades ni componentes dañados.

**Para prevenir** un aumento del riesgo de incendio, una reducción de la seguridad operativa y una disminución de la vida útil de las instalaciones.

## Inspecciones

- Intervalos de inspección acorde a las indicaciones del fabricante
- Histórico de inspecciones
- EN 62446-2
- Legislación nacional

## Pruebas

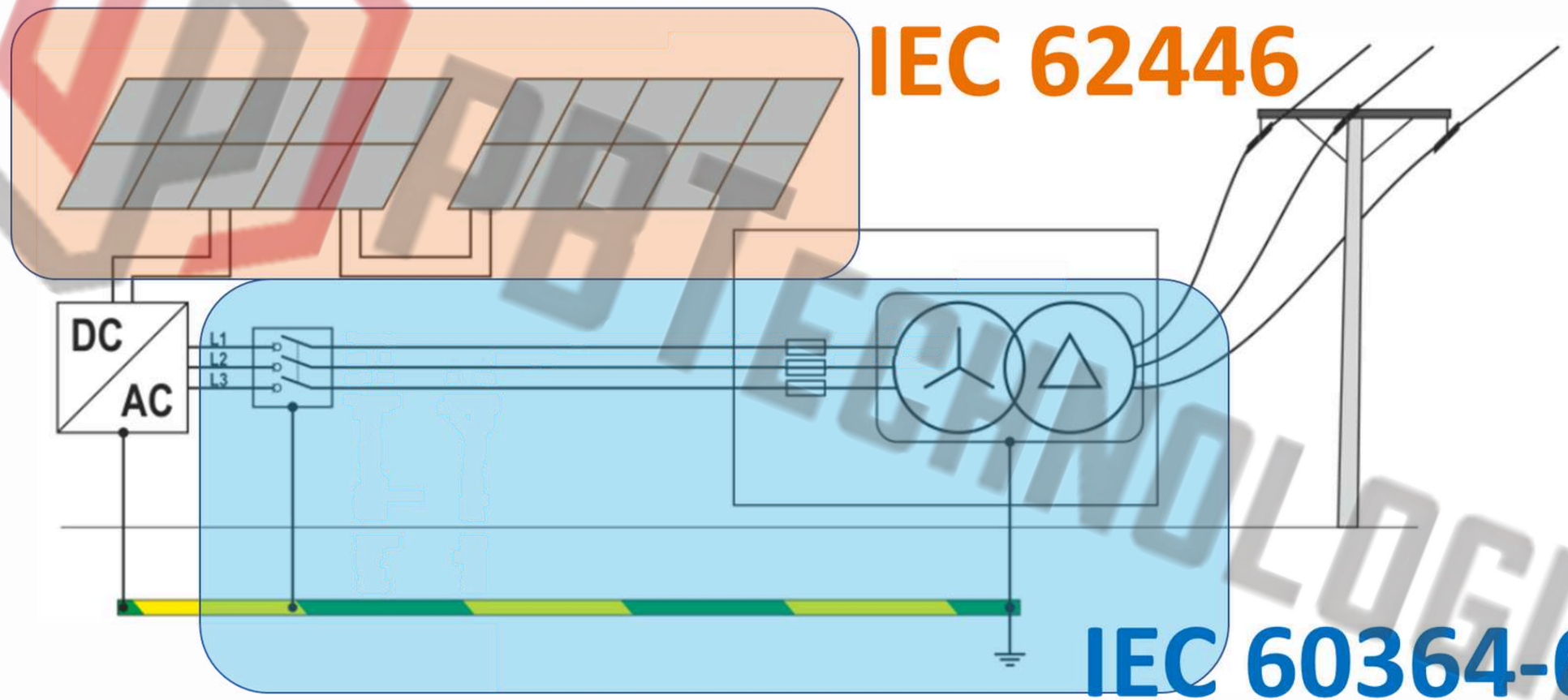
- Acordes a la normativa IEC 62446-1
- Pruebas de Categoría 1
- Pruebas de Categoría 2
- Pruebas adicionales

## Mediciones

- Continuidad de las conexiones de seguridad
- Prueba de polaridad
- Pruebas de conexión en las cajas de derivación de CC
- Otras



# INSTALACIONES FOTOVOLTAICAS PV




PBT TECHNOLOGIES

# VERIFICACIÓN



## Inspección Visual

Inspeccionar la instalación eléctrica con todos los sentidos, para garantizar que el equipo eléctrico haya sido seleccionado e instalado correctamente.



## AC - HD 60364-6

Verificación previa a la puesta en servicio de la instalación, siguiendo la metodología de la norma UNE-HD 60364-6 (Antes  UNE 60364-6-6)



## DC - EN 62446-1

Requisitos para ensayo, inspección, documentación  y mantenimiento de sistemas PV, conectados a la red



# Tipos de ensayo, según EN 62446-1

**PRUEBAS DE CATEGORÍA 1**

Todas las instalaciones, independientemente de su tamaño:

1. Continuidad de conexión RCONT.
2. Resistencia de tierra RE.
3. Voltaje de Circuito Abierto UOC.
4. Corriente de Cortocircuito ISC.
5. Resistencia de Aislamiento RISO PV.
6. Prueba del inversor: corriente y potencia en el lado de CA y CC y la eficiencia del inversor.






# Tipos de ensayo, según EN 62446-1

**PRUEBAS DE CATEGORÍA 1**
Con el **NUEVO PVM-1530** de **SONEL:**

1. Inspección visual.
2. Continuidad de conexión RCONT.
3. Polaridad.
4. Voltaje de Circuito Abierto UOC.
5. Corriente de Cortocircuito ISC.
6. Resistencia de Aislamiento RISO PV.
7. Pruebas funcionales.
8. Resistencia de Aislamiento en el lado DC

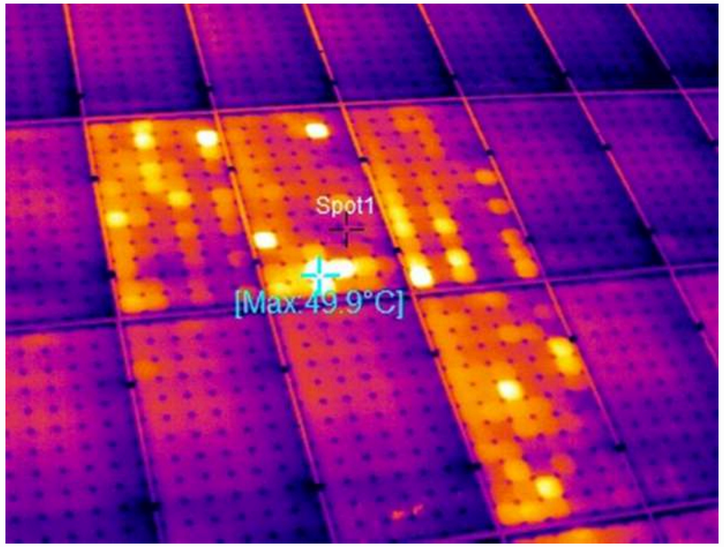


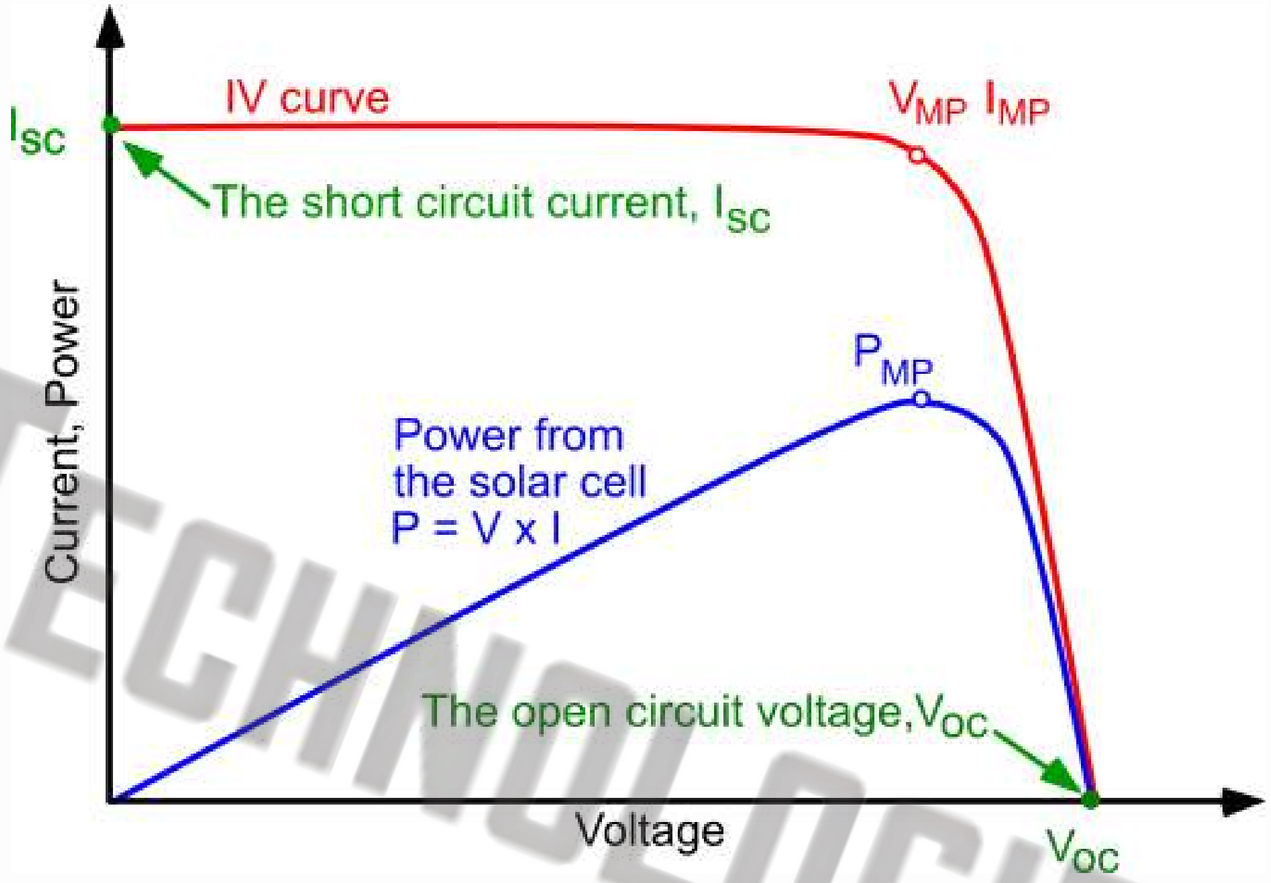
# Tipos de ensayo, según EN 62446-1

**PRUEBAS DE CATEGORÍA 2**

Pruebas extendidas posteriores a las pruebas de CATEGORÏA 2:

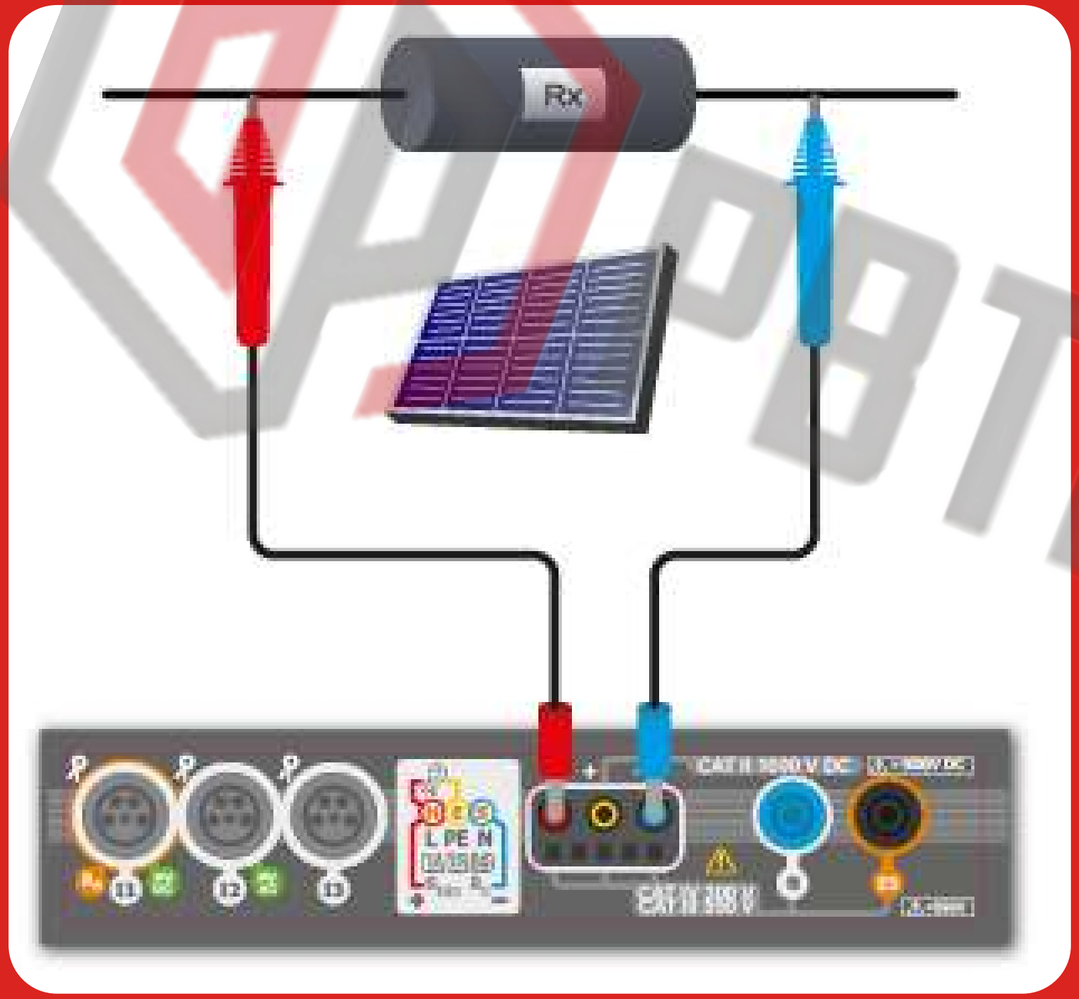
1. Curva I-V.
2. Análisis térmico.




PRUEBAS DE
CATEGORÍA 1

# CONTINUIDAD DE LAS CONEXIONES

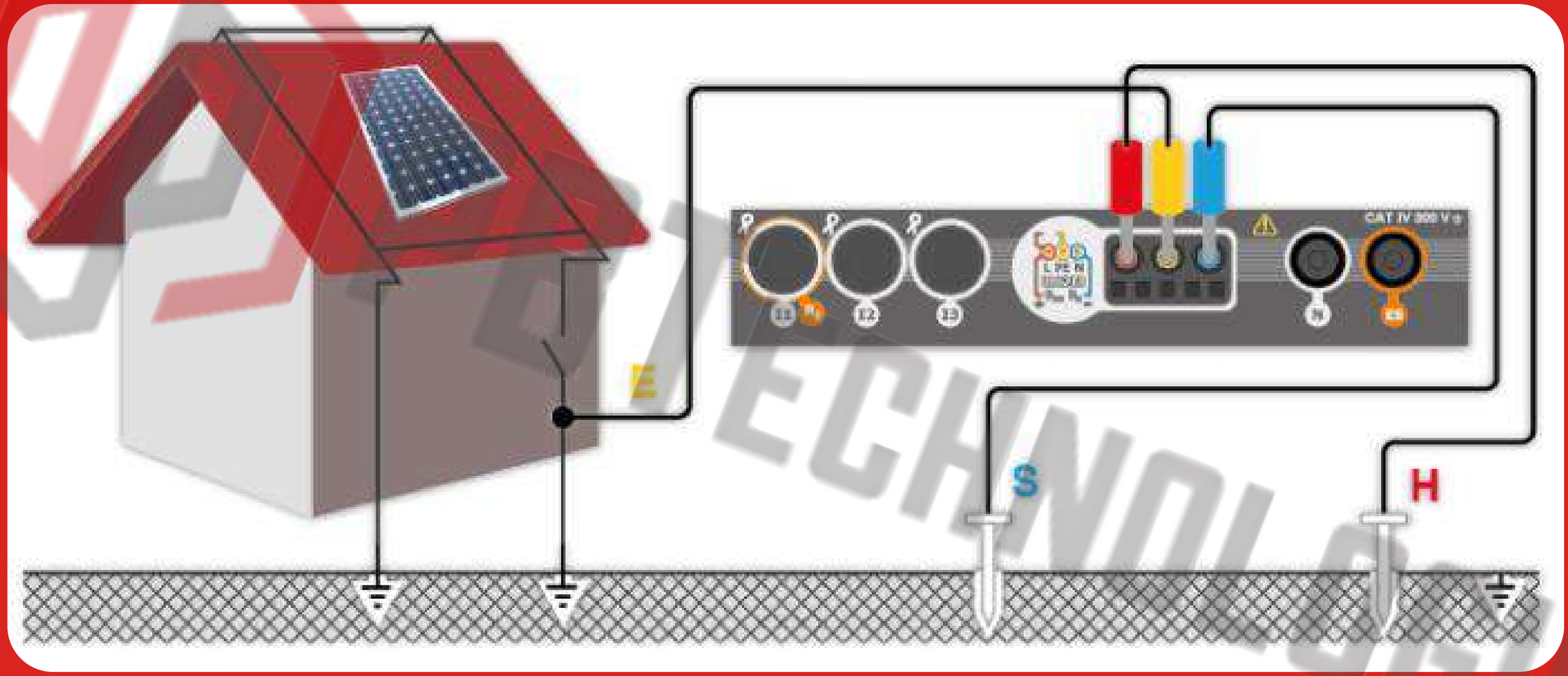








# RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA




$R_E$

# POLARIDAD



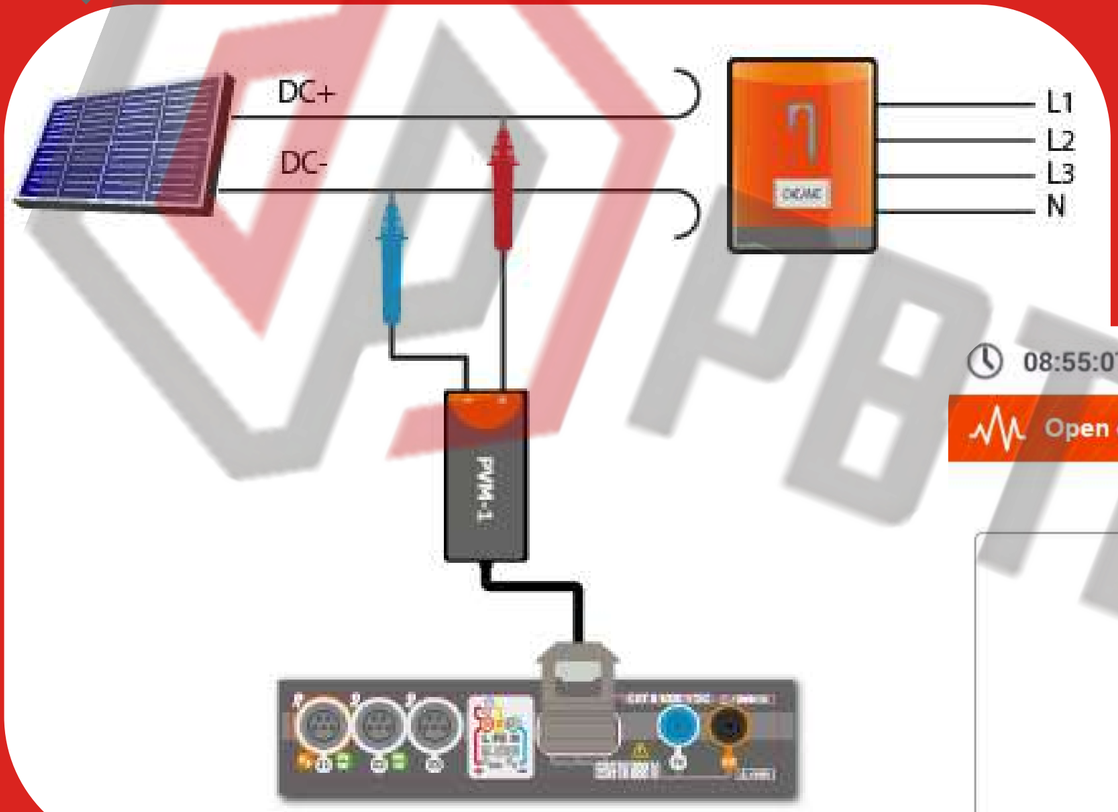
PBTECHNOLOGIES

# PRUEBA DE POLARIDAD EN LOS STRINGS

La polaridad de las cadenas fotovoltaicas ( string ) se puede probar mediante un multímetro digital entre positivo y negativo, o entre uno de los polos y tierra, y verificando que todos los valores medidos sean consistentemente positivos o negativos.



# TENSIÓN DE CIRCUITO ABIERTO $U_{OC}$

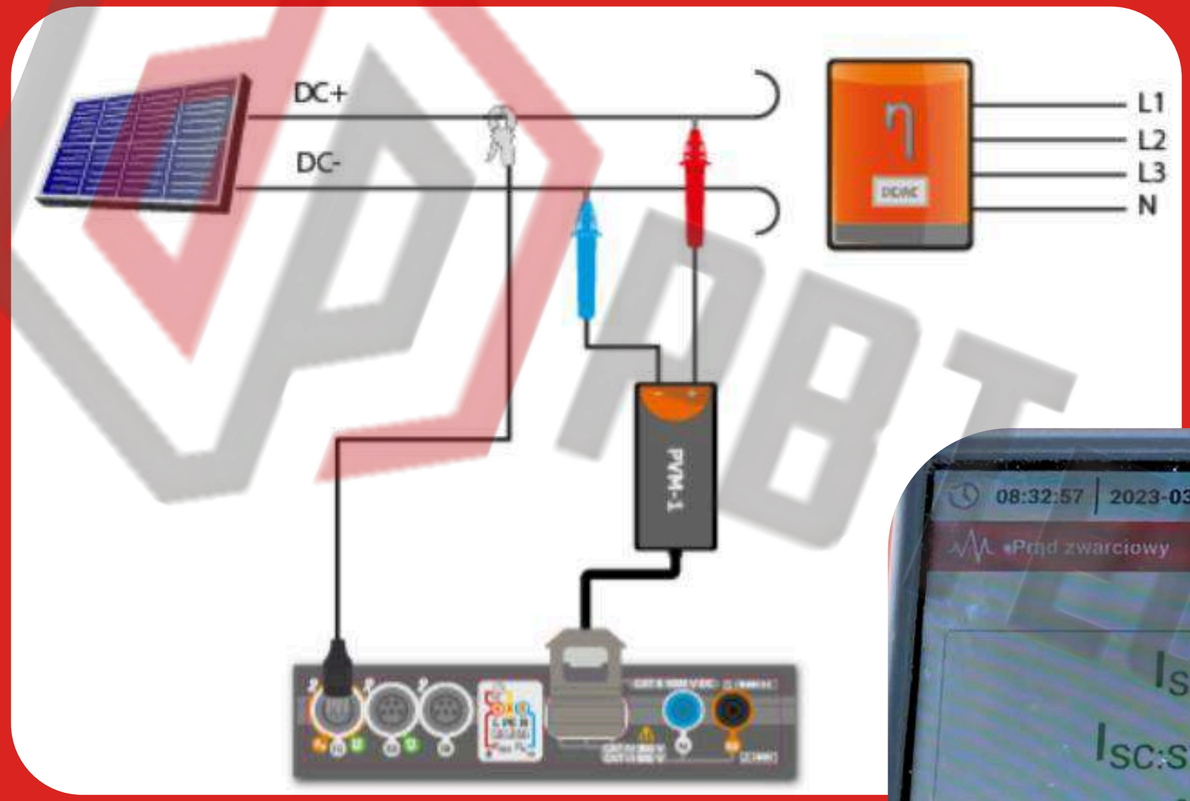






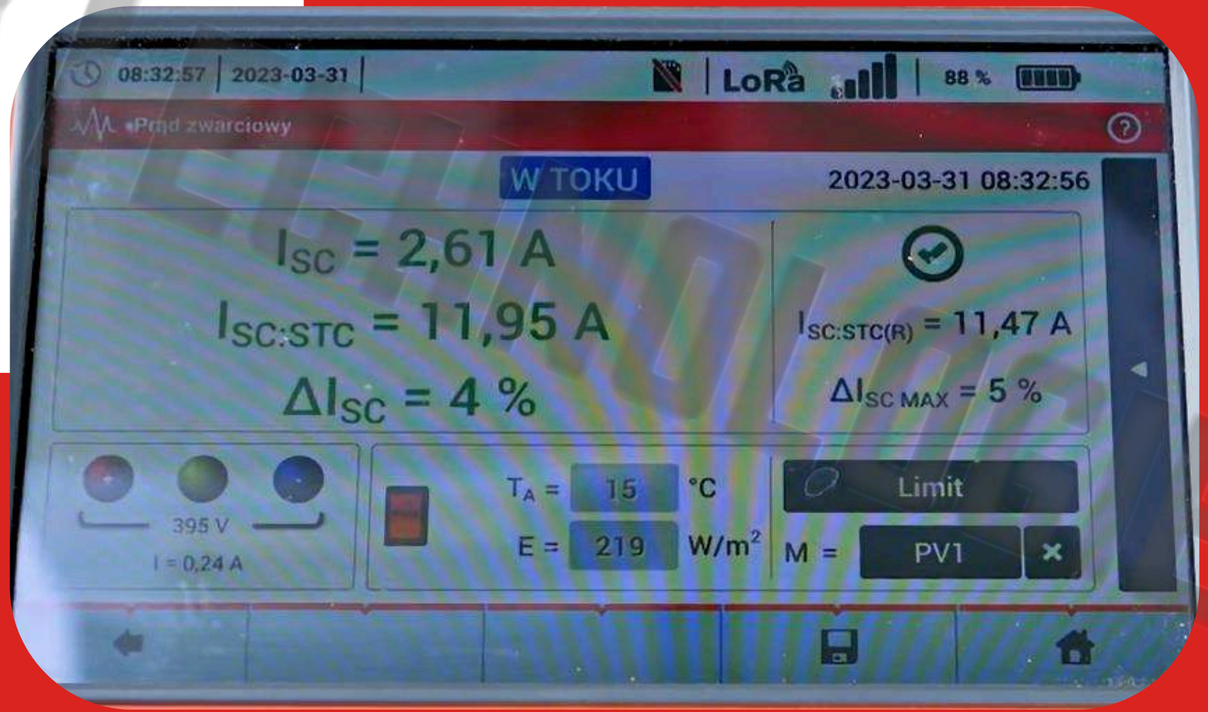


# CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO $I_{SC}$







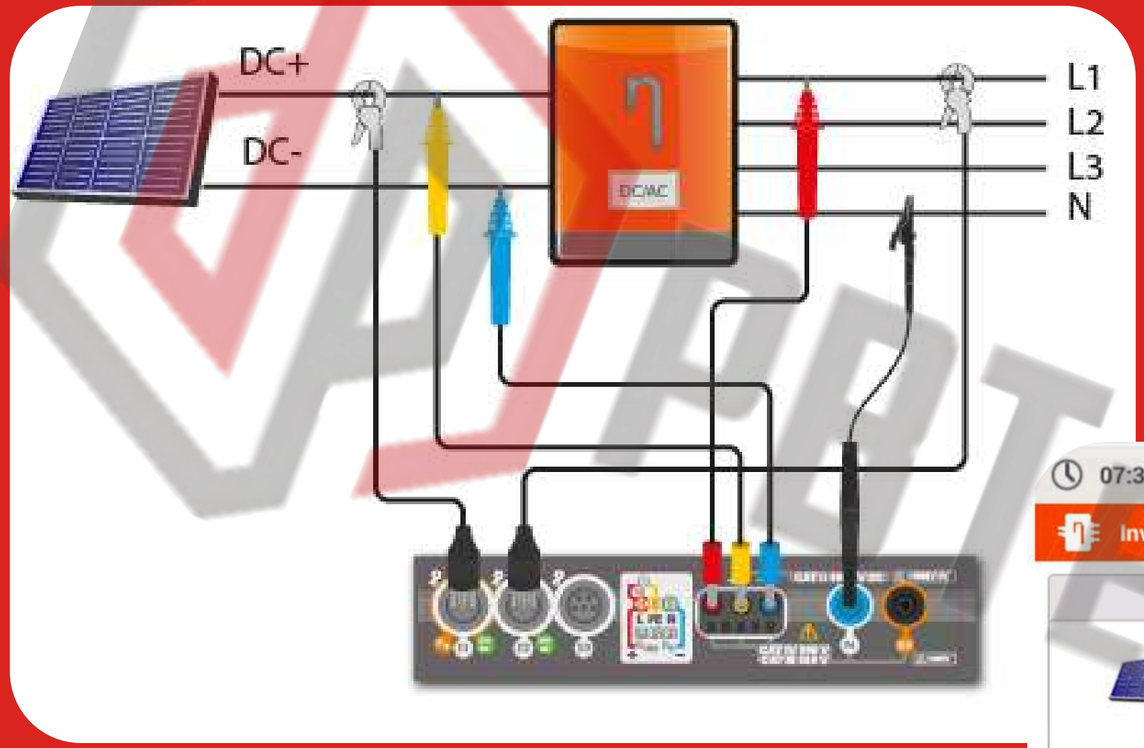


# PRUEBA OPERACIONAL PV-STRING

Verificación clave para evaluar el rendimiento y la correcta conexión de las cadenas de paneles solares (strings) en un sistema fotovoltaico. Esta prueba permite identificar problemas como conexiones incorrectas, módulos defectuosos o pérdidas de eficiencia

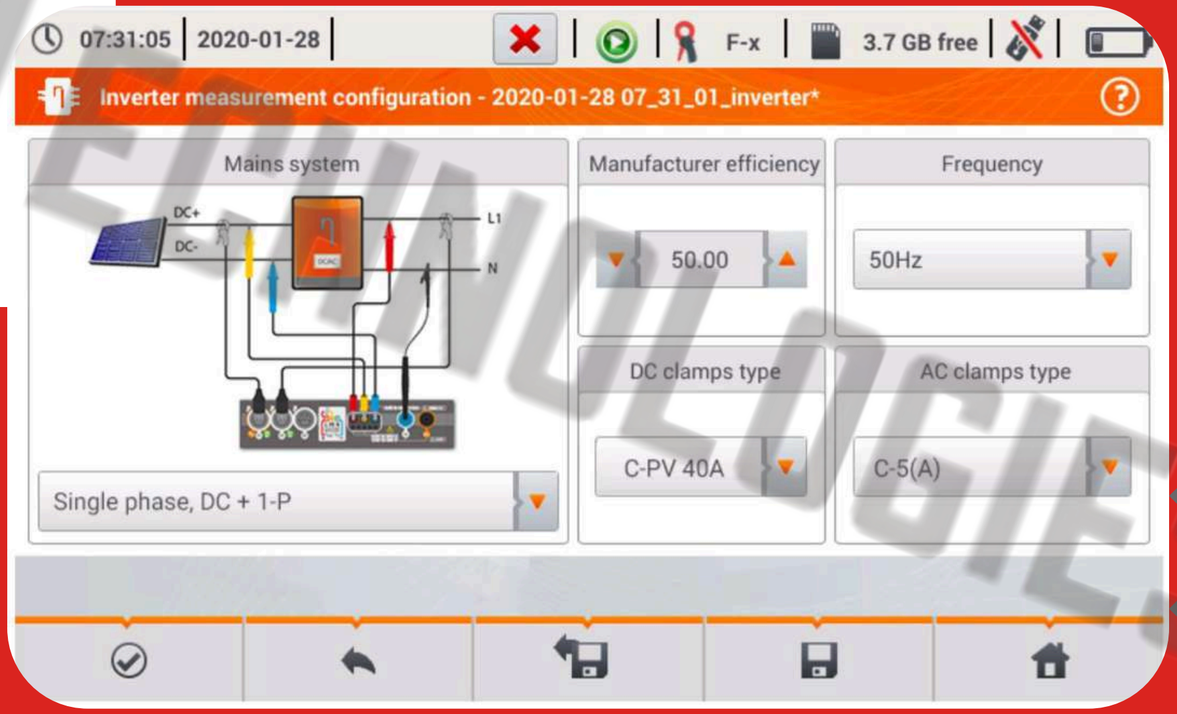


# TEST DEL PANEL DEL INVERSOR η, P, I

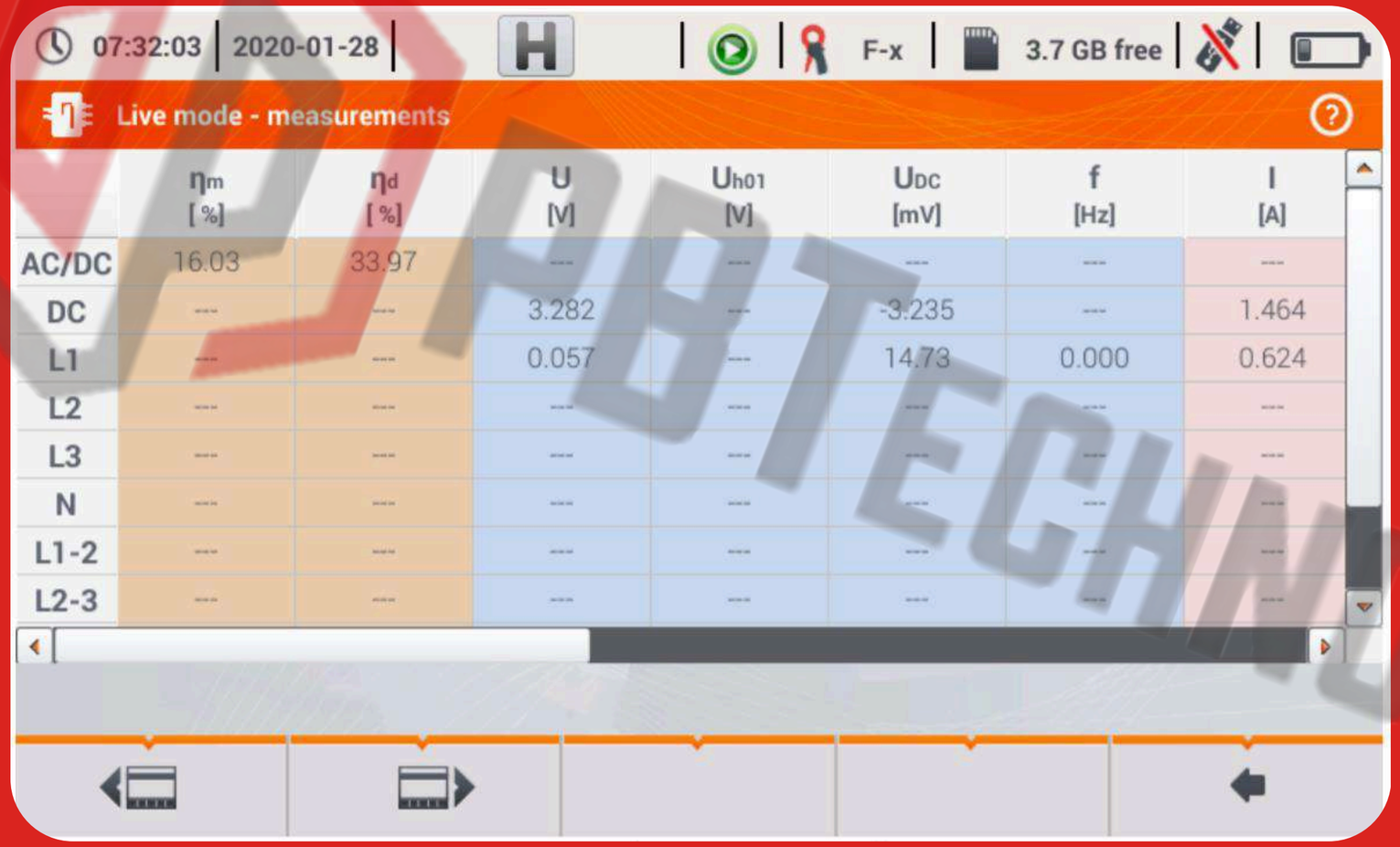



η: Eficiencia del inversor
P: Potencia de entrada y salida
I: Corrientes de entrada y salida



# TEST DEL PANEL DEL INVERSOR η, P, I

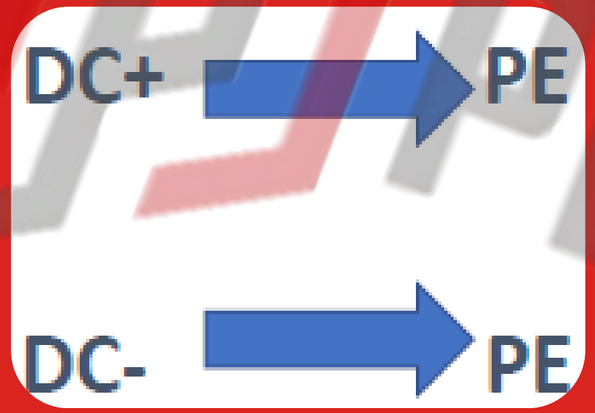


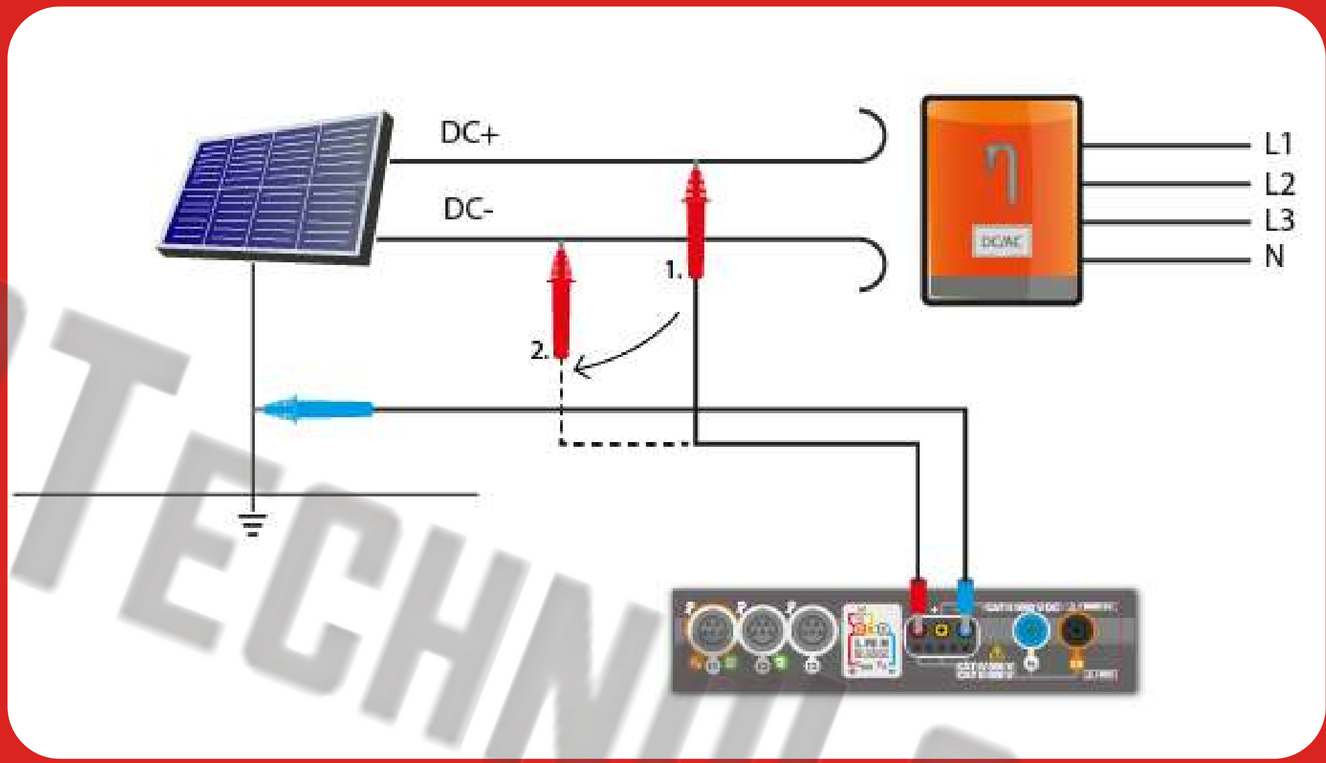

| | $\eta_m$ [%] | $\eta_d$ [%] | U [V] | $U_{h01}$ [V] | $U_{DC}$ [mV] | f [Hz] | I [A] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| AC/DC | 16.03 | 33.97 | --- | --- | --- | --- | --- |
| DC | --- | --- | 3.282 | --- | -3.235 | --- | 1.464 |
| L1 | --- | --- | 0.057 | --- | 14.73 | 0.000 | 0.624 |
| L2 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| L3 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| N | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| L1-2 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| L2-3 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |




- ⇒ corrientes en la entrada ($I_{DC}$) y en la salida ($I_{AC}$),
- ⇒ potencias en la entrada ($P_{DC}$) y en la salida ($P_{AC}$),
- ⇒ la eficiencia del inversor ($\eta_m$) y la diferencia entre las eficiencias del inversor: medida y declarada por el fabricante ($\eta_d$).

# RESISTENCIA DE AISLAMIENTO




$R_{ISO}$ PV

EPP TECHNOLOGIES

# RESISTENCIA DE AISLAMIENTO

| Tensión de funcionamiento de la instalación $V_{OC}$ (STC) x 1,25 V | Tensión de prueba V | Resistencia mínima de aislamiento MΩ |
|---|---|---|
| < 120 | 250 | 0,5 |
| 120 – 500 | 500 | 1 |
| > 500 | 1000 | 1 |

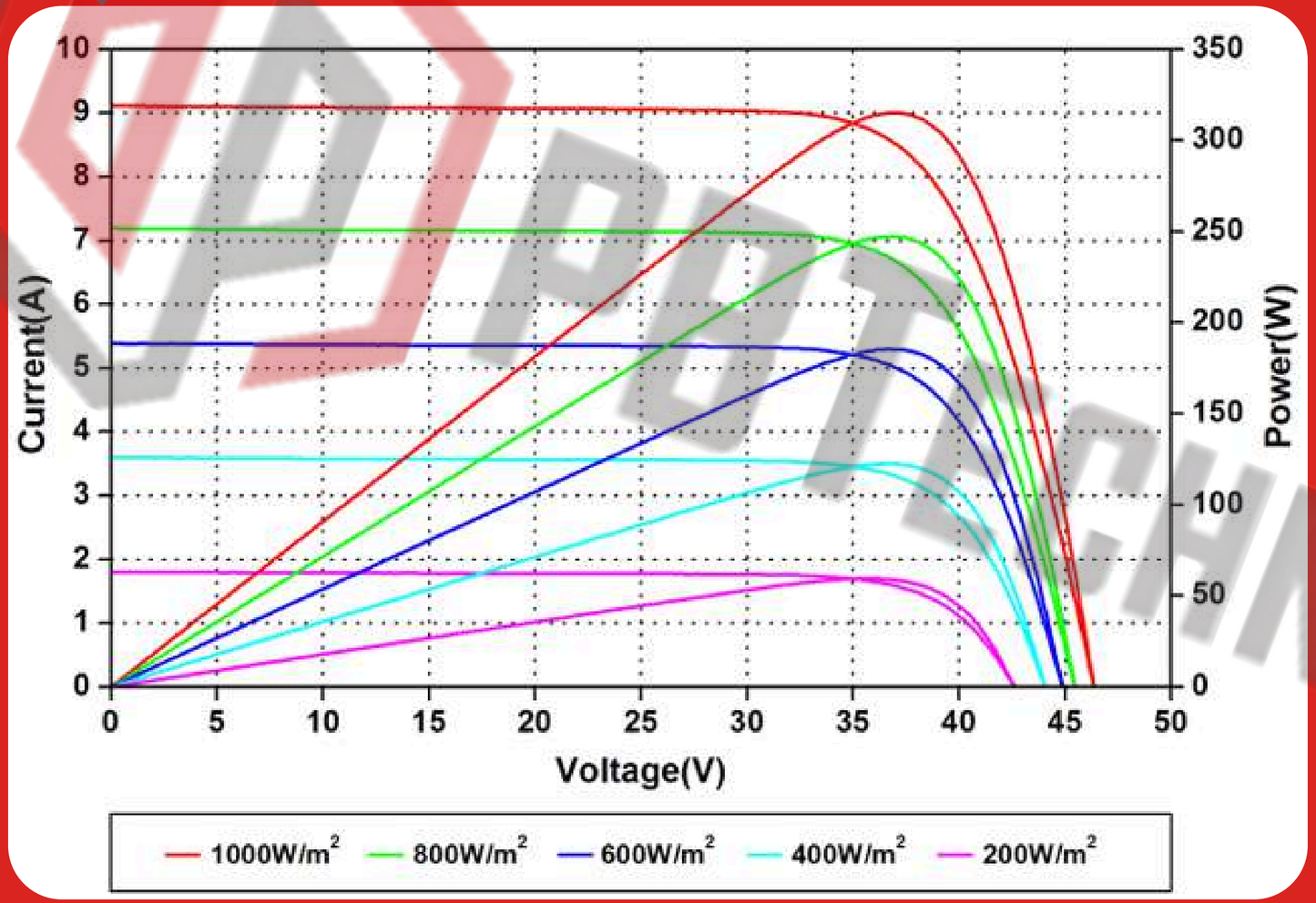



## EN 62446-1, TENSIÓN DE PRUEBA




PRUEBAS DE
CATEGORÍA 2
1:57 PM 5/21/2024 admin
I-U Curve
FF = 0.62
SAVE
START
STOP
Sonel
PVM-1530
MeasureEffect™

# CURVA I/V




Una prueba de curva I/V puede proporcionarla siguiente información:

- Mediciones de tensión de circuito abierto de string (V OC ) y corriente de cortocircuito (I SC)
- Medición de voltaje de potencia máxima (Vmpp ), corriente (Impp) y potencia máxima ( Pmax)
- Medición del rendimiento de la matriz.
- Medición del factor de llenado del módulo/cadena
- Identificación de defectos de módulo/matriz o problemas de sombreado.

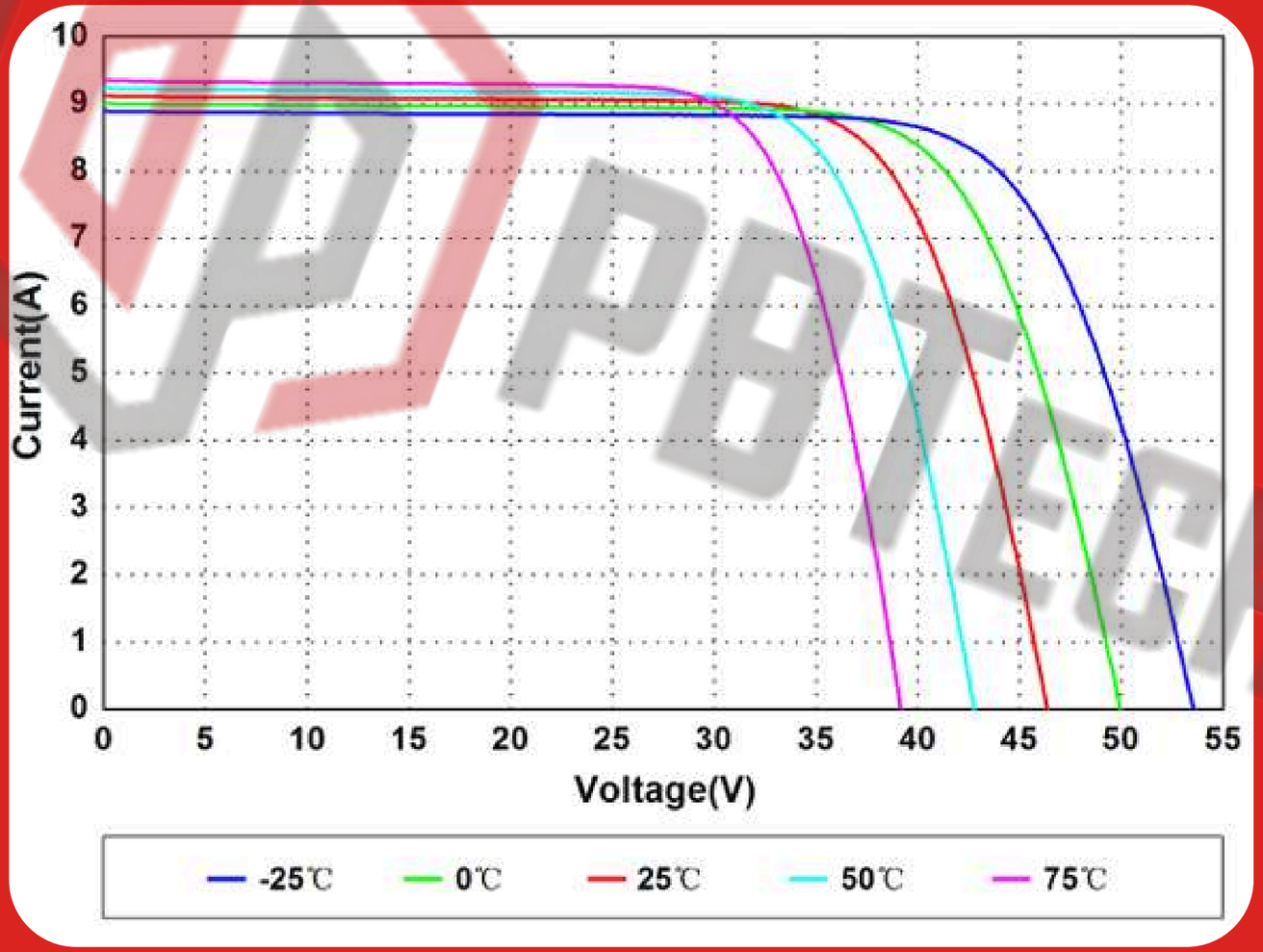
# CURVAS I/V

📏 La medición de la curva I-V es una herramienta clave para garantizar el rendimiento óptimo de un sistema fotovoltaico. ¡Úsala para detectar y solucionar problemas antes de que afecten la producción de energía!



PBTECHNOLOGIES

# CURVA I/V A DIFERENTE TEMPERATURA




La temperatura influye en dos parámetros clave del panel solar:

🔹 Voltaje (V): Aumentar la temperatura reduce la tensión de circuito abierto (Voc).

🔹 Corriente (I): La corriente de cortocircuito (Isc) aumenta ligeramente con la temperatura, pero su efecto es menor comparado con el voltaje.

🔹 Potencia máxima (Pmp): Como el voltaje disminuye más que el aumento de la corriente, la potencia máxima entregada disminuye a temperaturas más altas.

📉 **Regla general:**

- Por cada 1°C de aumento, el Voc disminuye aproximadamente entre -0.3% y -0.5%.
- La Isc aumenta en un rango de 0.03% a 0.1% por cada °C.

PBTECHNOLOGIES

# TERMOGRAFÍA

La termografía infrarroja es una técnica clave para la inspección de sistemas fotovoltaicos, ya que permite identificar fallos en módulos, conexiones y otros componentes sin necesidad de desconectar el sistema. A través de imágenes térmicas, se pueden detectar anomalías que afectan la eficiencia y seguridad del sistema.



## Importancia

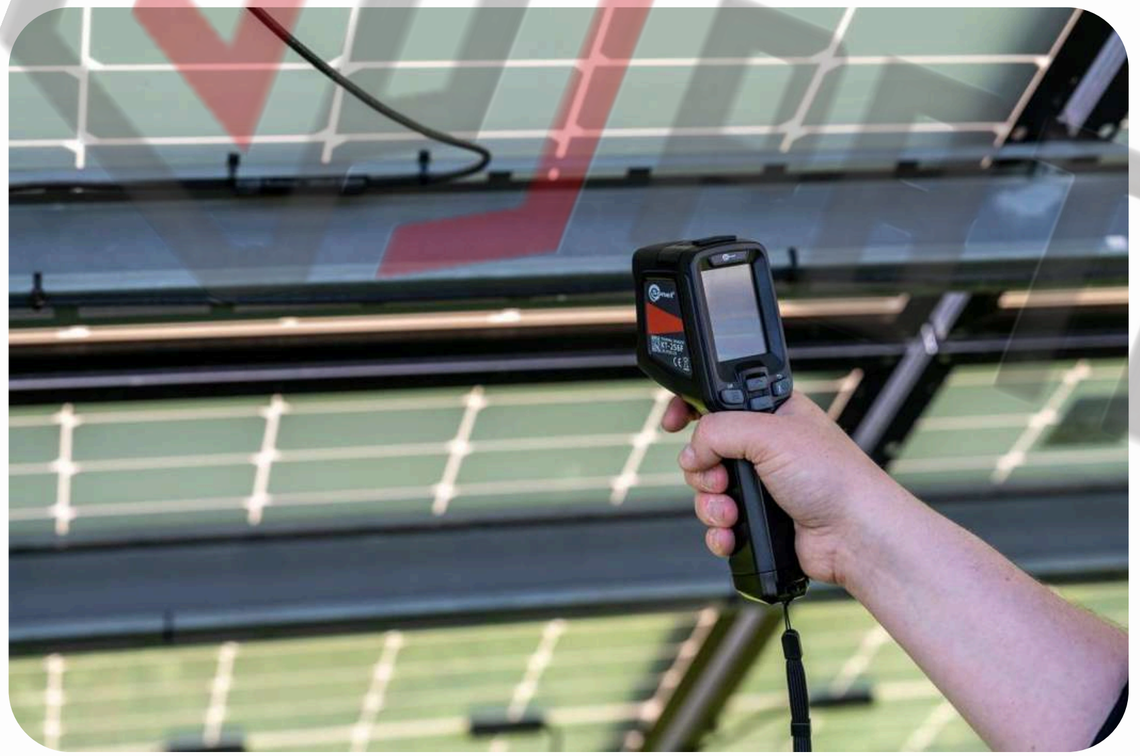
✅ Detecta fallos ocultos en los módulos y conexiones sin contacto físico.
✅ Evita pérdidas de eficiencia al identificar puntos calientes (hot spots).
✅ Previene fallos graves y riesgos de incendio.
✅ Optimiza el mantenimiento predictivo, reduciendo costos de reparación.

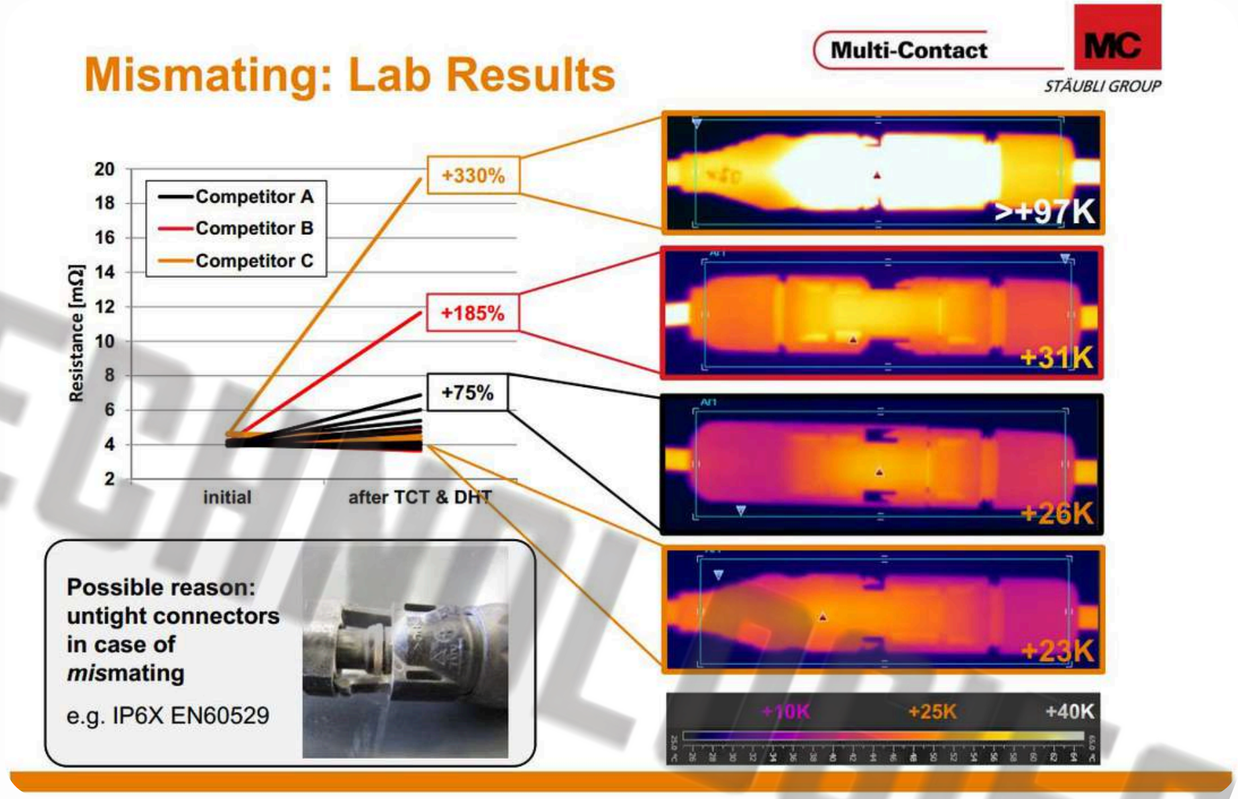
## ¡Qué fallos puedo detectar con una cámara Ti?

🔹 Celdas calientes (hot spots): Indican defectos en las células solares por sombras, suciedad, microfisuras o daños internos.
🔹 Diodos de bypass defectuosos: Se observa un calentamiento irregular en módulos afectados.
🔹 Conectores y cables sobrecalentados: Pueden deberse a conexiones flojas, corrosión o sobrecarga de corriente.
🔹 Inversores con temperatura anormal: Indican problemas de ventilación o sobrecarga.
🔹 Sombras parciales con impacto térmico: Determinan zonas afectadas por obstáculos o suciedad.



# TERMOGRAFÍA






PRUEBAS
ADICIONALES

# TENSIÓN A TIERRA

## SISTEMAS DE TIERRA RESISTIVOS

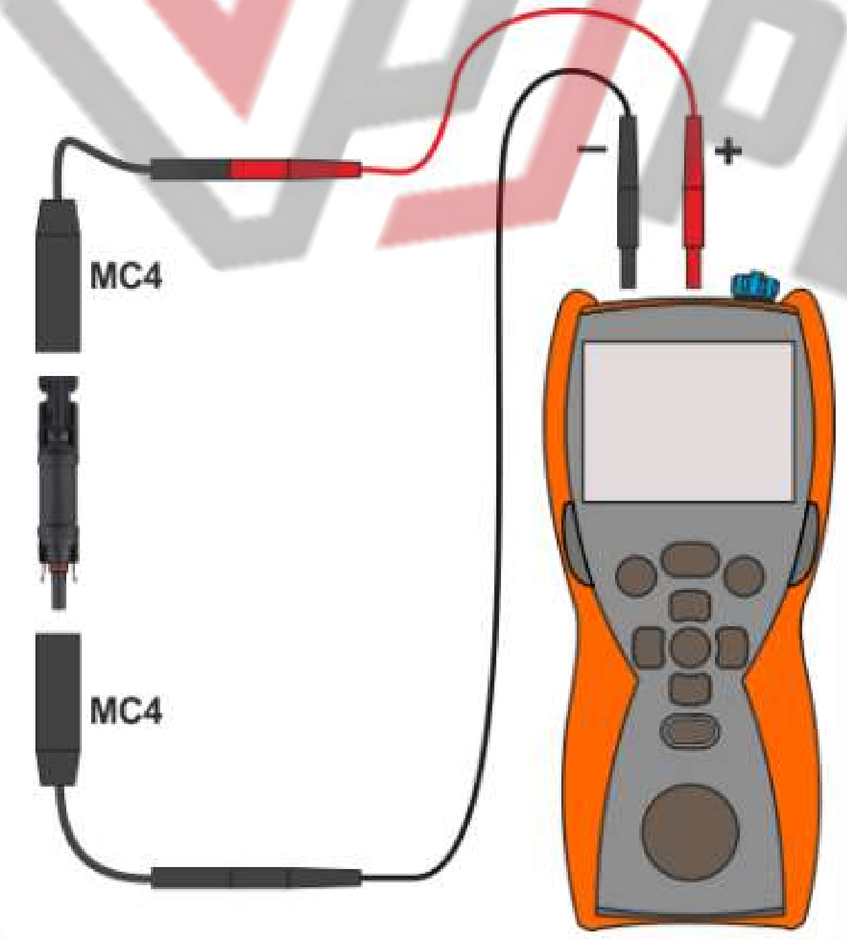
Esta prueba se utiliza para evaluar sistemas que utilizan una conexión a tierra de alta impedancia (resistencia).

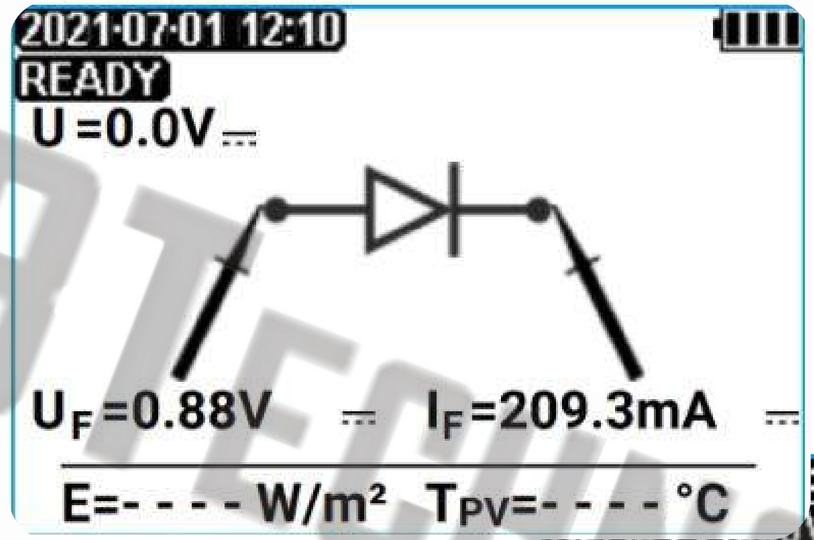
Los fabricantes de módulos proporcionan procedimientos de prueba específicos que requieren sistemas de tierra resistivos para sus módulos.

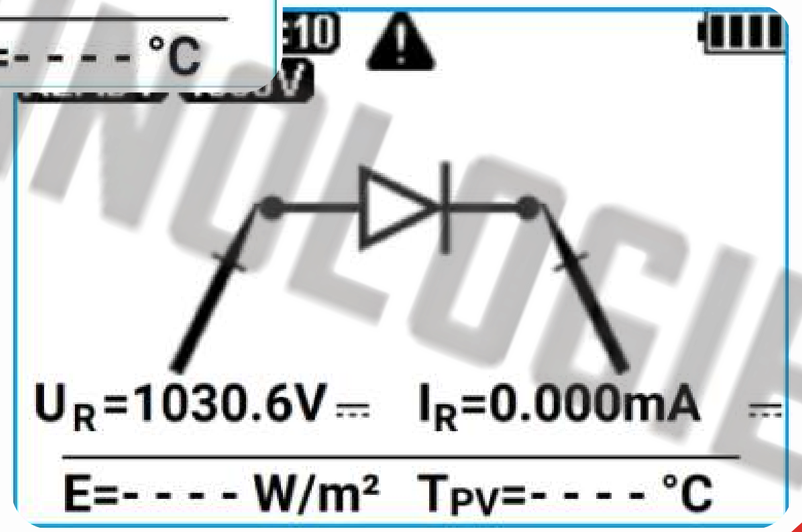
La prueba se realizará según los requisitos específicos del fabricante del módulo, para verificar que la resistencia existente tenga el valor correcto y mantenga el sistema de CC en voltajes aceptables en relación con tierra, o dentro de rangos aceptables de corriente de fuga.



# PRUEBA DE DIODO DE BLOQUEO



PBTECHNOLOGIES

$R_{ISO}$ PV

# CONJUNTO FOTOVOLTAICO

## PRUEBA DE RESISTENCIA DE AISLAMIENTO HÚMEDO

La prueba de resistencia del aislamiento húmedo se utiliza principalmente como parte de un ejercicio de localización de fallos.

Esta prueba simula lluvia o rocío en el conjunto y su cableado y verifica que la humedad no ingrese a las partes activas del circuito eléctrico del conjunto donde puede aumentar la corrosión, causar fallas a tierra o representar un riesgo de seguridad eléctrica para el personal o el equipo.

Por lo general, se implementaría una prueba de aislamiento húmedo cuando los resultados de una prueba en seco son cuestionables o cuando se sospechan fallas de aislamiento debido a defectos de instalación o fabricación.

El procedimiento de prueba es el mismo que en el caso de una prueba en seco, pero con un paso inicial adicional de humedecer la matriz.



# PRUEBA DE RESISTENCIA DE ISO




**PANTALLA TÁCTIL 5,6”**
Gráficos trazados en la pantalla durante las mediciones






**COOPERACIÓN**
Medición de la temperatura con la sonda ST-1.
Adaptador AutoISO-2511 para ensayo automático de resistencia de aislamiento de cables multipolares.
El juego para medir resistencia en áreas protegidas de ESD - PRZ-2.

**EPA**

**MEDIDAS DE LAS ZONAS EPA**
Mediciones en zonas de protección contra la electricidad estática



**CORRECCIÓN DEL RESULTADO DE RESISTENCIA A LA TEMPERATURA DE REFERENCIA**

# EVALUACIÓN DE SOMBRA

El propósito de la evaluación de la sombra es registrar las condiciones de sombra y horizonte presentes en ese momento.

En todos los casos el registro de sombra deberá:

- Registre la ubicación de donde se tomó el registro de sombra.
- Mostrar Sur o Norte (según corresponda)
- Estar escalado para mostrar la elevación (altura) de cualquier objeto de sombra




INSTRUMENTOS
DE MEDICIÓN

# INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN




MPI-540-PV




IRM-1



PVM-1530

# PINZA AMPEROMÉTRICA

## CMP-1015-PV

- Medición de tensión: hasta 1000 V CA o 1500 V CC
- Medición de corriente: hasta 1000 A AC/DC
- Memoria y grabadora integradas
- Función VFD: mejora la precisión de las mediciones detrás de los convertidores
- Carcasa robusta
- Pantalla en color retroiluminada
- Medición de tensión CA+CC
- Aplicación móvil – Sonel Multímetro Móvil



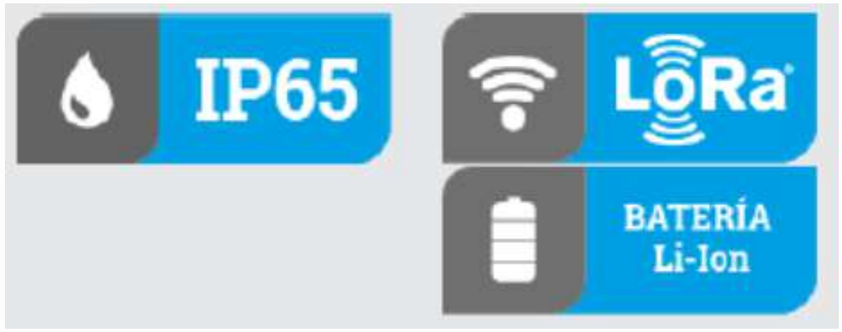





# MEDIDOR DE IRRADIANCIA

## CMP-1015-PV

- Intensidad de la radiación solar (irradiancia) en W/m2 o BTU/ft2h.
- Temperatura del panel fotovoltaico en °C o °F.
- Temperatura ambiente en °C o °F.
- Ángulo de inclinación de los paneles
- Orientación de los paneles con la brújula incorporada.






# AUDITOR ENERGÉTICO INTEGRAL

## MPI-540-PV

- Continuidad de conexiones equipotenciales y de protección
- Resistencia de tierra,
- Resistencia de aislamiento en el lado de CC,
- Tensión de circuito abierto UOC,
- Corriente de cortocircuito ISC,
- Corrientes y potencias de trabajo en el lado de CC y CA,
- Eficiencia del inversor.
- Base de datos integrada de módulos fotovoltaicos
- Analizador de Calidad Eléctrica
- PaT, Riso, secuencia de fases .....



# AUDITOR ENERGÉTICO INTEGRAL

## MPI-540-PV




## MPI-540-PV SOLAR



# CÁMARA TERMOGRÁFICA

## SONEL - KT

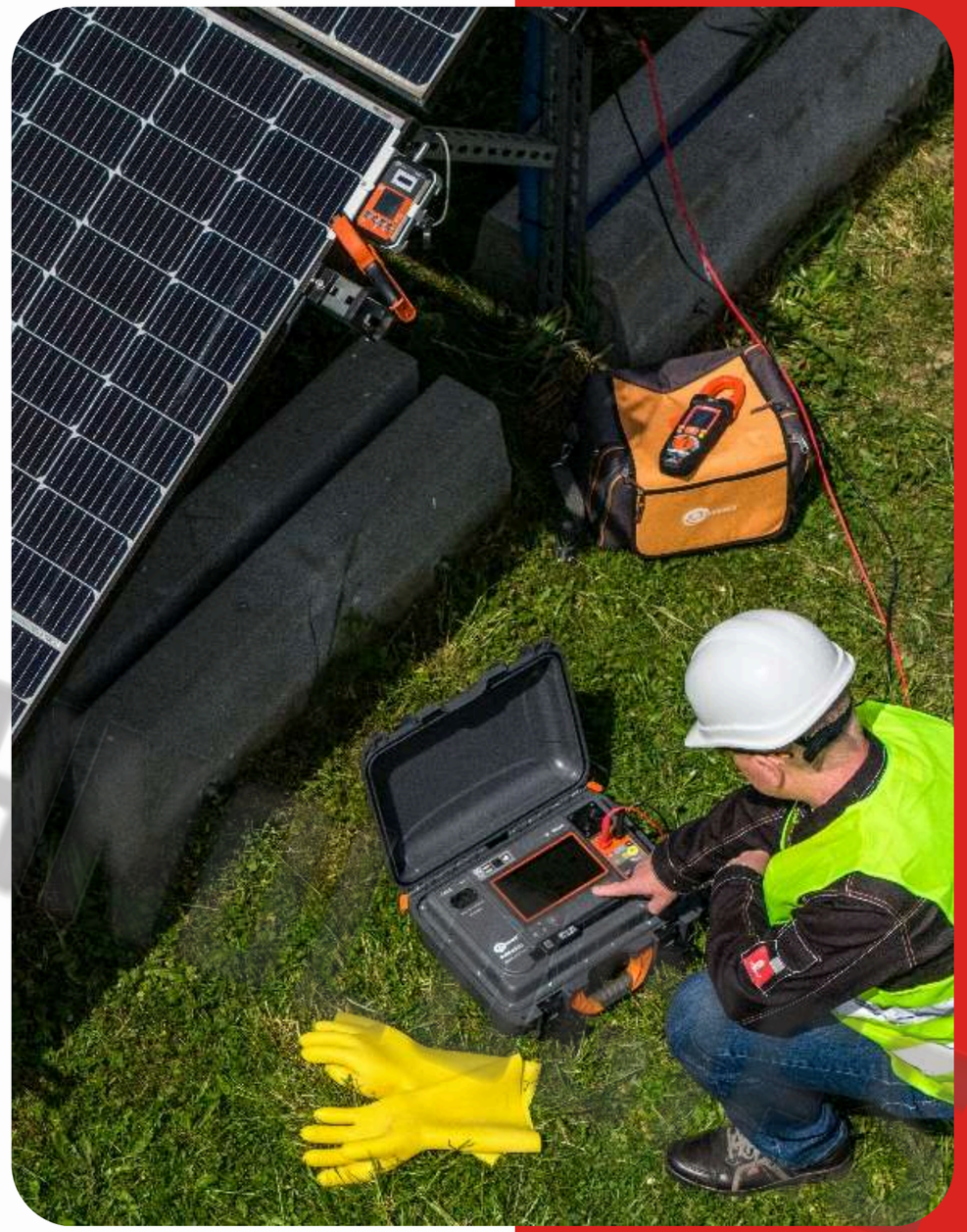
- Resolución IR 256 x 192 píxeles
- Lentes 25° x 19°/7 mm
- Rango de temperatura: -20°C a +550°C / -20°F a +1022°F
- Modo de imagen: visual, IR, PiP, MIF
- Enfoque automático
- >16 horas de trabajo continuo
- tiempo de carga < 2,5 horas
- Pantalla: LCD de 2,4" 240 x 320 píxeles
- Paletas: 6
- Análisis de imágenes: punto, 3 áreas; Indicación de temperatura: mín, máx. Temperatura. Alarma
- Funciones integradas: cámara visual de 2 MPix, linterna LED, puntero láser
- Memoria: microSD (32 GB estándar / máximo 32 GB)
- Formato de archivo de imagen: JPG
- interfaz: tarjeta microSD, USB tipo C



# MEDIDOR DE INSTALACIONES FOTOVOLTAICAS

## PVM-1530

- **Medición de la curva I-V**
- El voltaje de circuito abierto del panel fotovoltaico o una cadena de paneles, hasta 1500 V CC.
- Tensión RMS de la red AC hasta 600 V con medición de frecuencia.
- Corriente de cortocircuito de un panel fotovoltaico o una cadena de paneles: hasta 30 A CC. Y 40 A CC (a 1000 V)
- Resistencia de aislamiento de paneles fotovoltaicos: medición de tensión de 250, 500, 1000 o 1500 V, medición simultánea de dos valores: RISO+ y RISO-.
- Resistencia de aislamiento de circuitos de CA: tensión de medición 250, 500, 1000 o 1500 V.
- Resistencia de conductores de protección y conexión equipotencial con corriente ± 200 mA. Medición de resistencia de baja corriente, señalización sonora y visual.
- Medición de la corriente de funcionamiento de los paneles fotovoltaicos y de la corriente alterna, todo con pinza externa.
- Medición de potencia AC/DC.
- Prueba de diodos con corriente de 200 mA, detección automática de polaridad. Prueba de diodos de bloqueo con tensión de 1000 o 1500 V CC.



# MEDIDOR PARA INSTALACIONES FOTOVOLTAICAS

## PVM-1530







## PVM-1530 PRO

# SONEL PVM-1530 PRO
















**Dispositivo maestro**

# SONEL PVM-1530 PRO




**Pruebas Categoría 1:**

- Inspección visual
- Continuidad
- Polaridad
- Tensión de circuito abierto
- corriente de cortocircuito
- Pruebas funcionales
- Resistencia de aislamiento en el lado DC

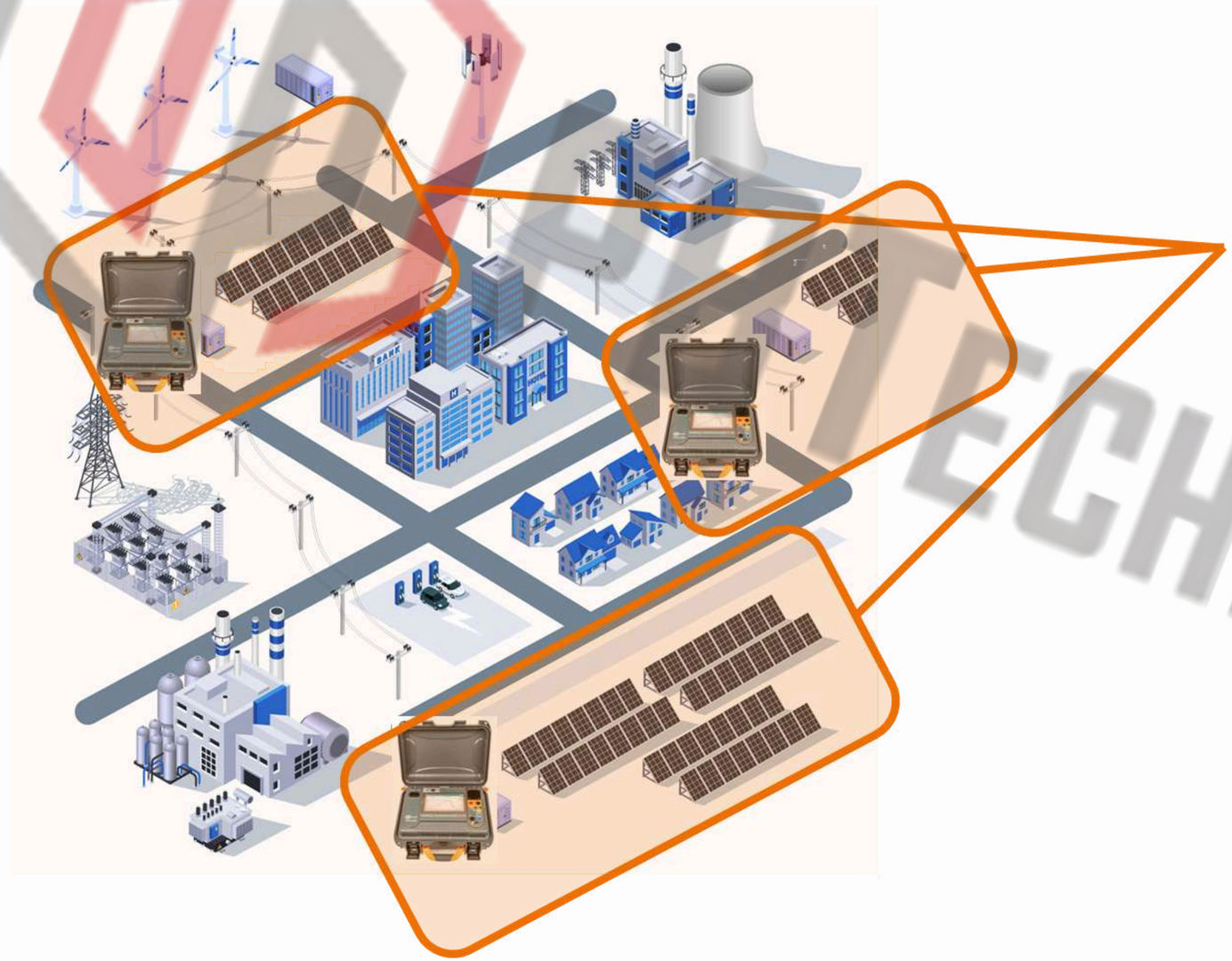
**Pruebas Categoría 2:**

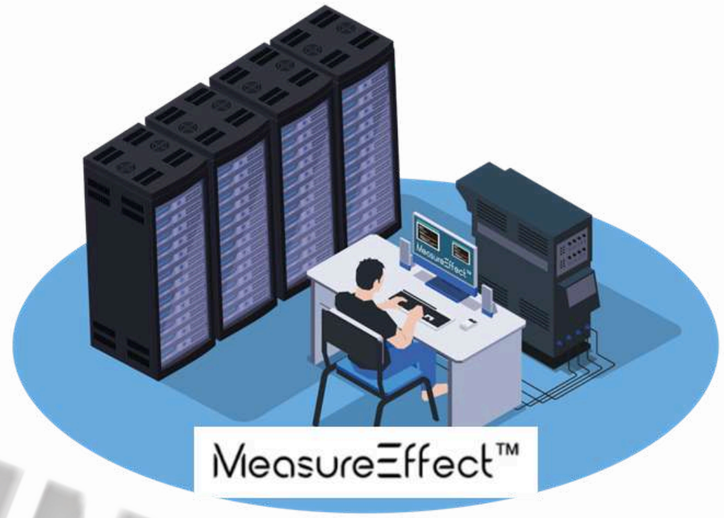
- Curva I-V
- Imagen térmica

**Pruebas adicionales:**

- Prueba de diodo
- Res. aislamiento en condiciones húmedas
- Evaluación de sombra

# MeasureEffect ™ software:






Gestión de datos de medición de todas las instalaciones/todos los medidores.

# GRACIAS



**Ing. Harold Dávalos**
Especialista en Instrumentación
PBTECHNOLOGIES S.R.L.



**Ing. Ethel Zangari**
Regional Manager LATAM &
Caribbean at SONEL S.A.

# ESCANEA EL CÓDIGO Y ACCEDE A LAS ÚLTIMAS NOVEDADES.

PBTECHNOLOGIES