

Tipo de Documento : **Procedimiento**
Nombre del Documento : **Procedimiento de pruebas para medición de resistencia de aislación en módulos fotovoltaicos**
Fecha : 04 de octubre de 2022
Autores : Dr. Edward Fuentealba, Dr. Jorge Rabanal-Arabach, Ing. Javier Astudillo
Coautores :



CDEA
CENTRO DESARROLLO
ENERGÉTICO ANTOFAGASTA
UNIVERSIDAD DE ANTOFAGASTA



Nivel de diseminación		
PU	Público	
PP	Restringido a los autores y a personal de CDEA	
RE	Restringido a un grupo específico de personas definido por coautores	
CO	Confidencial (únicamente a un grupo de personas definido por los autores)	X

Historia			
Versión	Autor	Modificación	Fecha
1	Javier Astudillo	Creación	01/12/2021
2	Edward Fuentealba	Integración de contenido	01/02/2022
3	Javier Astudillo	Modificación de contenido	28/04/2022
4	Jorge Rabanal-Arabach	Modificación de contenido	07/05/2022
5	Javier Astudillo	Modificación de contenido	23/08/2022
6	Jorge Rabanal-Arabach	Modificación de contenido	04/10/2022

Aprobación		
Fecha	Nombre	V.B
01/02/2022	Edward Fuentealba V.	O.K
07/05/2022	Jorge Rabanal Arabach	OK
25/08/2022	Jorge Rabanal-Arabach	OK

DECLARACION DE DERECHOS DE PROPIEDAD

Este documento contiene información, que es propiedad del CDEA. Este documento ni la información contenida en este documento se utilizarán, duplicarán ni comunicarán por ningún medio a un tercero, en su totalidad o en partes, excepto con el consentimiento previo por escrito del CDEA.

TABLA DE CONTENIDO

1	DEFINICIONES	2
2	DESCRIPCIÓN	4
2.1	Equipos y material a ser empleados	5
3	PROCEDIMIENTO.....	7
3.1	Ejecución de la prueba.....	8
4	ANÁLISIS DE RESULTADOS	15
5	RECOMENDACIONES.....	17
6	BIBLIOGRAFÍA.....	18
7	ANEXOS.....	19
7.1	Planilla de procedimiento: Prueba de Aislación Eléctrica.....	19

1 DEFINICIONES

Absortividad	: Fracción de la radiación incidente que es absorbida, en determinado rango de frecuencias, para una temperatura dada.
Barra de Soporte / Support bars	: Barras de soporte de aluminio anodizado transversales para dar soporte a la estructura del MFV. Usualmente empleadas en MFV de gran área o en algunos que reemplazan el vidrio frontal por polímeros o usan vidrios de espesor inferior a 2 mm.
Cable / Cable	: Cable solar de conexión entre la caja de conexión (junction box) y el conector (MC4) que conecta eléctricamente los módulos. Su longitud estándar es de 1.2 m (uno para el terminal positivo y otro para el terminal negativo). Usualmente, el calibre es de 4 mm ² de espesor, pero depende de la corriente del MFV.
Caja de empalme / Juntion Box	: Caja de conexiones donde se conectan los string de celdas a los cables externos. En ellas se encuentran los diodos de bypass (normalmente 3) para la protección del módulo. Su protección es IP67.
Celda / Cell	: Sección unitaria de conversión de energía del MFV. Un MFV está habitualmente compuesto de 60, 72, 144 o más celdas.
Conectores / Connectors	: Conector que se ubica en el extremo del cable para interconectar los MFV. Su nomenclatura estandarizada es MC4 o nombre de fantasía según fabricante. Definido para operar en 1000/1500 V, 30 A, IP68 y acorde a la sección cruzada del cable.
DC	: Corriente directa / continua, del inglés <i>Direct Current</i> .
DUT	: Dispositivo bajo prueba, del inglés <i>Device Under Test</i> .

Emisividad	: Intensidad de la radiación emitida por un cuerpo, en determinado rango de frecuencias, para una temperatura dada.
Marco / Frame	: Estructura metálica de los MFV. Construido de aluminio anodizado para la protección mecánica del módulo. En el mercado se dispone de MFV sin marco metálico (“frameless”), empleado en algunas tecnologías vidrio/vidrio.
MFV / PVM	: Módulo Fotovoltaico. Dispositivo de conversión de energía que transforma la luz solar en energía eléctrica de corriente directa.
Parte trasera / Backsheet	: Cara trasera del módulo fabricada usualmente apilando varios polímeros y revestimientos. En módulos monofaciales puede ser de color blanco. En módulos bifaciales puede ser un polímero transparente o un vidrio templado.
PID	: Degradación inducida por potencial eléctrico, del inglés <i>Potential Induced Degradation</i> . Corresponde a una degradación electroquímica de la celda solar causada por la polarización eléctrica a la que está sometida. Usualmente aparece en sistemas que operan a tensión eléctrica superior a 800 V.
SNR	: Relación señal/ruido, del inglés <i>Signal-to-Noise Ratio</i> .
Vidrio / Glass	: Vidrio templado que brinda estabilidad mecánica al MFV y protección a las celdas. Tiene usualmente un espesor de 2 a 4 mm. El vidrio puede incorporar o no capas antirreflejo (ARC) y/o antipolvo (ASC).

2 DESCRIPCIÓN

Una prueba de aislación es una prueba de seguridad que permite comprobar si un equipo eléctrico presenta una aislación adecuada entre sus partes conductoras y el exterior. Para este tipo de prueba se utiliza un megaóhmetro, el cual aplica altos voltajes en DC con el fin de poder medir la resistencia de la aislación, la cual presenta valores muy elevados. Es la prueba necesaria para determinar la existencia de fugas de corriente que superen los límites establecidos en el estándar IEC 61215.

Los módulos fotovoltaicos por probar deben de haber aprobado previamente una inspección visual. Adicionalmente, ambos cables del módulo deben de estar en buen estado y contar con sus respectivos conectores MC4.

El procedimiento, a grandes rasgos, consta de conectar un megaóhmetro a los terminales del MFV y a su chasis, para así realizar una serie de mediciones de la aislación entre la circuitería del módulo y su marco de aluminio.

Este procedimiento puede ser aplicado a MFV basados en silicio cristalino, tanto con marco como sin marco, y válido para módulos monofaciales y bifaciales

Este procedimiento se basa en los lineamientos establecidos en los estándares IEC 61215-1:2016, IEC 61215-2:2016 y los procedimientos entregados en la guía de medición de aislamiento de Chauvin Arnoux Group [1].

El estándar IEC 61215-1:2016 indica los requisitos que deben cumplir aquellos módulos FV que serán sometidos a una medición de aislación. Estos requisitos (resumidos) son los siguientes:

- Una etiqueta con texto claro y legible que contenga información y las características del módulo en cuestión
- Documentación que indique, al menos, los métodos de instalación eléctrica y mecánica y la clase de protección contra descarga eléctrica para los cuales fue diseñado el módulo. Una sola copia de la documentación es aceptable para múltiples módulos iguales.

- Para aquellos módulos que requieran de ensamblaje adicional, se debe de proveer la documentación relevante.
- Se recomienda el uso de un módulo de control durante las pruebas para poder detectar errores de medición inducidos por los equipos.

Las condiciones ambientales necesarias para realizar la prueba son:

- Temperatura del módulo fotovoltaico entre 20 °C y 30 °C.
- Temperatura de la habitación entre 20 °C y 30 °C.
- Nivel de humedad relativa de la habitación no mayor a 75%.

Para más detalles consultar el estándar IEC 61215-2:2016 [2].

2.1 Equipos y material a ser empleados

En la Tabla 2.1, se listan los materiales necesarios para la realización de esta prueba.

Tabla 2.1. Materiales requeridos.

N°	Nombre	Requisitos/Comentarios	Cantidad
1	Elemento de soporte (ej: Mesón)	Tamaño suficiente para acomodar apropiadamente MFV de hasta 72 celdas o 144 H-C (2.3 m x 1.2 m).	1
2	Paño de limpieza	Microfibra o similar.	2
3	Brocha	Brocha, cepillo o similar. Para limpiar lugares difíciles de alcanzar.	1
4	Alcohol Isopropílico	Cantidad suficiente para los contactos eléctricos u otras suciedades según sea necesario. Al menos al 70%.	1
5	Voltímetro	Debe ser capaz de medir tensión en corriente continua, hasta al menos 100 Volts y con una precisión de al menos $\pm 5\%$.	1

N°	Nombre	Requisitos/Comentarios	Cantidad
6	Megaóhmetro	Debe ser capaz de medir resistencia de aislación con los siguientes niveles de voltaje: 500 V, 1000 V, 1500 V, 2000 V, 3000 V y 4000 V. Debe permitir cambios de 500 V/s. Debe de ser capaz de realizar las mediciones por una duración de 1 y 2 minutos.	1
7	Cables del Megaóhmetro	Deben de soportar las tensiones eléctricas de la prueba (usualmente sobre 3 kV). Deben de ser punta caimán.	1
8	Adaptador MC4 a caimán	Debe conectar ambos terminales del MFV, con capacidad para soportar las tensiones eléctricas de la prueba (usualmente sobre 4 kV).	2
9	Sensor de temperatura	Debe medir temperatura ambiente con precisión de al menos ± 1 K.	1
10	Higrómetro, humedad ambiental relativa	Debe medir humedad relativa con precisión de al menos $\pm 1\%$.	1
11	Planilla de procedimiento	Adjunta en el Anexo 7.1 del documento de procedimiento para medición de aislación.	1

3 PROCEDIMIENTO

El proceso de medición de resistencia y análisis de resultados se encuentra ilustrado en dos diagramas de flujo, uno para cada parte del procedimiento, los cuales se muestran a continuación en la Figura 3.1 y Figura 3.2, respectivamente.

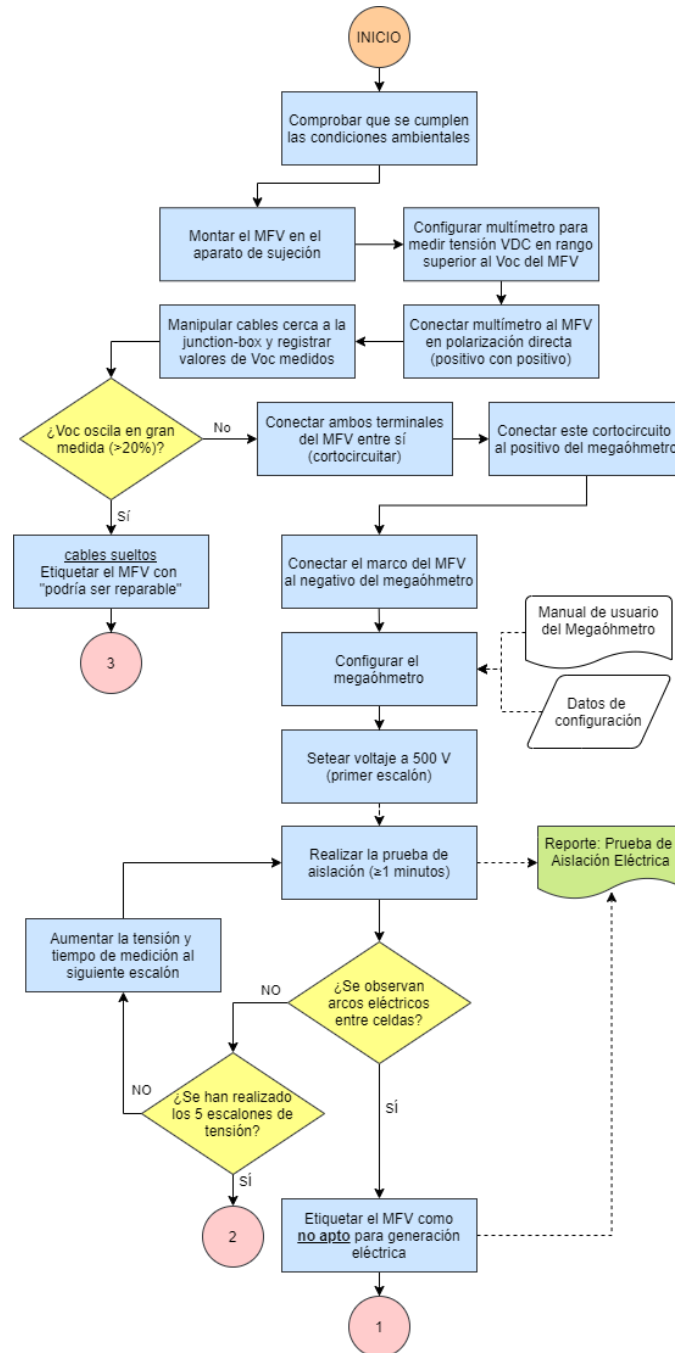


Figura 3.1. Diagrama de flujo del procedimiento de medición de aislación.

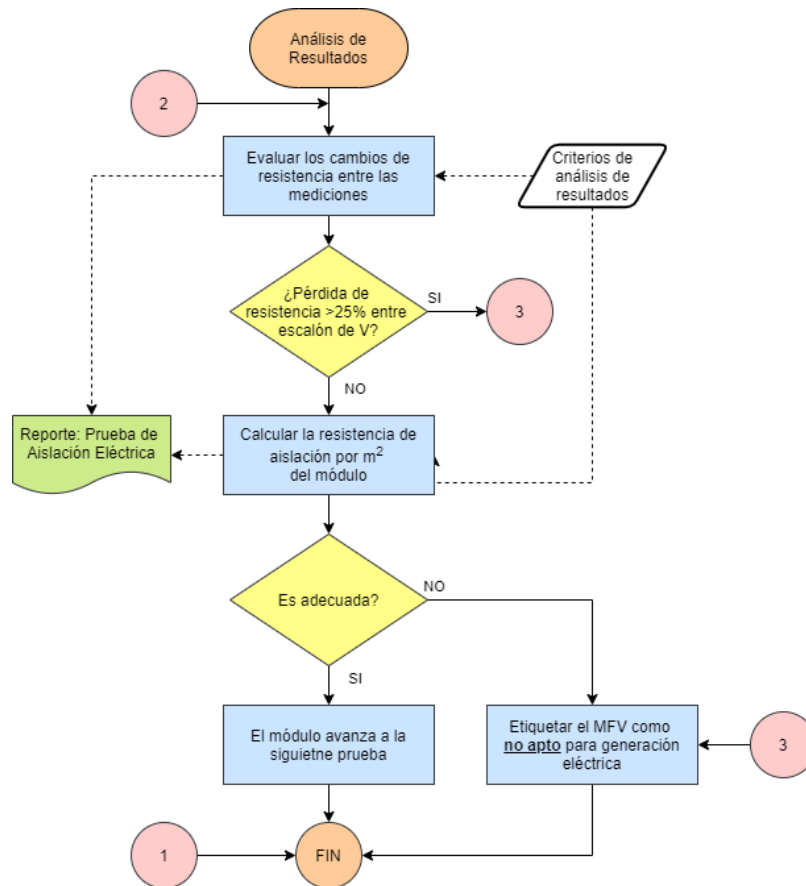


Figura 3.2. Diagrama de flujo del proceso de evaluación de resultados.

3.1 Ejecución de la prueba

Para esta prueba, el medidor de aislación no requiere ajustes previos. Los cambios de configuración se van haciendo durante la ejecución de la prueba según sea necesario.

Dicho esto, los pasos a seguir son los siguientes:

1. Montar el MFV en el elemento de soporte, de tal manera de que su cara frontal pueda ser observada, durante la medición, en búsqueda de arcos.



Figura 3.3. Módulo montado en un bastidor.

2. Medir la tensión de circuito abierto con un multímetro (V_{DC}). La conexión es en polarización directa, i.e., terminal positivo del MFV con positivo del multímetro.
3. Manipular los cables, cerca de la junction box, con tal de determinar si la tensión cambia considerablemente al mover el cable. Si esto sucede, se debe etiquetar el módulo como “rechazado por cable suelto”, con la característica de “cable suelto desde la j-box”.
4. Registrar el V_{OC} mínimo al mover el cable (valor aproximado).
5. Registrar el V_{OC} máximo al mover el cable (valor aproximado).

NOTA: sólo se procede con la prueba de aislación sí y sólo sí los cables no están sueltos.

6. Cortocircuitar ambas terminales del módulo y conectar al positivo (+) del megaóhmmetro, como se muestra en la Figura 3.4. Para ello, se deben utilizar adaptadores para poder conectar la pinza a los conectores de los cables (Figura 3.5). Es preciso destacar que estos adaptadores deben estar en condiciones eléctricas apropiadas, mostrando una baja impedancia.



Figura 3.4. Terminales del módulo, con adaptadores, cortocircuitados y conectados a la pinza del megaóhmmetro.



Figura 3.5. Adaptadores de MC4 a caimán.

7. Identificar una zona del marco limpia de tierra u otra suciedad, en caso de no haberla se debe limpiar una sección, utilizando un paño, para conectar la pinza del megaóhmetro. Se recomienda hacer la conexión en la zona de conexión a tierra del marco, pues esa zona está desprovista de barniz protector que se aplica en algunos marcos.

En el caso de los MFV sin marco, estos se deben de enrollar con una película conductora (por ejemplo, papel de aluminio) cubriendo toda la superficie del MFV. Si se usa más de un trozo de película conductora, estos trozos deben de tener una conexión apropiada entre ellos.

8. Conectar la pinza del terminal negativo (-) del megaóhmetro a la zona del marco (o película metálica) previamente identificada. En la Figura 3.6 se muestra un ejemplo de pinza del megaóhmetro conectada a una sección del marco sin aislar.



Figura 3.6. Pinza del megaóhmetro conectada a una sección limpia del marco.

NOTA: Los siguientes pasos son ejemplificadores, y pueden variar en sus detalles para diferentes tipos de instrumentos.

Se usa un Megger MIT520 a modo de ejemplo.

9. Alimentar el megaóhmetro. Esto depende del instrumento. En algunos se debe conectar a una toma de corriente con el cable que se encuentra en el bolso del megaóhmetro. En la Figura 3.7 se muestra como conectar dicho cable.



Figura 3.7. Conexión del cable de alimentación al megaóhmetro.

Respecto a las pinzas, estas cuentan, en el extremo opuesto a la pinza, con un conector similar a los conectores de tipo “banana”. Estos deben conectarse como se observa en la Figura 3.8, es decir, el rojo al terminal positivo y el azul al terminal negativo.

Para encender el megaóhmetro, se debe mantener pulsado el botón de encendido hasta que la pantalla muestre texto. Dicho botón está indicado en la Figura 3.8, encerrado en un círculo azul (a mano derecha). Si el megaóhmetro se encuentra encendido y se presiona el botón de encendido, el equipo se reiniciará.

En el círculo rojo, los botones de ajuste de voltaje. Estos permiten subir y bajar el voltaje de prueba, el cual se observa en la esquina superior izquierda de la pantalla del equipo.

En el círculo amarillo, los botones de ajuste de tiempo. Estos permiten aumentar o disminuir el tiempo de duración de la prueba, el cual se observa en la esquina

superior derecha de la pantalla del equipo. Cabe mencionar que el tiempo de duración más corto varía dependiendo de la tensión de voltaje aplicada (referirse al punto 10). Para que el equipo realice mediciones sin límite de tiempo, se debe disminuir el tiempo hasta que la pantalla indique el tiempo seleccionado como un guion (-).

El botón rojo “TEST” se utiliza para comenzar una medición, para ello el botón debe mantenerse presionado por 3 segundos, esto por motivos de seguridad.



Figura 3.8. Megaóhmetro listo para operar.

10. Ajustar el voltaje, la duración y realizar las mediciones. En caso de que el megaóhmetro indique falla, repetir la medición una sola vez. Es importante incrementar el voltaje aplicado por el equipo a una tasa no mayor a 500 V/s. Las configuraciones para cada medición se detallan a continuación:

6.1 Para la primera medición, ajustar el voltaje a 500 V, la duración a 1 minuto y medir la resistencia.

Observar que no se hayan producido fallas de aislamiento ni arcos entre las celdas (dentro del módulo). De producirse, debe detener el procedimiento y anotar los resultados.

- 6.2 Para la segunda medición, ajustar el voltaje a 1 kV, la duración a 1 minuto y medir la resistencia.

Observar que no se hayan producido fallas de aislamiento ni arcos. De producirse, debe detener el procedimiento y anotar los resultados.

- 6.3 Para la tercera medición, ajustar el voltaje a 2 kV, la duración a 1 minuto y medir la resistencia.

Observar que no se hayan producido fallas de aislamiento ni arcos. De producirse, debe detener el procedimiento y anotar los resultados.

- 6.4 Para la cuarta medición ajustar el voltaje a 3 kV, la duración a 1 minuto y medir la resistencia.

Observar que no se hayan producido fallas de aislamiento ni arcos. De producirse, debe detener el procedimiento y anotar los resultados.

- 6.5 Para la quinta medición ajustar el voltaje a 4 kV, la duración a 1 minuto y medir la resistencia.

Observar que no se hayan producido fallas de aislamiento ni arcos. De producirse, debe detener el procedimiento y anotar los resultados.

11. Anotar los resultados y determinar el estado del módulo.



Figura 3.9. Megaóhmometro en operación.

4 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Se debe analizar la variación de resistencia entre las mediciones. Si al pasar de un escalón de voltaje al siguiente se produce una pérdida de más del 25% de resistencia, esto indica un deterioro en la aislación.

Por otra parte, para los módulos con un área mayor a 0.1 m², la resistencia de la aislación (R_i) multiplicada por el área del módulo debe ser mayor o igual a 40 MΩ m² [3]. Es decir:



$$R_i \times a \geq 40 \text{ M}\Omega \text{ m}^2$$



En donde:

- R_i = Medición de resistencia entregada por el megaóhmetro, en MΩ.
- a = Superficie de la cara frontal del módulo, en m².

Este cálculo se hace con la resistencia registrada en el paso de medición cuya tensión sea mayor o igual a la tensión nominal del sistema y una duración de 1 minutos.

Así, dicho lo anterior, un MFV será etiquetado de la siguiente forma:

Etiqueta	Veredicto	Criterio												
	El MFV pasa la prueba	No presenta fallas (arcos o rupturas dieléctricas), no se producen cambios mayores a 25% de la resistencia entre steps y la resistencia es mayor o igual a 40 MΩ m ²												
	El MFV pasa la prueba con observaciones	No presenta fallas (arcos o rupturas dieléctricas), la resistencia es cercana a 2 MΩ o superior, pero produce una reducción de la resistencia entre steps mayor al 25% <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th>Step</th> <th></th> <th>V. Sistema Máx.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1-2 : 0.5-1 kV</td> <td>→</td> <td>200 V</td> </tr> <tr> <td>2-3 : 1-2 kV</td> <td>→</td> <td>600 V</td> </tr> <tr> <td>3-4 : 2-3 kV</td> <td>→</td> <td>1 kV</td> </tr> </tbody> </table>	Step		V. Sistema Máx.	1-2 : 0.5-1 kV	→	200 V	2-3 : 1-2 kV	→	600 V	3-4 : 2-3 kV	→	1 kV
Step		V. Sistema Máx.												
1-2 : 0.5-1 kV	→	200 V												
2-3 : 1-2 kV	→	600 V												
3-4 : 2-3 kV	→	1 kV												

	El MFV es rechazado por cable suelto <u>Podría ser reparado</u>	Se cataloga de “podría ser reparado” en caso de determinar que el cable esté suelto (voltaje de circuito abierto cambiante al medir con multímetro)
	El MFV no pasa la prueba	Presenta fallas (arcos o rupturas dieléctricas), se produce una disminución mayor al 25% de la resistencia entre steps o la resistencia es menor a 40 MΩ m ²

5 RECOMENDACIONES

Revisar el buen estado de los EPPs antes de comenzar el procedimiento.

En caso de ver un arco eléctrico o el amague de una llama, apagar inmediatamente el megaóhmetro y anotar el acontecimiento en la hoja de vida del módulo.

Procurar una presión adecuada entre los terminales para evitar que la resistencia de contacto afecte de forma considerable en las mediciones. Suciedad, trazas de sulfato u otro material externo al metal de las pinzas, terminales del MFV, afectará en la medición.

Si el marco del MFV muestra niveles considerables de oxidación, se recomienda no modificar dicha condición (no limpiar, no lijar), pues es parte de la condición o estado del MFV y debe ser considerado como parte del análisis. Se recomienda registrar apropiadamente dicha condición.

Se recomienda usar el siguiente formato para nombrar a las fotografías:

A"Últimos5digitosdeINS"-AAMMDD_hhmm

Ilustrado con un ejemplo, el nombre del archivo de una fotografía tomada el 02 de enero de 2022 a las 10:15, a un MFV cuyo número de serie es 19130B151021120016090204, sería:

A90204-220102_1015

6 BIBLIOGRAFÍA

[1] Chauvin Arnaud Group, *Guía de la medición de aislamiento*, 1 ed., 2010.

[2] IEC, «IEC 61215-1 Design qualification and type approval - Part 1: Test requirements,» International Electrotechnical Commission, Geneva, Suiza, 2016.

[3] IEC, «IEC 61215-2 Design qualification and type approval - Part 2: Test procedures,» International Electrotechnical Commission, Geneva, Suiza, 2016.

[4] Associated Research Inc., «Solar Panel Testing: Insulation and Grounding,» 2013.

7 ANEXOS

7.1 Planilla de procedimiento: Prueba de Aislación Eléctrica

Número de serie del MFV:
Nombre del archivo de la medición:

Temperatura ambiente: _____ °C Humedad ambiente relativa: _____ %

Tensión V_{OC} mínima : _____ V Tensión V_{OC} máxima : _____ V

¿Cable suelto?: Sí / No

Voltaje (V)	Resistencia (MΩ)	¿Se visualiza arco eléctrico ?
500		
1 000		
2 000		
3 000		
4 000		

Observaciones:

--