

Tipo de Documento : **Procedimiento**
 Nombre del Documento : **Procedimiento de pruebas para inspección visual de módulos fotovoltaicos**
 Fecha : 04 de octubre de 2022
 Autores : Dr. Edward Fuentealba, Dr. Jorge Rabanal-Arabach, Ing. Javier Astudillo, Ing. José Tapia
 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	CEA-Liten	Observaciones al documento	12/07/2022
6	Javier Astudillo	Modificación de contenido	23/08/2022
7	Jorge Rabanal-Arabach	Integración 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

TABLA DE CONTENIDO.....	1
1 DEFINICIONES	2
2 DESCRIPCIÓN	4
2.1 Equipos y material a ser empleados	5
3 PROCEDIMIENTO.....	7
3.1 Ejecución de la prueba.....	9
4 ANÁLISIS DE RESULTADOS	14
5 RECOMENDACIONES.....	18
6 BIBLIOGRAFÍA.....	19
7 ANEXOS.....	20
7.1 Fallas detectables mediante inspección visual.....	20
7.2 Planilla de procedimiento: Inspección Visual.....	43

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

Un procedimiento de inspección visual es un ensayo no destructivo en el cual se verifican defectos y daños en la superficie del objeto. En el caso particular de los módulos fotovoltaicos, una inspección visual permite detectar defectos de fábrica, degradación de los materiales o fallas que tengan una manifestación física observable a simple vista, como grietas en las celdas, roturas de las celdas o del marco, quemaduras, entre otros.

La realización de este procedimiento, a grandes rasgos, consta en verificar todos los componentes del MFV. El procedimiento será abordado en etapas para identificar los daños ocurridos en cada sección del MFV. El proceso será registrado, a través de una planilla que permite guiar el proceso y registrar la información e imágenes de la inspección. Cabe destacar que este procedimiento es válido tanto para MFV monofaciales como para bifaciales, además de ser aplicable a MFV basados en silicio u otras tecnologías de capa fina.

La información necesaria clave para la inspección de los módulos fotovoltaicos son los datos de georreferenciación, tales como: Lugar de instalación, fecha de instalación, fecha de retiro, ubicación en el campo solar, entre otros.

Este procedimiento de prueba se basa en los lineamientos establecidos en el estándar IEC 61215, las recomendaciones entregadas por el reporte de la Tarea 13 de la IEA-PVPS [1] y la lista de chequeo de inspección visual del reporte mencionado anteriormente.

El estándar IEC 61215-1:2016 aborda los requisitos que deben cumplir los MFV que son sometidos a una inspección visual, entre los cuales se destacan:

- 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 la realización de esta prueba son:

- Nivel de iluminación de la habitación igual o mayor a 1000 Lux.

Para más detalles, consultar el estándar IEC 61215-1:2016 [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	Estructura de soporte (ej: Mesón)	Tamaño suficiente para acomodar apropiadamente MFV de hasta 72 celdas o 144 HC (2.3 m x 1.2 m).	1
2	Accesorios de sujeción	Elementos que permitan una sujeción adecuada del módulo a la estructura de soporte	-
3	Destornillador de paleta	Cabeza de ¼” o 3/8”.	1
4	Paño de limpieza	Microfibra o similar.	2
5	Agua desmineralizada	Cantidad suficiente para limpiar adecuadamente el módulo por ambas caras.	1
6	Planilla de inspección visual	Formato físico o digital, ya sea PDF o en plataforma digital.	1
7	Flexómetro	Para medidas lineales.	1
8	Regla	De mínimo 20 cm.	1
9	Reflector	Reflector, foco o similar, para garantizar los requerimientos de iluminación requeridos por esta prueba. Idealmente debe de ser una fuente de luz difusa.	1
10	Cámara Fotográfica Digital	Resolución mínima de 12 MPx, con relación 16:9 o equivalente en formato ancho. Capacidad de ajustar manualmente los parámetros básicos de la fotografía.	1

3 PROCEDIMIENTO

El proceso de inspección 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.

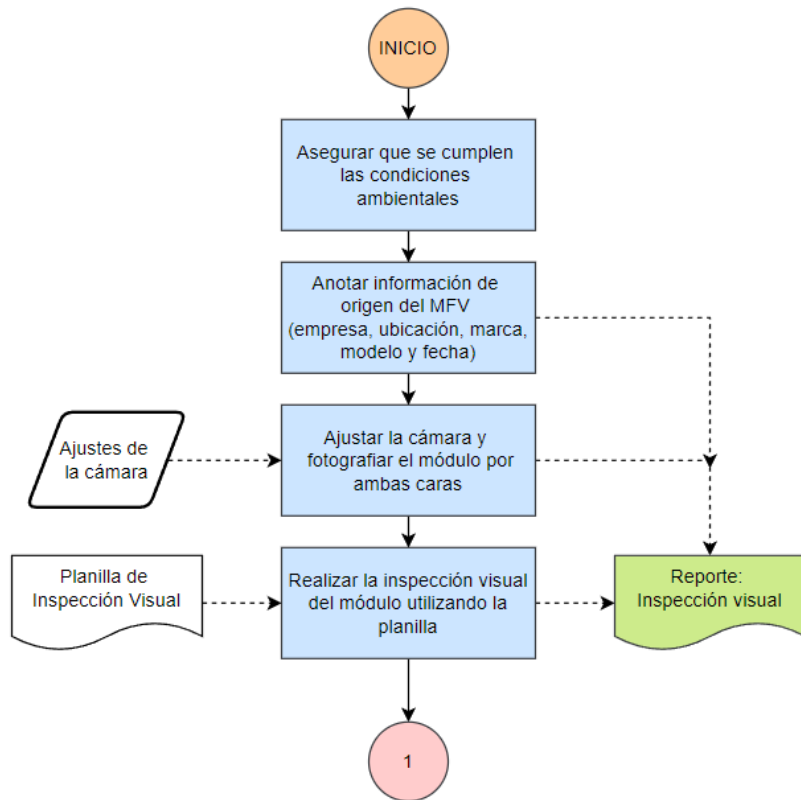


Figura 3.1. Diagrama de flujo de la prueba de inspección visual.

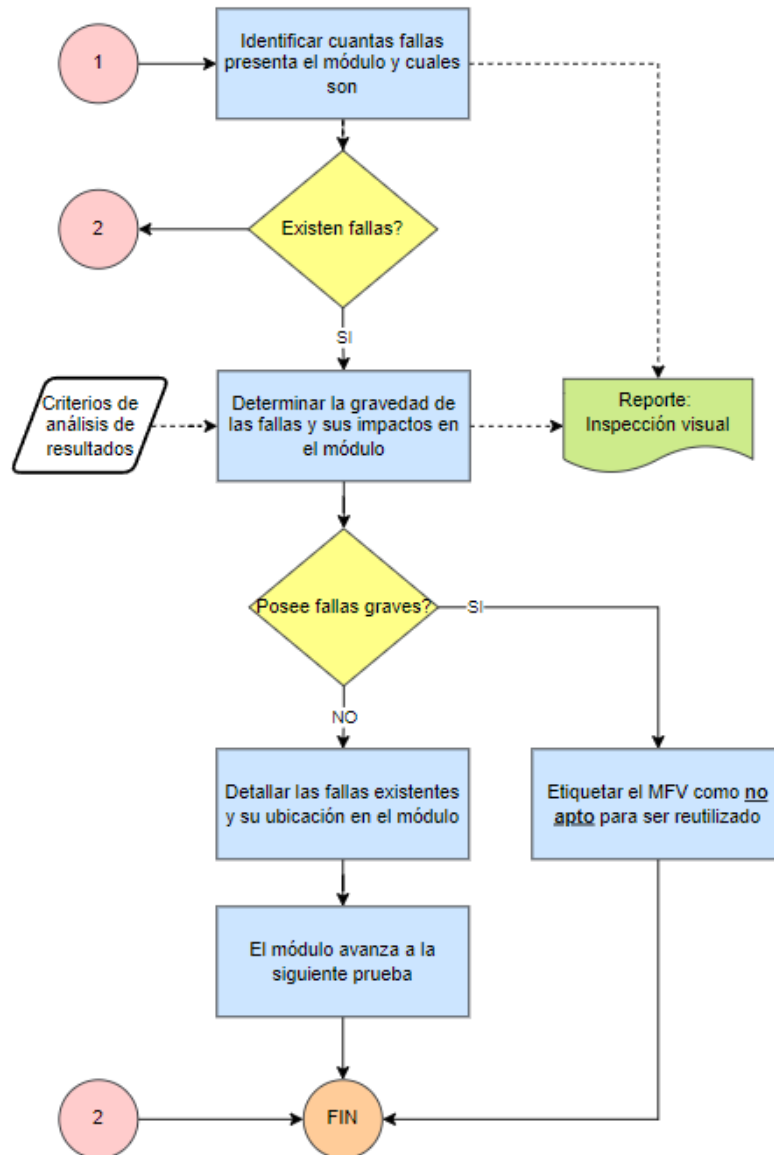


Figura 3.2. Diagrama de flujo del proceso de evaluación de resultados.

3.1 Ejecución de la prueba

En primer lugar, se debe configurar la cámara que se utilizará para tomar las fotos. Ya sea la cámara una unidad dedicada o la de un smartphone, es imprescindible ajustar de manera manual las propiedades de captura, esto con el objeto de mantener consistencia de colores entre imágenes. Los parámetros por ajustar, recomendados, pero no obligatorios, son los siguientes:

- Velocidad de obturación: 1/4 para condiciones de luz artificial, o similar, y 1/4000, para condiciones de luz natural al exterior.
- Sensibilidad (ISO): 200 o inferior.
- Balance de blancos: Luz natural o exterior, o similar.
- Apertura y Exposición (EV): los valores adecuados para mantener enfocado el MFV o la falla que se quiera registrar, evitando resplandores de gran proporción en la imagen.

Luego, los pasos a seguir son los siguientes:

1. Limpiar el módulo de polvo/tierra y cualquier otra suciedad que pueda obstaculizar la inspección.



Figura 3.3. Módulo con suciedad en la cara frontal.

2. Anotar información del origen del módulo (empresa, ubicación), marca, modelo y fecha en la planilla de inspección visual

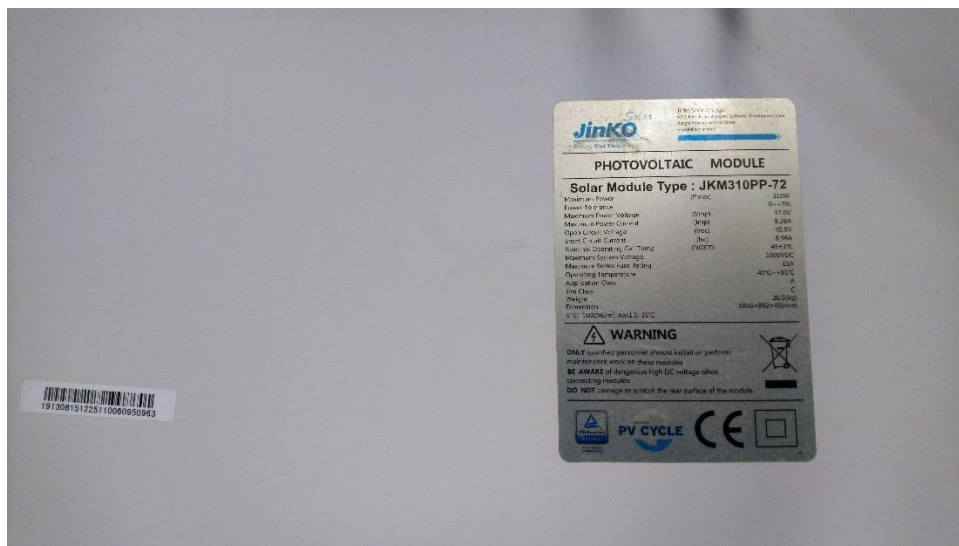


Figura 3.4. Etiquetas con los datos del módulo y número de serie.

3. Fotografiar el módulo por ambas caras, y fotografiar todas las fallas que puedan ser encontradas durante la inspección visual.



Figura 3.5. Módulo fotografiado por ambas caras.

4. Posicionar al módulo en el elemento de sujeción disponible para este fin (bastidor, mesón, etc..).

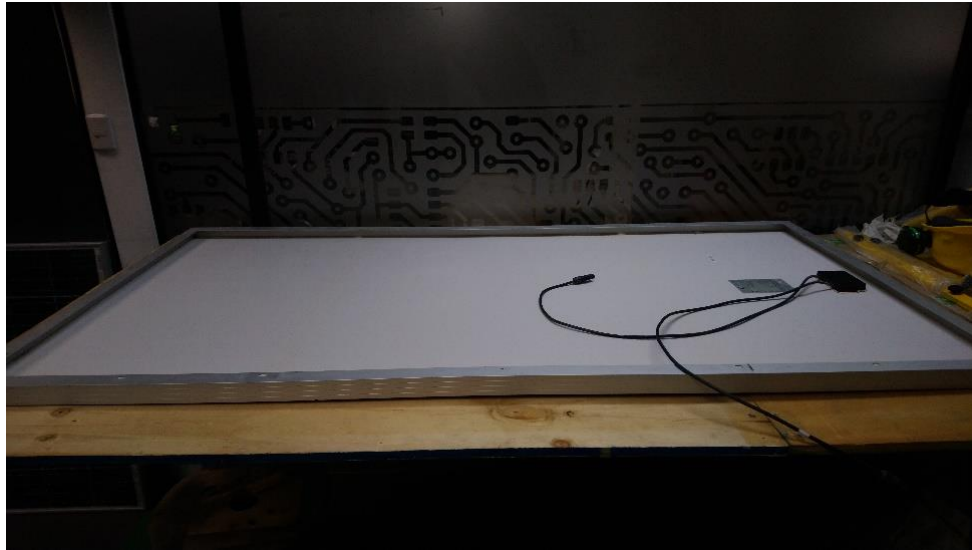


Figura 3.6. Imagen de referencia de un MFV posicionado boca abajo sobre el mesón.

5. (Opcional) Encender luminaria complementaria (en caso de ser necesario) y ajustar los dispositivos complementarios de observación (lupa o microscopio)

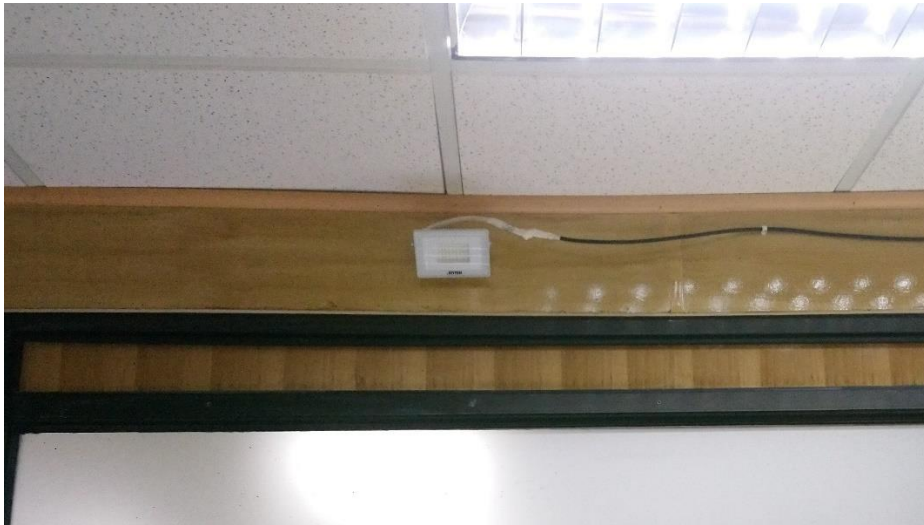


Figura 3.7. Reflector LED para iluminación del mesón (apagado).

6. Comenzar la inspección visual del módulo por la cara trasera, siguiendo el orden indicado en la planilla.

3. Vidrio trasero Aplica No aplica

Daño Sin daño Menor, localizado Extenso

Tipo de daño (marcar todos los que apliquen)

Rayado u otros daños que no sean grietas Roto (templado)

Roto (no templado) Agrietado (a.) Picado (b.)

(.a) Grietas (N.º) 1 2 3 4-10 >10

Grietas comienza desde: Esquina del módulo Borde del módulo

Celda Junction box

Lugar de impacto de un objeto externo

(.b) Picaduras (N.º) 1 2 3 4-10 >10

Lugar de las picaduras: Esquina del módulo Borde del módulo

4. Capa trasera Aplica No aplica

Apariencia: Como nueva Decoloración menor Decoloración grave

Textura: Como nueva Ondulada (no delaminada)

Ondulada (delaminada) Abollada

Degradación del material: Ninguna Menor Grave

Daño: Sin daño Menor, localizado Extenso

Tipo de daño (marcar todos los que apliquen)

Quemaduras (a.) Burbujas (b.)

Delaminación (c.) Grietas/Roturas (d.)

(.a.) Quemaduras (N.º) 1 2 3 4-10 >10

Figura 3.8. Extracto de la planilla, segunda página.

En el anexo 7.1, secciones 7.1.2 y 7.1.1, se muestran ejemplos de posibles fallas a encontrar en la capa trasera del MFV.

En el anexo 7.1, secciones 7.1.4 a 7.1.3, se muestran ejemplos de posibles fallas a encontrar en la metalización e interconexiones eléctricas en la parte trasera del MFV.

En el anexo 7.1, secciones 7.1.6 y 7.1.7, se muestran ejemplos de posibles defectos a encontrar en las conexiones eléctricas externas y junction box del MFV.

7. Cuando la planilla indique continuar con borde del módulo, es preciso entonces acomodar el MFV para revisar en detalle posibles defectos en el marco y sellante del borde.

En el anexo 7.1, sección 7.1.8, se muestran ejemplos de posibles defectos en el marco y bordes del MFV.

8. Cuando la planilla indique continuar con la cara frontal del módulo, dar vuelta el módulo de manera que la cara frontal quede mirando hacia arriba y continuar con la inspección.



Figura 3.9. Imagen de referencia de un MFV posicionado boca arriba sobre el mesón.

En el anexo 7.1 se muestran ejemplos de posibles fallas a encontrar en la parte frontal del MFV. Para MFV de silicio cristalino, referirse a sección 7.1.9. Para el caso de MFV de capa fina, revisar sección 7.1.10.

9. Analizar la condición del módulo y determinar si es apto para ser reutilizado o no.

4 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Se debe contar con criterios objetivos respecto a la condición en la que se encuentra el módulo, los cuales deben considerar la severidad de las fallas presentes (si las tuviese), posibles riesgos a la seguridad derivados de las fallas y la aplicación que se le dará al MFV.

El estándar IEC 61730 [3] entrega categorías de seguridad para módulos con fallas, siendo estas mostradas en la Tabla 4.1:

Tabla 4.1. Categorías de seguridad, estándar IEC 61730.

Categoría de seguridad	Descripción
A	La falla no tiene efectos en la seguridad
B (f, e, m)	Si una segunda falla ocurriese, la falla puede causar: fuego (f), descarga eléctrica (e) o daño físico (m)
C (f, e, m)	La falla causa un problema de seguridad de manera directa: fuego (f), descarga eléctrica (e) o daño físico (m).
D*	La falla podría ser reparable, siendo la seguridad no afectada de manera directa. La reparación es opcional para un uso seguro del dispositivo.
E*	La falla podría ser reparable, siendo la seguridad afectada en caso de no ser reparado el dispositivo. La reparación es obligatoria para un uso seguro.

*: propuestas a partir de este trabajo.

Es posible aplicar estas categorías a las fallas que se pueden encontrar durante una inspección visual (IEC 61215):

Fallas leves (A):

- Decoloración del encapsulante.
- Snail tracks.

- Burbujas en módulos cuya integridad estructural no dependa de la laminación de las capas u otros métodos de adhesión, y que no formen un paso directo entre la circuitería y el borde del módulo.
- Vidrio rayado.

Fallas moderadas (B):

- Delaminación.
- Daño por humedad.
- Vidrio agrietado en una sección pequeña y que no llega hasta el borde del módulo.
- Vidrio picado o trizado, de embergadura no reparable.
- Grietas en las celdas las cuales pudieran remover más del 10% del área activa de la celda del resto del circuito eléctrico del módulo.
- Celdas rotas, en donde el área desprendida no sea mayor al 10% del área de la celda.

Fallas graves (C):

- Pérdida de integridad estructural de magnitud tal que perjudicara el funcionamiento del módulo. (ej., Figura 7.36)
- Roturas o dobladuras del marco o los substratos de magnitud tal que perjudicaran el funcionamiento del módulo. (ej., Figura 7.35)
- Evidencia de cualquier area derretida o quemada del encapsulante, capa trasera, capa frontal o componente activo (celdas). (ej., Figura 7.16, Figura 7.39)
- Cualquier parte activa del circuito que se encuentre cortocircuitada o expuesta. (ej., Figura 7.3)
- Problemas de la Junction Box, no reparables. (ej., Figura 7.30, **Error! Reference source not found.**)
- Rotura del vidrio frontal o trasero. (ej., Figura 7.2, **Error! Reference source not found.**)
- Rotura de la capa trasera (backsheet). (ej., Figura 7.11)

- Burbujas o delaminaciones que formen un paso entre la circuitería y el borde del módulo. (ej., N.A.)
- Para módulos cuya integridad estructural dependa de la laminación de las capas u otro método de adhesión, la suma de todas las superficies con burbujas no puede superar el 1% del área total del módulo. (ej., N.A.)
- Vacíos o corrosión visible, de cualquiera de las capas activas de circuitería del módulo, que se extienda más allá del 10% de cualquier celda. (ej., **Error! Reference source not found.**, Figura 7.12)
- Terminales, juntas o interconexiones rotas internas del módulo. (Figura 7.14, **Error! Reference source not found.**)

Fallas, de cualquier nivel, que podrían ser reparables para su uso en generación de energía eléctrica (D, E)

Cuya reparación es opcional para continuar los ensayos (D):

- Sello del módulo en mal estado (paneles sin marco).
- Roturas o dobladuras del marco de mínima envergadura.
- Rasgaduras en el backsheet que no superan el 5% de una celda.
- Vidrio picado o trizado, de envergadura reparable.
- Módulos cuyas etiquetas sean ilegibles o no se encuentren presentes.

Cuya reparación es obligatoria para continuar los ensayos (E):





- Problemas de la Junction Box.
- Diodos de derivación defectuosos.
- Terminales, juntas, conectores u otro elemento eléctrico desde la junction box hacia el exterior del módulo que tengan defectos graves.
- Rasgaduras en el backsheet que no superan el tamaño de una celda.
- Roturas en el backsheet que exponen áreas activas pero no presentan marcas de quemadura.

Cualquier tipo de falla reparable, debe ser reparada para el adecuado uso del MFV.

Fotografías de fallas, a modo de ejemplo, se pueden encontrar en el Anexo 7.1

Si un MFV presenta una falla grave o tres fallas moderadas se considera no apto para ser reutilizado.

Un MFV será etiquetado de la siguiente forma:

Etiqueta	Veredicto	Criterio
 	El MFV pasa la prueba <u>Podría ser reparado</u> (reparación opcional para las pruebas, pero obligatoria para la generación de electricidad).	No presenta fallas o sólo tiene fallas tipo A o del tipo D, o bien, presenta a lo más dos tipo B. Se cataloga de “podría ser reparado” en caso de observar fallas tipo D
	El MFV no pasa la prueba, pero podría ser reparable (reparación obligatoria para continuar las pruebas).	Presenta al menos una falla tipo E y a lo más dos fallas tipo B. No presenta fallas tipo C.
	El MFV no es apto para generación	Presenta una o más fallas tipo C, o tres o más tipo B.

5 RECOMENDACIONES

Es importante no forzar las junction box para abrirlas, ya que estas podrían ser dañadas, o bien podría ser una junction box sellada, la cual no está diseñada para ser abierta. En caso de no estar seguro si una junction box se puede abrir o el cómo abrirla, es preferible no intentarlo y anotar en la planilla que la junction box no se puede abrir.

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

V"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:

V90204-220102_1015

6 BIBLIOGRAFÍA

- [1] IEA-PVPS, «Review of Failures of Photovoltaic Modules,» IEA PVPS, 2014.
- [2] IEC, «IEC 61215-1 Design qualification and type approval - Part 1: Test requirements,» International Electrotechnical Commission, Geneva, Suiza, 2016.
- [3] IEC, «IEC 61730-1 Photovoltaic (PV) module safety qualification - Part 1: Requirements for construction,» International Electrotechnical Commission, Geneva, Suiza, 2016.
- [4] BET-SOLAR, «<https://betsolar.es>,» 06 07 2021. [En línea]. Available: <https://betsolar.es/la-tecnologia-bus-bar-en-los-paneles-fotovoltaicos/>. [Último acceso: 06 07 2021].
- [5] <https://www.solar-junction-box.com>, «<https://www.solar-junction-box.com>,» 06 07 2021. [En línea]. Available: https://www.solar-junction-box.com/product_category/31695.html. [Último acceso: 06 07 2021].
- [6] «<https://www.sfe-solar.com>,» 06 07 2021. [En línea]. Available: <https://www.sfe-solar.com/noticias/articulos/modulo-fotovoltaico-caja-conexiones-diodos-proteccion-bypass/>. [Último acceso: 06 07 2021].
- [7] IEC, «IEC 61215-2 Design qualification and type approval - Part 2: Test procedures,» International Electrotechnical Commission, Geneva, Suiza, 2016.

7 ANEXOS

7.1 Fallas detectables mediante inspección visual

7.1.1 Defectos en Vidrio Trasero o Frontal



Figura 7.1. Rayas en el vidrio delantero de un módulo FV



Figura 7.2. Vidrio templado roto



Figura 7.3. Vidrio severamente agrietado ¹

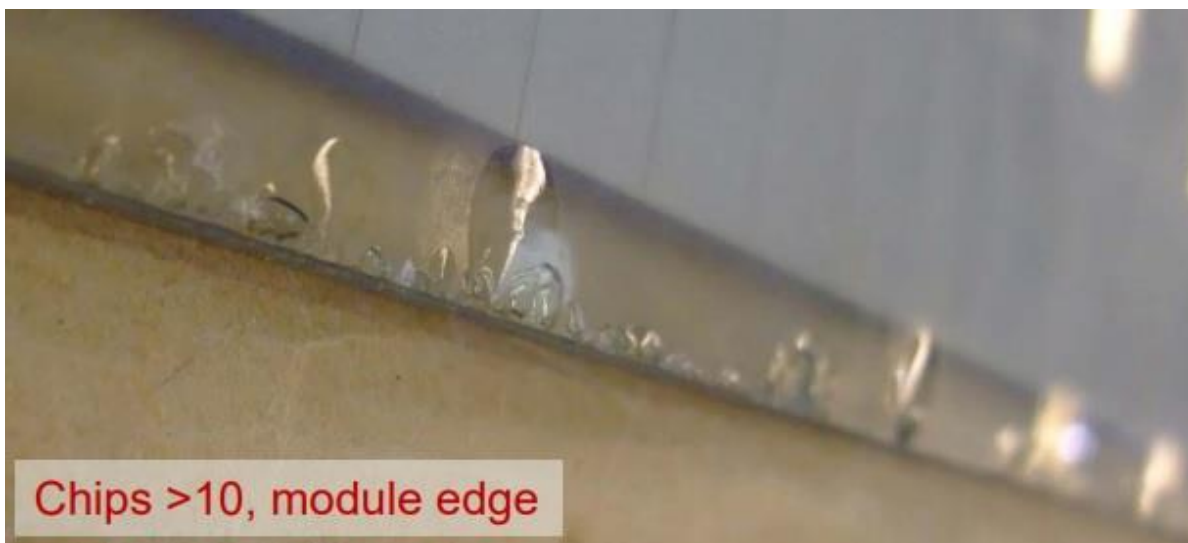


Figura 7.4. Picaduras en el borde de un panel sin marco ²

¹ IEA-PVPS T13-01:2014

² NREL/TP-5200-56154

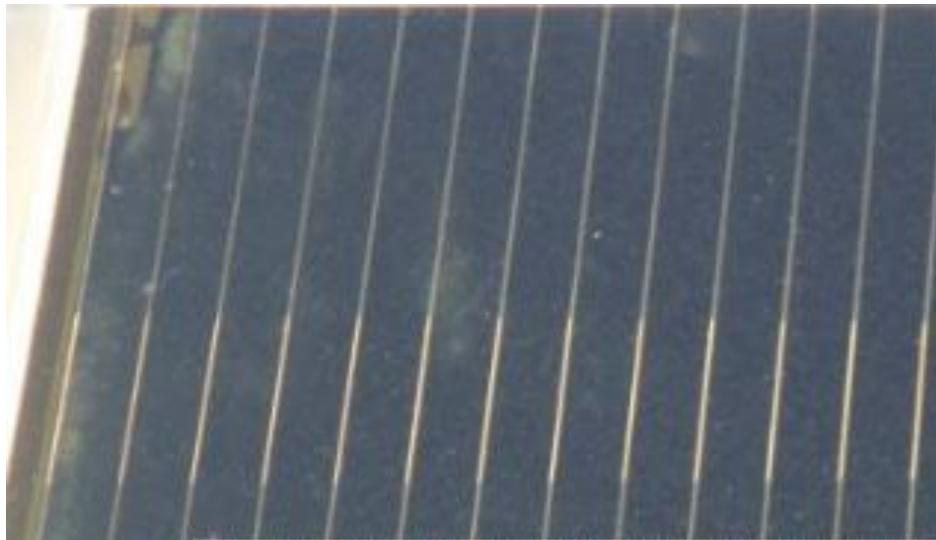


Figura 7.5. Módulo con una decoloración ligera y difusa, la cual tiene aspecto de empañamiento.

7.1.2 Defectos en Backsheet / Capa trasera



Figura 7.6. Decoloración severa de la capa trasera ³

³ <https://www.solarpowerworldonline.com/2016/09/backsheets-ruining-solar-panels/>



Figura 7.7. Polvo blanco proveniente de una capa trasera degradada



Figura 7.8. Marca de quemadura en la capa trasera



Figura 7.9. Burbujas pequeñas en la capa trasera ⁴



Figura 7.10. Delaminación de la capa trasera manifestada como una burbuja de grandes dimensiones⁵

⁴ <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0038092X19302798>

⁵ IEA-PVPS T13-01:2014



Figura 7.11. Rotura de la capa trasera.

7.1.3 Defectos en la Metalización (trasera o frontal)



Figura 7.12. Corrosión en la metalización de una celda de silicio policristalino.⁶

⁶ <https://www.eco-greenenergy.com/why-is-salt-mist-corrosion-testing-important-to-solar-panels/>



Figura 7.13. Difusión de la metalización en una celda (snail trails).

7.1.4 Defectos en Interconexión de Celdas (trasera o frontal)



Figura 7.14. Cinta de interconexión de celdas rota.

7.1.5 Defectos en Interconexión de Strings (trasera o frontal)



Figura 7.15. Quemadura en los puntos de unión entre ribbons de celda y ribbon de string.



Figura 7.16. Marcas de quemadura.

7.1.6 Defectos en Cables y Conectores



Figura 7.17. Módulo con un cable faltante.



Figura 7.18. Cables aplastados, aún flexibles (desgastados).



Figura 7.19. Cables quebradizos.

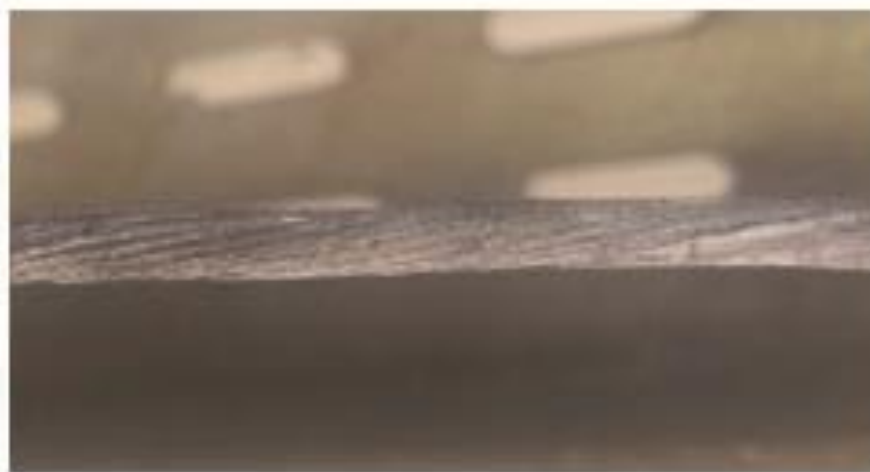


Figura 7.20. Cable quemado ⁷

⁷ <https://renewablewatch.in/2018/07/09/white-paper-solar-dc-cables/>



Figura 7.21. Cable agrietado con una rotura en el aislamiento



Figura 7.22. Cable mordisqueado por un animal ⁸

⁸ NREL/PR-5200-56781



Figura 7.23. Módulo con un conector faltante.



Figura 7.24. Conectores quebradizos.



Figura 7.25. Conectores quemados ⁹



Figura 7.26. Conector aplastado, degradado pero funcional.

⁹ <https://pv-magazine-usa.com/2016/09/07/burnt-out-incompatible-connectors/>

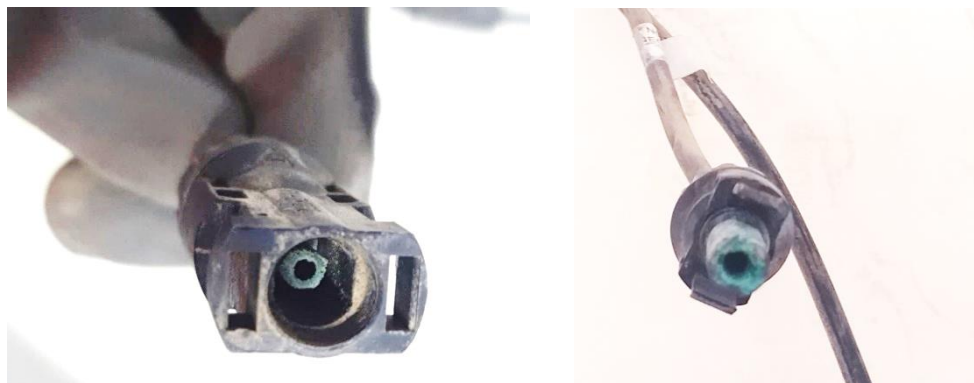


Figura 7.27. Conector corroído.



Figura 7.28. Conector y cable roídos por un animal ¹⁰

¹⁰ <https://pveducation.com/solar-installation-failures/squirrel-damage/>

7.1.7 Defectos en la Caja de Empalme (Junction Box)



Figura 7.29. Junction Box agrietada.

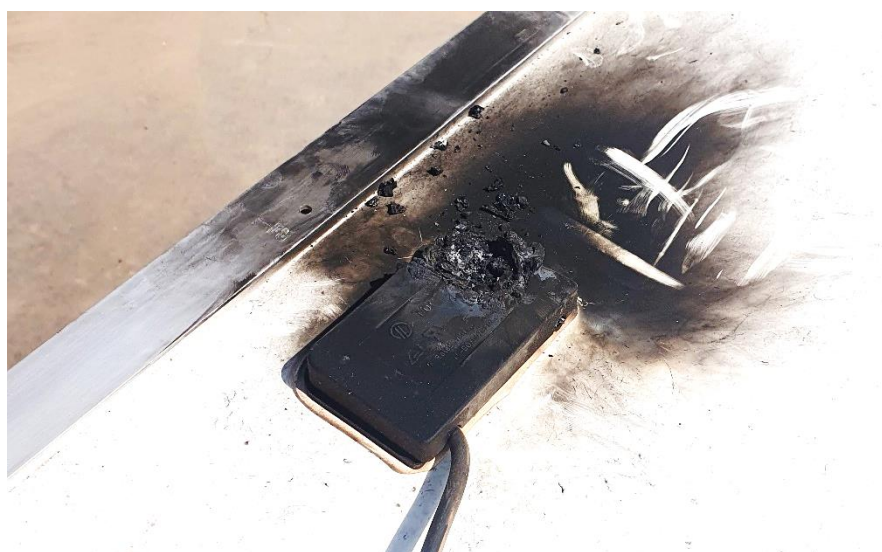


Figura 7.30. Junction box quemada.



Figura 7.31. Junction Box desprendida ¹¹



Figura 7.32. Tapa de la Junction Box agrietada.

¹¹ NREL/PR-5200-56781

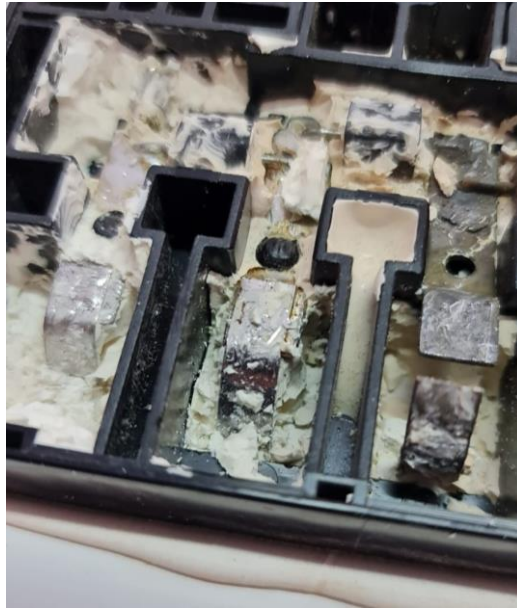


Figura 7.33. Conexiones en la Junction Box sueltas.



Figura 7.34. Junction box con una conexión interna y diodo de derivación quemados y destruidos.

7.1.8 Defectos en el Marco



Figura 7.35. Marco doblado debido a la acumulación excesiva de nieve ¹²



Figura 7.36. Marco con juntas separadas

¹² IEA-PVPS T13-01:2014



Figura 7.37. Corrosión severa en un punto del marco ¹³

7.1.9 Defectos particulares en Cara Frontal de Módulos c-Si



Figura 7.38. Decoloración del encapsulante en celdas de silicio ¹⁴

¹³ https://millersolar.com/MillerSolar/case_studies/marine_corrosion/Marine_corrosion.html

¹⁴ <https://www.hindawi.com/journals/ijp/2012/396792/>

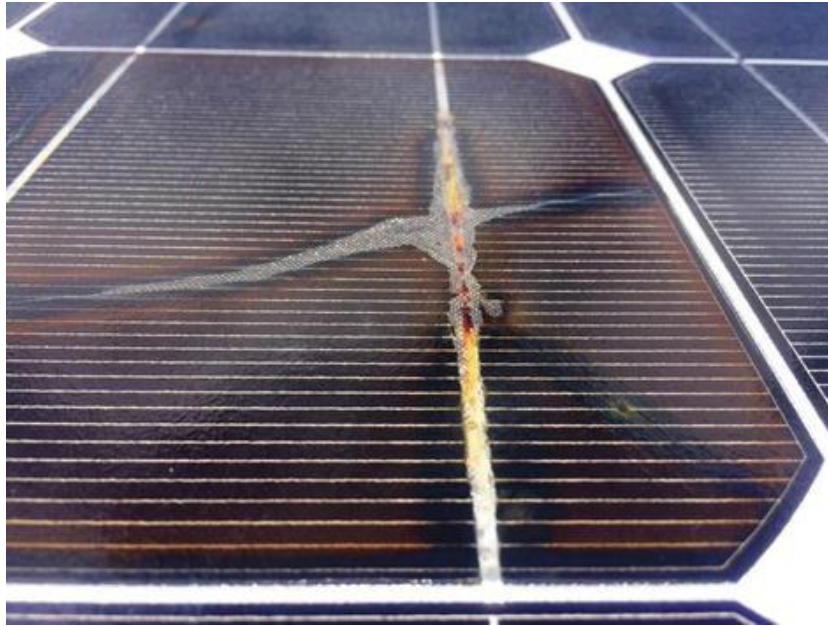


Figura 7.39. Quemadura severa en una celda de silicio ¹⁵

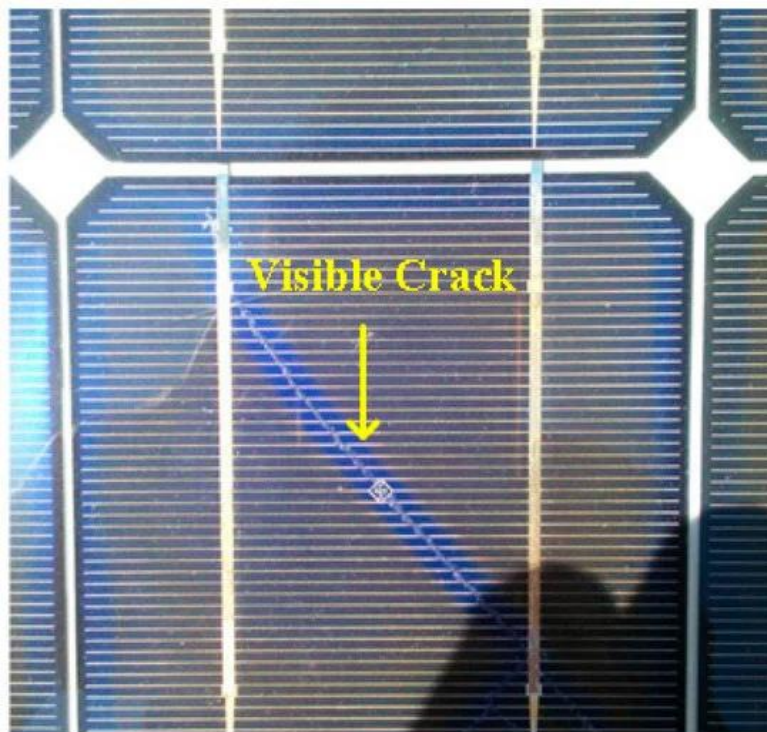


Figura 7.40. Grieta en una celda de silicio visible a simple vista ¹⁶

¹⁵ <https://www.intechopen.com/chapters/60175>

¹⁶ <https://www.mdpi.com/1996-1073/12/23/4547>



Figura 7.41. Snail tracks en un módulo de silicio.



Figura 7.42. Celdas de silicio policristalino delaminadas ¹⁷

¹⁷ <https://review.solar/solar-panel-delamination/>

7.1.10 Defectos particulares en Cara Frontal de Módulos de Capa Fina

PLACEHOLDER

Figura 7.43. Decoloración en un módulo de capa fina

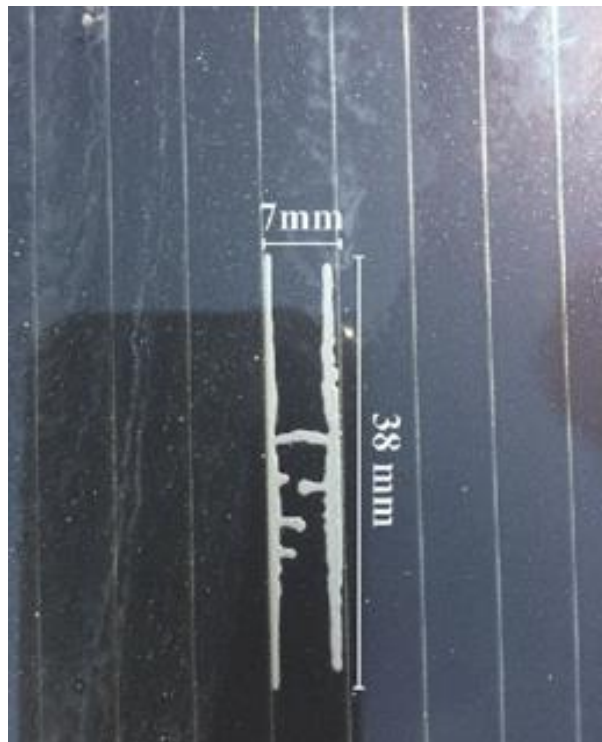


Figura 7.44. Marca de quemadura en un módulo CIS ¹⁸

¹⁸https://www.researchgate.net/publication/332536469_Effects_of_Aging_and_Environmental_Factors_on_Performance_of_Cd_Te_and_CIS_Thin-Film_Photovoltaic_Modules

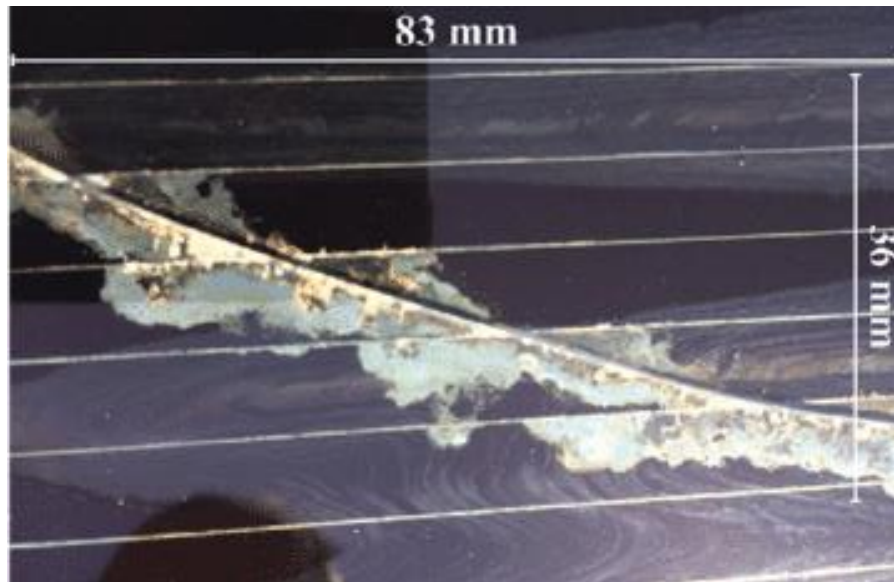


Figura 7.45. Grieta en un módulo CdTe ¹⁹

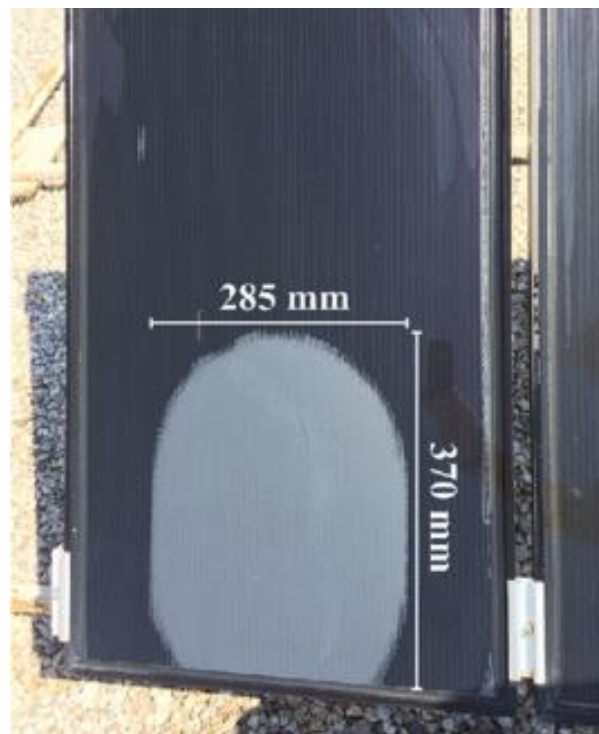


Figura 7.46. Delaminación de un módulo CIS ²⁰

¹⁹https://www.researchgate.net/publication/332536469_Effects_of_Aging_and_Environmental_Factors_on_Performance_of_Cd_Te_and_CIS_Thin-Film_Photovoltaic_Modules

²⁰https://www.researchgate.net/publication/332536469_Effects_of_Aging_and_Environmental_Factors_on_Performance_of_Cd_Te_and_CIS_Thin-Film_Photovoltaic_Modules

Planilla de Inspección Visual

2. Capa trasera Aplica No aplica

Apariencia: Como nueva Decoloración menor Decoloración grave

Textura: Como nueva Ondulada (no delaminada)
 Ondulada (delaminada) Abollada

Degradación del material: Ninguna Menor Grave

Daño: Sin daño Menor, localizado Extenso

Tipo de daño (marcar todos los que apliquen)

Quemaduras (a.) Burbujas (b.)
 Delaminación (c.) Grietas/Roturas (d.)

(a.) Quemaduras (N.º) 1 2 3 4-10 >10
Porcentaje del área quemada
 <5% 5-25% 50% 75-100% (consistente)

(b.) Burbujas (N.º) 1 2 3 4-10 >10
Diámetro promedio de las burbujas
 <5 mm 5-30 mm >30 mm
Porcentaje del área con burbujas mayores a 5 mm de diámetro
 <5% 5-25% 50% 75-100% (consistente)

(c.) Porcentaje del área delaminada
 <5% 5-25% 50% 75-100% (consistente)
Porcentaje del área delaminada que exponga circuitos o celdas
 <5% 5-25% 50% 75-100% (consistente)

(d.) Grietas/Roturas (N.º) 1 2 3 4-10 >10
Ubicación de las grietas/roturas
 Aleatorio/sin patrón Sobre las celdas Entre las celdas
Porcentaje del área afectada por grietas/roturas
 <5% 5-25% 50% 75-100% (consistente)
Porcentaje de las grietas/roturas que expongan circuitos
 <5% 5-25% 50% 75-100% (consistente)

Planilla de Inspección Visual

3. Metalización de la cara trasera (solo para paneles bifaciales)

Gridlines No aplica/Apenas visibles Aplica

Apariencia Como nuevo Decoloración clara (a.)
 Decoloración oscura (a.)

(a.) Porcentaje del área decolorada

<5% 5-25% 50% 75-100% (consistente)

Comentarios:

Busbars No aplica/No observable Aplica

Apariencia Como nuevo Decoloración clara (a.)
 Decoloración oscura (a.)

(a.) Porcentaje del área decolorada

<5% 5-25% 50% 75-100% (consistente)

(marcar todas las que apliquen)

Corrosión notoria
 Notoriamente desalineadas Quemadura(s) Difusa(s)

Comentarios:

Interconexión de Celdas No aplica/No observable Aplica

Apariencia Como nuevo Decoloración clara (a.)
 Decoloración oscura (a.)

(a.) Porcentaje del área decolorada

<5% 5-25% 50% 75-100% (consistente)

(marcar todas las que apliquen)

Quemaduras Roturas
 Corrosión notoria

Comentarios:

Interconexión de Strings No aplica/No observable Aplica

Apariencia Como nuevo Decoloración clara (a.)
 Decoloración oscura (a.)

(a.) Porcentaje del área decolorada

<5% 5-25% 50% 75-100% (consistente)

(marcar todas las que apliquen)

Quemaduras Corrosión notoria
 Marcas de arcos (quemaduras pequeñas y delgadas) Roturas

Comentarios:

Planilla de Inspección Visual

4. Cables y Conectores

Cables (marcar todos los que apliquen) Faltantes Como nuevos
 Flexibles, pero desgastados Quebradizo Quemado
 Agrietado/Aislación degradada Corroídos Daño por animales

Conectores (marcar todos los que apliquen) Faltantes Como nuevos
 Flexibles, pero desgastados Quebradizo Quemado
 Agrietado/Aislación degradada Corroídos Daño por animales

Tipo: Incierto MC3 o MC4 Tyco Solarlok Otro

Comentarios: _____

5. Junction Box

Junction box No aplica/No observable Aplica
Condición Física (marcar todos los que apliquen) Intacta Deformada
 Poco sólida Desgastada Agrietada Quemada Suelta

Tapa: Intacta/Sellada Suelta Agrietada No presente

Adhesivo de la Junction Box No aplica/No observable Aplica
Adhesión Bien adherida Suelto/Quebradizo Desprendido
Flexibilidad Como nuevo Flexible, pero desgastado
 Quebradizo

Conexión de los cables en la Junction box No aplica/No observable
 Aplica
Conexión Bien conectado Suelto Desprendido
Sello En buen estado En mal estado
Otro Hizo arco/Se incendió

Se tomaron fotos de: Cara trasera, sticker y Junction Box? Si

CONTINUAR LA INSPECCIÓN POR LOS LATERALES DEL MÓDULO

Planilla de Inspección Visual

6. Marco (ambas caras) No aplica Aplica

Apariencia Como nuevo Dañado (a.) Faltante
(a.) (marcar todas las que apliquen) Agrietamiento Decoloración
 Separación de juntas Marco Doblado
 Corrosión menor Corrosión grave

Adhesivo del marco Como nuevo/No visible Degradado (a.)
(a.) (marcar todas las que apliquen) Se filtró adhesivo hacia el exterior
 Adhesivo faltante en algunas zonas

7. Sello del borde de paneles sin marco No aplica Aplica

Apariencia Como nuevo Decoloración (a.) Degradado
(a.) Porcentaje afectado por la decoloración
 <5% 5-25% 50% 75-100% (consistente)

Problemas del material Exprimido/Pellizcado hacia el exterior
 Muestra signos de penetración de humedad

Delaminación Ninguna Area(s) delaminada(s) (a.)
(a.) Porcentaje del área delaminada
 <5% 5-25% 50% 75-100% (consistente)

CONTINUAR LA INSPECCION EN LA CARA DELANTERA DEL MODULO

Planilla de Inspección Visual

8. Vidrio/Polímero (frontal):

Material Vidrio Polímero Compuesto vidrio/polímero
 Desconocido

Características Liso Ligeramente texturizado
 Textura piramidal/ondulada Película antirreflectante

Daño Sin daño Menor, localizado Extenso

Tipo de daño (marcar todos los que apliquen)

Rayaduras u otros daños que no sean grietas Roto (templado)
 Roto (no templado) Agrietado (a.)
 Picado (b.) Aspecto empañado (c.)

(.a) Grietas (N.º) 1 2 3 4-10 >10

Grietas comienza desde: Esquina del módulo Borde del módulo
 Celda Otro lugar
 Lugar de impacto de un objeto externo

(.b) Picaduras (N.º) 1 2 3 4-10 >10

Lugar de las picaduras: Esquina del módulo Borde del módulo

(.c) Porcentaje del área afectada
 <5% 5-25% 50% 75-100% (consistente)

Planilla de Inspección Visual

9. Metalización Frontal

Gridlines No aplica/Apenas visibles Aplica
Apariencia Como nuevo Decoloración clara (a.)
 Decoloración oscura (a.)
(a.) Porcentaje del área decolorada
 <5% 5-25% 50% 75-100% (consistente)

Comentarios: _____

Busbars No aplica/No observable Aplica
Apariencia Como nuevo Decoloración clara (a.)
 Decoloración oscura (a.)
(a.) Porcentaje del área decolorada
 <5% 5-25% 50% 75-100% (consistente)
(marcar todas las que apliquen) Corrosión notoria
 Notoriamente desalineadas Quemadura(s) Difusa(s)

Comentarios: _____

Interconexión de Celdas No aplica/No observable Aplica
Apariencia Como nuevo Decoloración clara (a.)
 Decoloración oscura (a.)
(a.) Porcentaje del área decolorada
 <5% 5-25% 50% 75-100% (consistente)
(marcar todas las que apliquen) Quemaduras Roturas
 Corrosión notoria

Comentarios: _____

Interconexión de Strings No aplica/No observable Aplica
Apariencia Como nuevo Decoloración clara (a.)
 Decoloración oscura (a.)
(a.) Porcentaje del área decolorada
 <5% 5-25% 50% 75-100% (consistente)
(marcar todas las que apliquen) Quemaduras Corrosión notoria
 Marcas de arcos (quemaduras pequeñas y delgadas) Roturas

Comentarios: _____

Planilla de Inspección Visual

10. Módulos de Silicio (excepto amorfo) No aplica Aplica

Decoloración Ninguna/Como nuevo Decoloración clara
 Decoloración oscura

N.º de celdas decoloradas: _____

De aquellas celdas, porcentaje promedio del área decolorada

<5% 5-25% 50% 75-100% (consistente)

Ubicación de la decoloración (marcar todas las que apliquen):

Centro del módulo Borde del módulo Centro de las celdas
 Borde de las celdas Sobre las gridlines Sobre las busbars
 Sobre el interconector de celdas Celdas mas oscuras que otras
 Decoloración parcial de la celda Entre celdas

Comentarios: _____

Área de la Junction Box Igual que en las otras áreas
 Más afectada Menos afectada

Daño Sin daño Menor, localizado Extenso

(marcar todas las que apliquen) Quemaduras (a.) Humedad

Roturas (b.) Snail Tracks (c.) Partículas Externas

(a.) Quemaduras (N.º) 1 2 3 4-10 >10

(b.) Numero de celdas agrietadas _____

(c.) Numero de celdas con snail tracks _____

Comentarios: _____

Delaminación Ninguna Desde los bordes Entre celdas (a.)

Sobre las celdas (b) Uniforme En las esquinas

Cerca de la Junction box Cerca de una interconexión

(a.) Porcentaje de la delaminación entre las celdas

<5% 5-25% 50% 75-100% (consistente)

(a.) Porcentaje de la delaminación sobre las celdas

<5% 5-25% 50% 75-100% (consistente)

Interfaces mas probables de haberse delaminado (elegir 2)

Vidrio Semiconductor Encapsulante

Capa trasera Busbar

Comentarios: _____

Planilla de Inspección Visual

11. Modulo de capa fina No aplica Aplica

Apariencia Como nuevo Decoloración ligera/clara
 Decoloración grave/oscuro

Tipo de decoloración (marcar todas las que apliquen)
 Degradación jaspeada Tinción café Otro

Ubicación de la decoloración (marcar todas las que apliquen):
 Sin patrón Borde del módulo Centro del módulo
 Cerca de grietas Borde de las celdas Centro de las celdas

Daño Sin daño Menor, localizado Extenso

Tipo de daño (marcar todos los que apliquen) Quemaduras
 Grietas Humedad Partículas externas

Delaminación Sin delaminación Menor, localizada Extenso

Ubicación (marcar todas las que apliquen): Desde los bordes
 Uniforme En las esquinas Cerca de la Junction box
 Cerca de una busbar A lo largo de las lineas

Interfaces mas probables de haberse delaminado (elegir 2)
 Vidrio Semiconductor Encapsulante Busbar

Tipo de delaminación Delaminación de la capa "absorbente"
 Delaminación de la capa antirreflejo Otro

Planilla de Inspección Visual

Se tomaron fotos de las partes del MFV? Sí No

12. Registro Electrónico

Checklist: Indicar el nombre de las fotografías de:

Cara Frontal _____

Cara Trasera _____

Etiqueta _____

Junction Box _____

¿Se presentan fallas en el MFV? Sí No

Descripción de la falla	Nombre del archivo fotográfico que lo evidencia

13. Otros Comentarios