

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERIA ELECTRICA



# **Ensayos en Módulos Fotovoltaicos bajo normas IEC y ASTM.**

PRESENTADO POR:

**JORGE ALBERTO AGUILAR AGUIRRE**

PARA OPTAR AL TITULO DE:

**INGENIERO ELECTRICISTA**

CIUDAD UNIVERSITARIA, SEPTIEMBRE 2014

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**

**RECTOR :**

**ING. MARIO ROBERTO NIETO LOVO**

**SECRETARIA GENERAL :**

**DRA. ANA LETICIA ZAVALITA DE AMAYA**

**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**

**DECANO :**

**ING. FRANCISCO ANTONIO ALARCÓN SANDOVAL**

**SECRETARIO :**

**ING. JULIO ALBERTO PORTILLO**

**ESCUELA DE INGENIERIA ELECTRICA**

**DIRECTOR :**

**ING. JOSE WILBER CALDERON URRUTIA**

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERIA ELECTRICA

Trabajo de Graduación previo a la opción al Grado de:

**INGENIERO ELECTRICISTA**

Título :

**Ensayos en Módulos Fotovoltaicos bajo  
normas IEC y ASTM.**

Presentado por :

**JORGE ALBERTO AGUILAR AGUIRRE**

Trabajo de Graduación Aprobado por :

Docente Director :

**ING. JORGE ALBERTO ZETINO CHICAS**

San Salvador, Septiembre 2014

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Director :

**ING. JORGE ALBERTO ZETINO CHICAS**

## ÍNDICE

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	3
ÍNDICE DE TABLAS .....	4
AGRADECIMIENTOS .....	5
RESUMEN .....	6
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	8
OBJETIVOS .....	10
OBJETIVO GENERAL.....	10
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	10
CAPÍTULO 1: MARCO TEÓRICO. ....	11
1.1 ORGANIZACIONES DE NORMALIZACIÓN.....	12
1.1.1 <i>International Electrotechnical Commission (IEC)</i> .....	12
1.1.2 <i>American Society for Testing and Materials (ASTM)</i> .....	18
1.1.3 <i>Selección de normativa a utilizar.</i> .....	23
1.1.4 <i>Esquema de Certificación y ensayos de sistemas fotovoltaicos bajo normas UL.</i> .....	27
CAPÍTULO 2: DISEÑO METODOLÓGICO.....	31
2.1 PRE-DIAGNÓSTICO DE ENSAYOS .....	32
2.1.1 <i>Ensayo de Inspección Visual</i> .....	32
2.1.2 <i>Ensayo de determinación de características eléctricas en condiciones normalizadas.</i> .....	35
2.1.3 <i>Ensayo de Aislación eléctrica</i> .....	51
2.1.4 <i>Ensayo de torsión</i> .....	53
2.1.5 <i>Ensayo de carga mecánica</i> .....	55
2.1.6 <i>Ensayo de exposición a la radiación ultravioleta</i> .....	57
2.1.7 <i>Ensayo de resistencia al impacto de granizo</i> .....	61
2.1.8 <i>Ensayo de ciclado térmico</i> .....	63
2.1.9 <i>Ensayo de calentamiento húmedo</i> .....	66
2.1.10 <i>Ensayo de corrosión por ambiente salino</i> .....	68
2.2 DIAGNÓSTICO. ....	70
2.2.1 <i>Ensayo de Inspección visual:</i> .....	70
2.2.2 <i>Ensayo de determinación de características eléctricas en condiciones normalizadas:</i> .....	71
2.2.3 <i>Ensayo de Aislación eléctrica:</i> .....	71
2.2.4 <i>Ensayo de torsión:</i> .....	72
2.2.5 <i>Ensayo de carga mecánica:</i> .....	73
2.2.6 <i>Ensayo de exposición a la radiación ultravioleta:</i> .....	73
2.2.7 <i>Ensayo de resistencia al impacto de golpes:</i> .....	74
2.2.8 <i>Ensayo de ciclado térmico</i> .....	74
2.2.9 <i>Ensayo de calentamiento húmedo</i> .....	75
2.2.10 <i>Ensayo de corrosión por ambiente salino</i> .....	75
2.3 EJECUCIÓN DE ENSAYOS POR GUÍAS DE TRABAJO.....	76
2.3.1 <i>Desarrollo de guía "Ensayo de inspección visual"</i> .....	78
2.3.2 <i>Ensayo de determinación de características eléctricas en condiciones normalizadas.</i> .....	85

## *Ensayos en módulos fotovoltaicos bajo normas IEC y ASTM*

2.3.3	<i>Ensayo de determinación de características eléctricas en condiciones normalizadas Con cámara de irradiación.....</i>	89
2.3.4	<i>Desarrollo de guía "Ensayo de aislación eléctrica". .....</i>	92
2.3.5	<i>Desarrollo de guía "Ensayo de torsión".....</i>	94
2.3.6	<i>Desarrollo de guía "Ensayo de carga mecánica". .....</i>	96
2.3.7	<i>Desarrollo de guía "Ensayo de exposición a la radiación ultravioleta".....</i>	98
2.3.8	<i>Desarrollo de guía "Ensayo de exposición a la radiación ultravioleta Método alterno" ..</i>	100
2.3.9	<i>Desarrollo de guía "Ensayo de resistencia al impacto de golpes".....</i>	101
2.3.10	<i>Desarrollo de guía "Ensayo de ciclado térmico". .....</i>	103
2.3.11	<i>Desarrollo de guía "Ensayo de calentamiento húmedo". .....</i>	105
2.3.12	<i>Desarrollo de guía "Ensayo corrosión por niebla salina". .....</i>	106
CAPÍTULO 3: RESULTADOS OBTENIDOS. ....		109
RECOMENDACIONES.....		175
CONCLUSIONES .....		177
BIBLIOGRAFÍA .....		184
ANEXOS .....		186
<b>Anexo I. Equipo requerido en la ejecución de los ensayos fotovoltaicos .....</b>		187
<b>Anexo II. Introducción de los resultados obtenidos en la base de datos.....</b>		197
<b>Anexo III. Cotización de equipo a adquirir. ....</b>		218

## **ÍNDICE DE ILUSTRACIONES**

Ilustración 0 Esquema de Certificación y ensayos de sistemas fotovoltaicos. ....	27
Ilustración 1 Ejemplos típicos de rajadura y rotura de celdas .....	33
Ilustración 2 Ejemplos típicos de defectos en la interconexión entre celdas (Izquierda) y defectos en la grilla de conexión (Derecha) .....	34
Ilustración 3 Ejemplos típicos de defectos por contacto entre celdas (Superior izquierda), contacto entre celdas y marco (Inferior izquierda) y burbujas formando un camino continuo entre cualquier parte del circuito y el marco .....	34
Ilustración 4 Aspecto típico de la respuesta espectral absoluta de distintos dispositivos fotovoltaicos de silicio (a: amorfo; m: monocristalino; p: policristalino). ....	42
Ilustración 5 Curvas características a irradiancia constante. ....	500
Ilustración 6 Puntos de impacto de granizo .....	62
Ilustración 7 Características del ciclado térmico.....	64
Ilustración 8 Hoja plantilla para las guías de ensayos.....	77

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 0 Cuadro de Resumen de ensayos en PFV su objeto así como su norma de referencia.....	24
Tabla 1 Certificación y ensayos de sistemas fotovoltaicos normas IEC y UL .....	30
Tabla 2 Cuadro de Resumen de los recursos necesarios para realizar el ensayo de inspección visual. ....	35
Tabla 3 Porcentaje de Irradiancia total comprendida entre 0,4 y 1,1 $\mu\text{m}$ de la curva AM 1,5 en los intervalos de interés. ....	41
Tabla 4 Cuadro de Resumen de los recursos necesarios para realizar el ensayo de determinación de características eléctricas en condiciones normalizadas.....	51
Tabla 5 Cuadro de Resumen de los recursos necesarios para realizar el ensayo de aislación eléctrica. ....	53
Tabla 6 Cuadro de Resumen de los recursos necesarios para realizar el ensayo de torsión.....	55
Tabla 7 Cuadro de Resumen de los recursos necesarios para realizar el ensayo de carga mecánica. ....	57
Tabla 8 Cuadro de Resumen de los recursos necesarios para realizar el ensayo de exposición a la radiación .....	60
Tabla 9 Masas de esferas de hielo y velocidad de impacto .....	61
Tabla 10 Cuadro de Resumen de los recursos necesarios para realizar el ensayo de resistencia al impacto de granizo. ....	63
Tabla 11 Cuadro de Resumen de los recursos necesarios para realizar el ensayo de ciclado térmico.....	66
Tabla 12 Cuadro de Resumen de los recursos necesarios para realizar el ensayo de calentamiento húmedo. ....	67
Tabla 13 Cuadro de Resumen de los recursos necesarios para realizar el ensayo de corrosión por ambiente salino. ....	69



## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios todo poderoso, por iluminarme día a día con la sabiduría necesaria y por regalarme el don de la fortaleza para perseverar a través de las dificultades hasta culminar con éxito mi carrera universitaria.

A mi abuela Magdalena Melara que en paz descanse, porque su apoyo económico y cariño que me brido me permitió tener la posibilidad de optar a una formación universitaria.

A mi madre Ana Mercedes Aguirre, quien con su amor y apoyo incondicional facilito mis días universitarios volviendo la carga más ligera.

A mis hermanas Karla Aguilar y Fátima Aguilar y a mi sobrino Kevin Cruz, quienes con sus juegos contribuyeron a hacer más alegres mis días de estudio.

A mi Esposa Delia Vargas, que con su profesionalismo y amor me brindo apoyo y motivación para afrontar los obstáculos para culminar este trabajo de tesis.

Al Ing. Jorge Alberto Zetino, quien con sus conocimientos, paciencia y amistad, me acompaño a lo largo de la realización de mi trabajo de grado.

## **RESUMEN**

Las energías renovables son fuente de energía continua e inagotable, son la alternativa del futuro ya que su impacto medioambiental es mínimo, frente a las energías actuales basadas en el consumo de combustibles fósiles. Se trata de energías limpias, que se pueden utilizar de forma auto gestionada, ya que permiten ser aprovechadas en el mismo lugar donde se producen. Existen diversas categorías de energías renovables entre las cuales destaca la energía solar fotovoltaica.

La instalación de sistemas fotovoltaicos aislados, en el área rural, se viene implementando en el país desde hace varios años, los sistemas fotovoltaicos con conexión a red representan el nuevo paso a seguir, debido a esto durante los últimos años en la Universidad de El Salvador se han realizado investigaciones para el aprovechamiento de la energía solar fotovoltaica buscando crear las capacidades necesarias en los nuevos profesionales que se verán en la necesidad de diseñar, instalar y certificar el buen funcionamiento de las instalaciones fotovoltaicas. Por este motivo se decide, en el presente trabajo de graduación, realizar una investigación sobre ensayos en paneles fotovoltaicos para determinar sus características físicas y eléctricas que aseguren la calidad de los mismos.

En el presente trabajo de graduación se busca desarrollar capacidades y como resultado guías de procedimientos para efectuar ensayos, bajo normas ASTM con apoyo

en las normas IEC, en paneles fotovoltaicos PFV, de diferente tecnología, con el objeto de confrontar los resultados con las principales características técnicas, especificadas por el fabricante, los resultados de las pruebas desarrolladas servirán de garantía, a los usuarios, de la buena operación del mismo y del cumplimiento de los principales estándares internacionales.

Para desarrollar de manera efectiva las guías de procedimientos se han estudiado las diferentes normativas existentes al respecto, en especial la norma ASTM(American Society for Testing and Materials) apoyándose de las normas IEC(International Electrotechnical Comisión), las condiciones y procedimientos de prueba, el equipamiento necesario para efectuarlas y la forma de organización del laboratorio, desarrollando una metodología propia de acuerdo a las necesidades y condiciones de nuestro país.

Aunque las pruebas que se efectúan a un PFV antes de salir al mercado son muy variadas, hay algunas que por el equipamiento requerido y su alto costo no son viables de implementar en esta fase de la investigación, razón por la cual el estudio se centrará en aquellas que se consideran más importantes y que se pueden implementar con los recursos disponibles, entre las que se mencionan: Ensayo de Inspección visual, Ensayo de características eléctricas en condiciones normalizadas, Ensayo Aislación eléctrica, Ensayo de torsión, Ensayo de carga mecánica, Ensayo de resistencia al impacto de golpes, Ensayo de corrosión por ambiente salino.

## **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

El Salvador al igual que muchos otros países, posee un sistema de energía eléctrica basado principalmente en los combustibles fósiles; sin embargo, dadas las desventajas de la misma, que incluyen altos costos, emisión de gases tóxicos y un agotamiento de las reservas a mediano o corto plazo, se han hecho esfuerzos en los últimos años por buscar fuentes alternativas renovables de generación de energía y de potenciar su desarrollo en nuestro país. Muestra de ellos son los decretos ejecutivos 80 y 81, el no pago de impuestos y otros incentivos orientados a impulsar este tipo de generación de energía.

Dado el abundante recurso solar existente en El Salvador, la energía solar fotovoltaica se muestra como una de las mejores alternativas para reducir la dependencia de los combustibles fósiles, ya que además, los sistemas fotovoltaicos poseen costos de funcionamiento muy reducidos, sus necesidades de mantenimiento son limitadas, son fiables, no producen ruido y son fáciles de instalar, siendo los techos de las edificaciones, los que se presentan como las áreas más indicadas para la instalación de los mismos en áreas urbanas. Por todo ello la llegada de paneles fotovoltaicos de distintas partes del mundo, es algo que se ha venido experimentando desde varios años atrás y que podría incrementarse en los próximos años.

Dada esta coyuntura, surge la necesidad creciente del desarrollo de formas de medición de la capacidad y el correcto funcionamiento de paneles fotovoltaicos, en este

sentido el desarrollo de las capacidades para efectuar ensayos normalizados en PFV, será una garantía para proveedores y compradores de que dicho producto, comercializado en el país, operará bajo las condiciones especificadas por el fabricante.

Se pretende que la Universidad de El Salvador, a través de la Escuela de Ingeniería Eléctrica, se convierta en el referente en donde vendedores y compradores de PFV acudan a solicitar servicios de certificación de sus sistemas fotovoltaicos.

Con este trabajo de graduación, que desarrolla procedimientos detallados para la realización de ensayos, y con el equipamiento existente en el laboratorio de aplicaciones fotovoltaicas de la Escuela de Ingeniería Eléctrica, se busca generar las capacidades necesarias para efectuar científicamente ensayos normalizados de paneles fotovoltaicos, como una manera de solventar los requerimientos, al respecto, que puedan llegar a tener la empresa privada, el gobierno o personas naturales.

## **OBJETIVOS**

### Objetivo general

Efectuar ensayos, bajo normas IEC/ASTM, de paneles fotovoltaicos de diferente tecnología, cuyos resultados aseguren la correcta operación de los mismos.

### Objetivos Específicos

1. Investigar, estudiar y priorizar los diferentes ensayos que se efectúan en PFV bajo normas IEC y ASTM.
2. Desarrollar una normativa y un manual de procedimiento, bajo el cual se efectuarán los ensayos en el país.
3. Desarrollar capacidades para efectuar los siguientes ensayos: Inspección visual, Características eléctricas bajo condiciones normalizadas y Aislamiento eléctrico.

# Capítulo 1: Marco teórico.

**E**n el presente capítulo se da una introducción general a lo que son las Normas IEC y ASTM listando aquellas normas relacionadas con la evaluación de las características eléctricas y mecánicas de los paneles fotovoltaicos. Además se nombran y describen los diferentes tipos de ensayos que se llevarán a cabo al momento de realizar las distintas prácticas en el Laboratorio de la Escuela de Ingeniería Eléctrica.

## 1.1 Organizaciones de normalización.

### 1.1.1 International Electrotechnical Commission (IEC)

La Comisión Electrotécnica Internacional (CEI o *IEC* por sus siglas en inglés, *International Electrotechnical Commission*) es una organización de normalización en los campos eléctrico, electrónico y tecnologías relacionadas. Numerosas normas se desarrollan conjuntamente con la ISO (normas ISO/IEC). Teniendo un área específica para el estudio de los sistemas solares fotovoltaicos llamado el comité técnico TC-82.

Este comité se encarga de los Sistemas de Energía Solar Fotovoltaica y tienen un alcance en la preparación de normas internacionales para los sistemas de conversión fotovoltaica de la energía solar en energía eléctrica y para todos los elementos en el sistema de energía fotovoltaica. También se incluyen la preparación de las normas que especifican los requisitos para un sistema de calidad total.

Incluyendo también, los controles de calidad de los fabricantes de PV, los procedimientos de acreditación en los laboratorios de pruebas de PV, la certificación del producto PV y el proceso de etiquetado. Los grupos de trabajo del TC-82 son:



WG1: Nomenclatura

WG2: Módulos

WG3: Sistemas

WG4: Baterías (Junto con TC21)

WG5: Calidad y certificación

WG6: Resto de componentes del sistema (BOS)

Las normas IEC relacionadas a los sistemas fotovoltaicos y equipamiento publicados por TC-82 incluyen:

- IEC 60891 –Procedures for temperature and irradiance corrections to measured I-V characteristics of crystalline silicon photovoltaic devices (Procedimientos de corrección de temperatura e irradiancia en la medición de las características I-V de dispositivos fotovoltaicos de silicón cristalino).
- IEC 60904 –Photovoltaic devices Part 1: Measurement of photovoltaic current-voltage characteristics (Dispositivos fotovoltaicos, Parte 1: Medición de características fotovoltaicas corriente-voltaje).
- IEC 60904-2 Photovoltaic devices Part 2: Requirements for reference solar cells (Dispositivos fotovoltaicos, Parte 2: Requerimientos para células solares de referencia).

- IEC 60904-3 Photovoltaic devices Part 3: Measurement principles for terrestrial photovoltaic (PV) solar devices with reference spectral irradiance data (Dispositivos fotovoltaicos, Parte 3: Principios de medición para dispositivos terrestres fotovoltaicos solares (PV) con datos de referencia de irradiancia espectral).
- IEC 60904-5 Photovoltaic devices Part 5: Determination of the equivalent cell temperature (ECT) of photovoltaic (PV) devices by the open-circuit voltage method (Dispositivos solares, Parte 5: Determinación de la temperatura equivalente de la celda (ECT por sus siglas en inglés) de dispositivos fotovoltaicos (PV) por el método de voltaje de circuito abierto).
- IEC 60904-6 Photovoltaic devices Part 6: Requirements for reference solar modules (Dispositivos fotovoltaicos, Parte 6: Requerimientos para módulos solares de referencia).
- IEC 60904-7 Photovoltaic devices Part 7: Computation of spectral mismatch error introduced in the testing of a photovoltaic device (Dispositivos fotovoltaicos, Parte 7: Cálculo del error de desajuste espectral introducido en el ensayo de un dispositivo fotovoltaico).

- IEC 60904-8 Photovoltaic devices Part 8: Measurement of spectral response of a photovoltaic (PV) device (Dispositivos fotovoltaicos, Parte 8: Medición de la respuesta espectral de un dispositivo fotovoltaico).
- IEC 60904-9 Photovoltaic devices Part 9: Solar simulator performance requirements (Dispositivos fotovoltaicos, Parte 9: Requerimientos para el desarrollo de un simulador solar).
- IEC 60904-10 Photovoltaic devices Part 10: Methods of linearity measurement (Dispositivos fotovoltaicos, Parte 10: Métodos de medición lineal).
- IEC 61173 – Over voltage protection for photovoltaic (PV) power generating systems – Guide (Protección de sobre-voltaje para sistemas generadores de potencia fotovoltaica (PV)).
- IEC 61194 - Characteristic parameters of stand-alone photovoltaic (PV) systems ( Parámetros característicos de sistemas fotovoltaicos independientes).
- IEC 61215 –Crystalline silicon terrestrial photovoltaic (PV) modules –Design qualification and type approval (Módulos terrestres fotovoltaicos (PV) de silicón cristalino - Cualificación de diseño y tipo de aprobación).

- IEC 61277 –Terrestrial photovoltaic (PV) power generating systems - General and guide (Sistemas terrestres de generación de potencia fotovoltaica (PV) – Generalidades y guía).
- IEC 61345 - UV test for photovoltaic (PV) modules (Ensayo UV para módulos fotovoltaicos (PV)).
- IEC 61646 - Thin-film terrestrial photovoltaic (PV) modules –Design qualification and type approval (Módulos terrestres fotovoltaicos (PV) de película delgada – Cualificación de diseño y tipo de aprobación)
- IEC 61683 – Photovoltaic systems – Power conditioners –Procedure for measuring efficiency (Sistemas fotovoltaicos – Acondicionadores de potencia – Procedimiento para medición de eficiencia).
- IEC 61701 - Salt mist corrosion testing of photovoltaic (PV) modules (Ensayo de corrosión por niebla salina de módulos fotovoltaicos).
- IEC 61702 - Rating of direct coupled photovoltaic (PV) pumping systems (Clasificación de sistemas fotovoltaicos de bombeo directamente acoplados).

- IEC 61721 - Susceptibility of a photovoltaic (PV) module to accidental impact damage (resistance to impact test) (Susceptibilidad de un módulo fotovoltaico a daños por impacto accidental (Ensayo de Resistencia al impacto))
- IEC 61724 –Photovoltaic system performance monitoring –Guidelines for measurement, data Exchange and analysis (Desarrollo de monitoreo de sistemas fotovoltaicos – Lineamientos para medición, intercambio de datos y análisis).
- IEC 61725 –Analytical expression for daily solar profiles (Expresión analítica para perfiles solares diarios).
- IEC 61727 - Photovoltaic (PV) systems - Characteristics of the utility interface (Sistemas fotovoltaicos (PV) – Características de la interfaz con el distribuidor).
- IEC 61829 –Crystalline silicon photovoltaic (PV) array – On- site measurement of I-V characteristics (Arreglo fotovoltaico (PV) de silicón cristalino – Medición en el sitio de las características I-V).
- IEC 61836 - Solar photovoltaic energy systems - Terms and symbols (Sistemas de energía solar fotovoltaica – Términos y símbolos).

- IEC/PAS 62111 –Specifications for the use of renewable energies in rural decentralized electrification(Especificaciones para el uso de energías renovables en electrificación rural descentralizada).

#### 1.1.2 American Society for Testing and Materials (ASTM)

ASTM International, anteriormente conocida como la Sociedad Americana para Pruebas y Materiales (ASTM), es un líder reconocido a nivel mundial en el desarrollo de normas internacionales de consenso voluntario. Hoy en día, cerca de 12,000 normas ASTM se utilizan en todo el mundo para mejorar la calidad del producto, mejorar la seguridad, facilitar el acceso a los mercados y el comercio y fomentar la confianza del consumidor.

El liderazgo de la ASTM en el desarrollo de normas internacionales es impulsado por las contribuciones de sus miembros: más de 30,000 de los mejores expertos técnicos del mundo y profesionales de negocios que representan a 150 países, los miembros de ASTM entregan los métodos de prueba, especificaciones, guías y prácticas que apoyan las industrias y los gobiernos en todo el mundo.

Las principales normas ASTM relacionadas a los sistemas fotovoltaicos y su equipamiento incluyen:

- ASTM E 1039 (12.02) Calibration and Characterization of Non-Concentrator Terrestrial Photovoltaic Reference Cells under Global Irradiation. Test Method for (Método de prueba para la Calibración y caracterización de celdas FV de referencia no concentrada terrestres bajo irradiación global).
- ASTM E 1362 (12.02) Calibration of Non-Concentrator Photovoltaic Secondary Reference Cells, Test Method for (Método de prueba para la Calibración de celdas secundarias FV de referencia no concentrada).
- ASTM E 1125 (12.02) Calibration of Primary Non-Concentrator Terrestrial Photovoltaic Reference Cells Using a Tabular Spectrum. Test Method for (Método de prueba para la calibración de celdas FV primarias de referencia no concentradoras, terrestres, usando un espectro tabular).
- ASTM E 973 (12.02) Determination of the Spectral Mismatch Parameter between a Photovoltaic Device and a Photovoltaic Reference Cell. Test Method for (Método de prueba para la determinación del parámetro de desajuste espectral entre un dispositivo fotovoltaico y una celda de referencia fotovoltaica).
- ASTM E 1830 (12.02) Determining Mechanical Integrity of Photovoltaic Modules, Test Methods for (Método de prueba para la determinación de la integridad mecánica de módulos fotovoltaicos).

- ASTM E 1038 (12.02) Determining Resistance of Photovoltaic Modules to Hail by Impact with Propelled Ice Balls, Test Method for (Método de prueba para la determinación de la resistencia al granizo de los módulos fotovoltaicos por impacto de bolas de hielo propulsadas).
- ASTM E 1143 (12.02) Determining the Linearity of a Photovoltaic Device Parameter with Respect to a Test Parameter, Test Method for (Método de prueba para la determinación de la linealidad de los parámetros de un dispositivo FV con respecto a un Método de prueba).
- ASTM E 948 (12.02) Electrical Performance of Non-Concentrator Terrestrial Photovoltaic Cells Using Reference Cells, Test Methods for (Método de prueba para el desarrollo eléctrico de celdas no concentradoras fotovoltaicas terrestres usando celdas de referencia).
- ASTM E 1036 (12.02) Electrical Performance of Non-concentrator Terrestrial Photovoltaic Modules and Arrays Using Reference Cells, Test methods for (Método de prueba para el desarrollo eléctrico de módulos no concentradores terrestres fotovoltaicos y arreglos usando celdas de referencia).
- ASTM E 2236(12.02) Measurement of Electrical Performance and Spectral response of Non-concentrator Multijunction Photovoltaic Cells and modules,



Test Methods for (Método de prueba para la medición del desarrollo eléctrico y la respuesta espectral de celdas y módulos no concentradores multi-uniones fotovoltaicos).

- ASTM E 1171 (12.02) Photovoltaic Modules in cyclic Temperature and Humidity Environments, Test Method for (Método de prueba para módulos fotovoltaicos en temperatura cíclica y en ambiente húmedo).
- ASTM E 1040 (12.02) Physical Characteristics of Non concentrator Terrestrial photovoltaic Reference Cells. Specification for, (Especificaciones para celdas de referencia no concentradoras fotovoltaicas terrestres).
- ASTM E 1328 (12.02) Relating to Photovoltaic Solar Energy Conversion, Terminology (Terminología relacionada a la conversión de energía solar fotovoltaica).
- ASTM E 1524 (12.02) Saltwater Immersion and Corrosion Testing of Photovoltaic Modules for Marine Environments. Test Method for (Método de prueba por Inmersión en agua salada y ensayo de corrosión en módulos fotovoltaicos para ambientes marinos).

- ASTME 1597 (12.02) Saltwater Pressure Immersion and Temperature Testing of Photovoltaic Modules for Marine Environments. Test Method for (Método de prueba por inmersión en agua salada bajo presión y ensayo de temperatura de módulos fotovoltaicos para ambientes marinos).
- ASTME 1596 (12.02) Solar Radiation Weathering of Photovoltaic Modules. Test Methods for (Método de prueba para desgaste por radiación solar en módulos fotovoltaicos).
- ASTME 1799 (12.02) Visual Inspections of Photovoltaic Modules. Practices for, (Practicas para inspección visual de módulos fotovoltaicos).
- ASTM E 2047 (12.02) Wet Insulation Integrity Testing of Photovoltaic Arrays. Test Method for (Método de prueba para ensayar la integridad del aislamiento húmedo de arreglos fotovoltaicos).
- ASTME 1802 (12.02) Wet Insulation Integrity Testing of Photovoltaic Modules, Test Methods for (Método de prueba para ensayar la integridad del aislamiento húmedo de módulos fotovoltaicos).

- ASTM E 1040 (12.02) Physical Characteristics of Non-concentrator terrestrial Photovoltaic Reference Cells, Specification for (Especificación de características físicas de celdas de referencia no concentradoras fotovoltaicas terrestres).
- ASTM E 927 (12.02) Solar simulation for terrestrial photovoltaic testing. (Simulación solar para ensayos fotovoltaicos terrestres).
- ASTM E 1462 (12.02) Insulation integrity and groundpath continuity of photovoltaic modules (Método de prueba para la integridad de aislamiento y continuidad de camino a tierra de módulos fotovoltaicos).

### 1.1.3 Selección de normativa a utilizar.

Al realizar una comparación entre las normas IEC y ASTM y en base a lo expuesto, se aprecia cierta similitud entre los ensayos a los que estos hacen referencia ya que en ambos casos se somete el PFV a las mismas condiciones con la finalidad de evaluar las características eléctricas y mecánicas en diferentes circunstancias. Debido a que la normativa ASTM se encuentra disponible en la Biblioteca de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura y que estas dan flexibilidad para la elección de los equipos al momento de realizar los ensayos así como de las precauciones y medidas de seguridad a tener en cuenta, se opta por elegir esta normativa como base de trabajo para el desarrollo de los ensayos.

A continuación en la tabla 0 se establecen los ensayos a realizar y se determina la norma la cual aplica para su desarrollo:

**Tabla 0 Cuadro de Resumen de ensayos en PFV su objeto así como su norma de referencia.**

<b>ENSAYO</b>	<b>OBJETO DEL ENSAYO</b>	<b>NORMA A UTILIZAR</b>	<b>NORMA ASOCIADA</b>
<i>Ensayo de Inspección visual.</i>	<i>Corroborar la robustez eléctrica ó mecánica de los módulos, detectando las siguientes fallas: Rotura o rajadura de las superficies exteriores y caja de conexión, Rotura o rajadura de celdas, Defecto en la interconexión entre celda, Celdas en contacto físico entre sí o con el marco, Burbujas o delaminaciones que formen un camino continuo entre cualquier parte del circuito eléctrico y los bordes.</i>	<i>ASTM E 1799 Visual Inspections of Photovoltaic Modules. Practice for.</i>	<i>IEC 61215 – Crystalline silicon terrestrial photovoltaic (PV) modules –Design qualification and type approval. IEC 61646 - Thin-film terrestrial photovoltaic (PV) modules –Design qualification and type approval</i>
<i>Ensayo de características eléctricas en condiciones normalizadas.</i>	<i>Mediante este ensayo se determinan parámetros que definen el rendimiento energético del módulo: Corriente de cortocircuito, Tensión de circuito abierto, Potencia máxima nominal, Tensión a potencia máxima nominal, Corriente a potencia máxima nominal, Curva I-V característica, Coeficiente de variación de la corriente de cortocircuito con la temperatura (<math>\alpha</math>), Coeficiente de variación de la tensión de circuito abierto con la temperatura (<math>\beta</math>).</i>	<i>IEC 60891 - Procedures for temperature and irradiance corrections to measured I-V characteristics of crystalline silicon photovoltaic devices. IEC 60904 - Photovoltaic devices Part 1: Measurement of photovoltaic current-voltage characteristics</i>	<i>ASTM E 1036 (12.02) Electrical Performance of Non-concentrator Terrestrial Photovoltaic Modules and Arrays Using Reference Cells, Test methods for</i>

Ensayos en módulos fotovoltaicos bajo normas IEC y ASTM

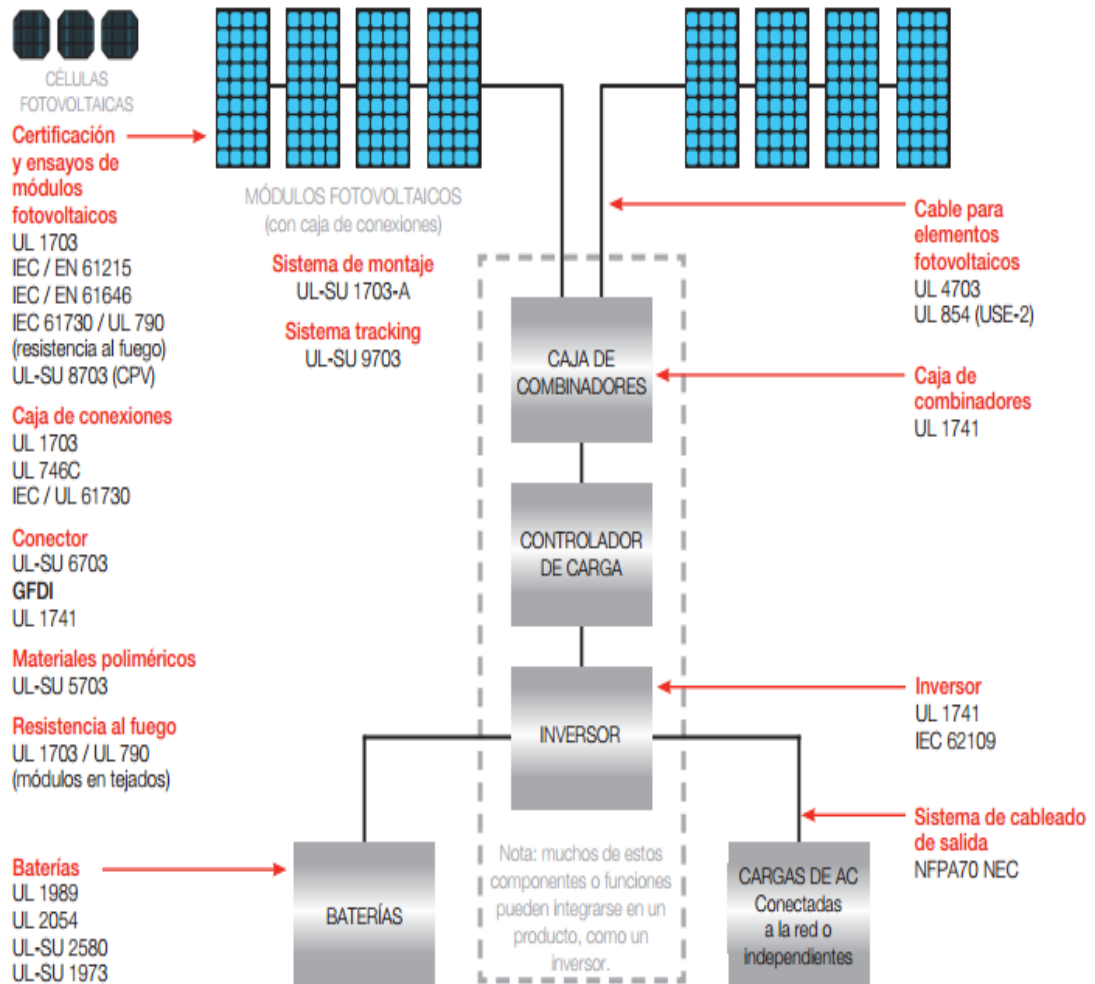
<p><i>Ensayo Aislación eléctrica</i></p>	<p><i>Este ensayo tiene como propósito verificar si el módulo fotovoltaico está lo suficientemente aislado eléctricamente, con este propósito se determina la rigidez dieléctrica y se mide la resistencia de aislación.</i></p>	<p><i>ASTM E 1462 Insulation integrity and ground path continuity of photovoltaic</i></p>	<p><i>IEC 61215 – Crystalline silicon terrestrial photovoltaic (PV) modules –Design qualification and type approval. IEC 61646 - Thin-film terrestrial photovoltaic (PV) modules –Design qualification and type approval</i></p>
<p><i>Ensayo de torsión</i></p>	<p><i>Este ensayo establece el método para detectar los defectos que puede sufrir un módulo al ser montado en una estructura soporte.</i></p>	<p><i>ASTM E 1830 Determining Mechanical Integrity of Photovoltaic Modules, Test Methods for.</i></p>	<p><i>IEC 61215 – Crystalline silicon terrestrial photovoltaic (PV) modules –Design qualification and type approval. IEC 61646 - Thin-film terrestrial photovoltaic (PV) modules –Design qualification and type approval</i></p>
<p><i>Ensayo de carga mecánica</i></p>	<p><i>Este ensayo establece el método para determinar la capacidad del módulo para soportar las cargas de viento, nieve, hielo u otras.</i></p>	<p><i>ASTM E 1830 Determining Mechanical Integrity of Photovoltaic Modules, Test Methods for.</i></p>	<p><i>IEC 61215 – Crystalline silicon terrestrial photovoltaic (PV) modules –Design qualification and type approval. IEC 61646 - Thin-film terrestrial photovoltaic (PV) modules –Design qualification and type approval</i></p>
<p><i>Ensayo de exposición a la radiación ultravioleta (UV)</i></p>	<p><i>Este ensayo establece un procedimiento para determinar la capacidad del módulo fotovoltaico para soportar la exposición a la radiación ultravioleta.</i></p>	<p><i>ASTM E 1596 Solar Radiation Weathering of Photovoltaic Modules. Test Methods for</i></p>	<p><i>IEC 61345 - UV test for photovoltaic (PV) modules</i></p>

Ensayos en módulos fotovoltaicos bajo normas IEC y ASTM

<p><i>Ensayo de resistencia al impacto de golpes</i></p>	<p><i>Este ensayo establece el procedimiento para verificar el comportamiento del módulo fotovoltaico frente al impacto de granizo.</i></p>	<p><i>ASTM E 1038 Determining Resistance of Photovoltaic Modules to Hail by Impact with Propelled Ice Balls</i></p>	<p><i>IEC 61721 - Susceptibility of a photovoltaic (PV) module to impact damage</i></p>
<p><i>Ensayo de ciclado térmico</i></p>	<p><i>Este ensayo establece el procedimiento a los efectos de determinar la capacidad del módulo fotovoltaico para soportar desequilibrios térmicos, fatiga y otros esfuerzos causados por reiterados cambios en la temperatura.</i></p>	<p><i>ASTM E 1171 Photovoltaic Modules in cyclic Temperature and Humidity Environments, Test Method for.</i></p>	<p><i>IEC 61215 – Crystalline silicon terrestrial photovoltaic (PV) modules –Design qualification and type approval. IEC 61646 - Thin-film terrestrial photovoltaic (PV) modules –Design qualification and type approval</i></p>
<p><i>Ensayo de calentamiento húmedo</i></p>	<p><i>Este ensayo establece el procedimiento para verificar la capacidad del módulo fotovoltaico a soportar los efectos de la humedad durante tiempo prolongado.</i></p>	<p><i>ASTM E 1171 Photovoltaic Modules in cyclic Temperature and Humidity Environments, Test Method for.</i></p>	<p><i>IEC 61215 – Crystalline silicon terrestrial photovoltaic (PV) modules –Design qualification and type approval. IEC 61646 - Thin-film terrestrial photovoltaic (PV) modules –Design qualification and type approval</i></p>
<p><i>Ensayo de corrosión por ambiente salino</i></p>	<p><i>Esta norma establece el procedimiento para determinar la resistencia del módulo a la corrosión producida por niebla salina.</i></p>	<p><i>ASTM E 1524 Saltwater Immersion and Corrosion Testing of Photovoltaic Modules for Marine Environments. Test Method for.</i></p>	<p><i>IEC 61701 - Salt mist corrosion testing of photovoltaic (PV) modules</i></p>






1.1.4 Esquema de Certificación y ensayos de sistemas fotovoltaicos bajo normas

UL.



**Ilustración 0 Esquema de Certificación y ensayos de sistemas fotovoltaicos**

Programa global de aprobación fotovoltaica UL e IEC

	 		 
Módulos y paneles fotovoltaicos	IEC 61215 (cristalina) IEC 61646 (película fina) IEC 61730	EN 61215 y EN 61730 EN 61646 y EN 61730	UL 1703
Módulos y montajes de concentración fotovoltaica – aceptación del diseño y aprobación de tipo	IEC 62108	EN 62108	UL-SU 8703
Caja de combinadores	IEC 50548	EN 50548	
Materiales para tejados			UL 790 (resistencia al fuego)
Inversores, convertidores, controladores y equipos de sistemas de interconexión para su uso con recursos energéticos distribuidos	IEC 62109	EN 62109	UL 1741
Caja de conexiones			UL 1741
Cableado fotovoltaico			UL-SU 4703 UL 854 Cables de Entrada de Acometida USE-2
Fusibles			UL 248
Conector fotovoltaico		EN 50521	UL-SU 6703
Materiales poliméricos			UL-SU 5703



Ensayos en módulos fotovoltaicos bajo normas IEC y ASTM

<i>Procedimientos para la corrección de la temperatura y la irradiancia en las características I-V de la silicona cristalina fotovoltaica</i>	<i>IEC 60891 (ed.1)* *Dispositivos, modificación 1: 06-1992</i>	<i>EN 60891</i>	
<i>Dispositivos fotovoltaicos</i>	<i>Serie IEC 60904</i>	<i>Serie EN 60904</i>	
<i>Parámetros característicos de los sistemas fotovoltaicos (FV) independientes</i>	<i>IEC 61194</i>	<i>EN 61194</i>	
<i>Ensayos UV para módulos fotovoltaicos (FV)</i>	<i>IEC 61345</i>	<i>EN 61345</i>	
<i>Clasificación de los sistemas de bombeo fotovoltaico (FV) acoplados directamente</i>	<i>IEC 61702</i>	<i>EN 61702</i>	
<i>Gama fotovoltaica (FV) de silicona cristalina: medición in situ de las características I-V</i>	<i>IEC 61829</i>	<i>EN 61829</i>	
<i>Farolas fotovoltaicas solares portátiles: especificación genérica. Aprobación según el sistema de la IEC para los ensayos y la certificación de conformidad de los equipos eléctricos (IECEE)</i>	<i>IEC PVRS11</i>		
<i>Farolas fotovoltaicas solares portátiles – aceptación del diseño y aprobación de tipo. Enmienda 1, extensión para incluir farolas con baterías de níquel-hidruro metálico.</i>	<i>IEC PVRS11A</i>		
<i>Uso para fachadas o vidrio de construcción</i>			<i>ANSIZ97, 1–1984</i>

*Ensayos en módulos fotovoltaicos bajo normas IEC y ASTM*

<i>Sistema tracking</i>			<i>UL-SU 9703</i>
<i>Sistema de montaje</i>			<i>UL-SU 1703-A</i>
<i>Los métodos de cableado y montaje se evalúan junto con los módulos fotovoltaicos para conocer su resistencia al impacto</i>			<i>Código eléctrico nacional estadounidense (NEC), capítulo 6, artículo 690</i>

**Tabla 1 Certificación y ensayos de sistemas fotovoltaicos normas IEC y UL**

# Capítulo 2: Diseño metodológico.

**E**l presente capítulo comprende tres grandes partes: Pre-diagnóstico de ensayos, Diagnóstico y Ejecución de ensayos por guías de trabajo. En el pre-diagnóstico se describe cada uno de los ensayos contemplados en las normas ASTM en términos de procedimiento general, tiempo, personal y equipo necesario para cada uno de ellos. Una vez contemplados dichos requerimientos se procede a la etapa de Diagnóstico, en la cual se evalúa la factibilidad de los ensayos para ser realizados con los recursos con los que se cuenta en el Laboratorio de la Escuela de Ingeniería Eléctrica. Finalmente, se concluye con la etapa de ejecución que contiene cada uno de las guías a ser empleadas para la realización de los ensayos seleccionados.

## 2.1 Pre-diagnóstico de ensayos

### 2.1.1 Ensayo de Inspección Visual

Mediante este ensayo se pretende detectar: roturas o rajaduras en las superficies exteriores y caja de conexión, rotura o rajadura de celdas (Ilustración 1), defecto en la interconexión entre celdas (Ilustración 2), celdas en contacto físico entre sí o con el marco y burbujas o delaminaciones que formen un camino continuo entre cualquier parte del circuito eléctrico y los bordes (Ilustración 3).

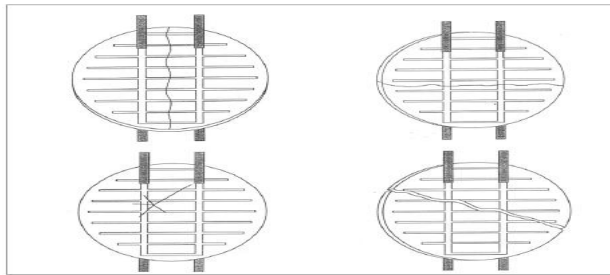
En las Ilustraciones 1, 2 y 3 se presentan a título informativo algunas fallas comunes que se pueden detectar mediante inspección visual. Este ensayo se utiliza como complemento de todos los ensayos que someten al módulo fotovoltaico a solicitaciones mecánicas, y por lo tanto se requerirá en numerosas oportunidades.

La inspección visual de un módulo la debe realizar una persona calificada a tal fin. El tiempo de inspección depende de: la superficie del módulo, el número de celdas, el tipo de celdas utilizadas y la experiencia del observador. Basándose en la información recopilada se adopta como valor medio un tiempo de 10 minutos por módulo.

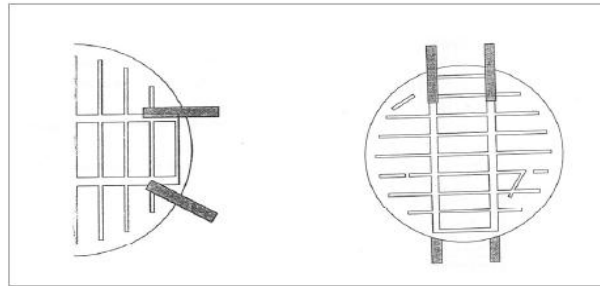
La única recomendación es un nivel de iluminación superior a los 1000 Lux, sin embargo, es conveniente contar con un plano de trabajo que otorgue comodidad al

técnico ejecutor. Por esta razón se propone el emplazamiento de una mesa fija. La misma deberá ubicarse en un lugar donde la iluminación localizada sea mayor a 1000 Lux mientras que la iluminación general sea del orden de los 400 lux. Este nivel de iluminación localizada se logra mediante una luminaria montada sobre del plano de trabajo.

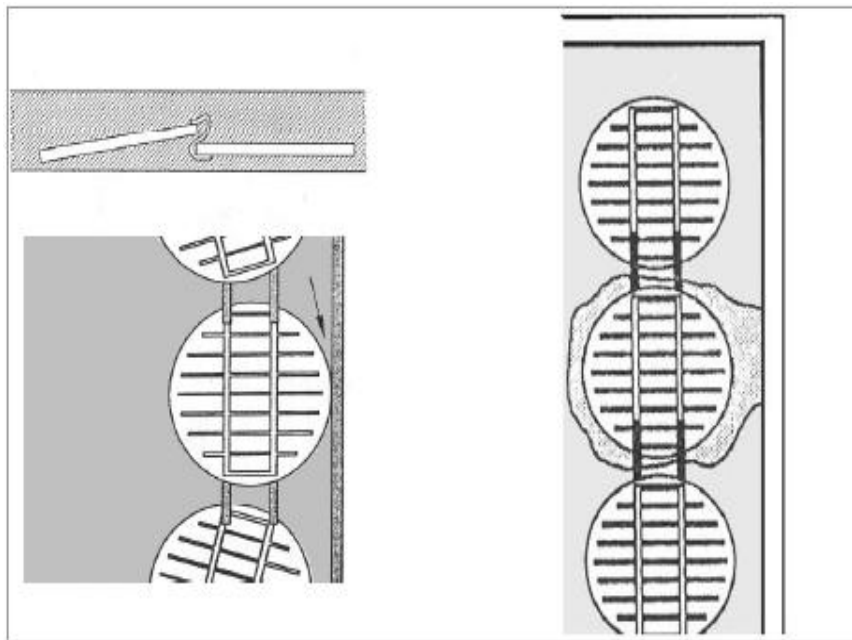
Si bien no se considera como equipamiento indispensable, se sugiere contar con una cámara digital de alta resolución y capacidad de enfoque adecuada, que posibilite fotografiar superficies a corta distancia a los efectos de documentar gráficamente los informes y una lupa de buena calidad para estudiar los defectos con mayor detalle.



**Ilustración 1 Ejemplos típicos de rajadura y rotura de celdas**



**Ilustración 2 Ejemplos típicos de defectos en la interconexión entre celdas (Izquierda) y defectos en la grilla de conexión (Derecha)**



**Ilustración 3 Ejemplos típicos de defectos por contacto entre celdas (Superior izquierda), contacto entre celdas y marco (Inferior izquierda) y burbujas formando un camino continuo entre cualquier parte del circuito y el marco**

La tabla 2 muestra resumidamente los recursos necesarios para realizar el ensayo de inspección visual.

<b>ENSAYO DE INSPECCIÓN VISUAL</b>		
<b>CANTIDAD DE PERSONAL</b>	<i>CALIFICADO</i>	<i>1</i>
	<i>NO CALIFICADO</i>	<i>X</i>
<b>TIEMPO ESTIMADO DE DURACIÓN [minutos]</b>		<i>10</i>
<b>TIPO DE INSTALACIONES</b>	<i>CERRADAS</i>	<i>SI</i>
	<i>AIRE LIBRE</i>	<i>NO</i>
<b>EQUIPAMIENTO</b>		<b>CANTIDAD</b>
<i>Sistema de iluminación localizada</i>		<i>1</i>
<i>Mesa con plano de trabajo</i>		<i>1</i>
<i>Butaca de altura regulable (Optativo)</i>		<i>1</i>
<i>Cámara digital (Optativo)</i>		<i>1</i>
<i>Lupa (Optativo)</i>		<i>1</i>

**Tabla 2 Cuadro de Resumen de los recursos necesarios para realizar el ensayo de inspección visual.**

2.1.2 Ensayo de determinación de características eléctricas en condiciones normalizadas.

Este ensayo representa una gran importancia ya que permite establecer el comportamiento del módulo como dispositivo conversor de energía en forma de

radiación electromagnética a energía eléctrica. Como resultado del ensayo se obtienen los valores de:

- la corriente de cortocircuito  $I_{cc}$
- la tensión de circuito abierto  $V_{ca}$
- la tensión a potencia máxima  $V_{mp}$
- la corriente a potencia máxima  $I_{mp}$
- la potencia máxima  $P_{ma}$
- La curva característica corriente-tensión

Dichos valores pueden ser expresados en forma de gráfico o tabla. El procedimiento consiste en someter al módulo a una irradiancia definida, fijando su temperatura en un valor determinado, mientras que con el mismo se alimenta una carga resistiva variable entre cero e infinito, midiendo simultáneamente valores de corriente generada y tensión entre bornes para los distintos puntos de funcionamiento. Se establece el procedimiento para realizar este ensayo, en una cámara de irradiancia fijar un valor de irradiancia de  $1000 \text{ W/m}^2$ , una temperatura de celda de  $25^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$ ., y la composición espectral media de la radiación directa cuando la masa de aire, también llamada aeromasa, es de 1.5.

Cuando por razones climáticas o de infraestructura no se pueden lograr las condiciones establecidas en cuanto al nivel de Irradiancia y temperatura de celda, Se



establece un método de corrección basado en operaciones con fórmulas matemáticas para referir los valores de corrientes y tensiones medidos.

Con el propósito de proceder a un análisis en detalle, se han definido distintos subsistemas que intervienen en el ensayo:

- Fuente de radiación
- Instrumental de medición
- Carga eléctrica resistiva variable
- Soporte del módulo

Sin embargo, se debe resaltar que cada uno de estos subsistemas no puede seleccionarse en forma independiente ya que las características de un subsistema inciden sobre las propiedades que deben tener los restantes. Por ejemplo, si se adopta al sol como fuente de radiación es necesario contar con un soporte de módulo que sea liviano para poder trasladarlo al lugar donde se realizarán las mediciones. Se procederá a describir los subsistemas.

La fuente de radiación, es la encargada de entregar al dispositivo fotovoltaico la energía radiante necesaria para la conversión. En condiciones ideales la irradiancia sobre el dispositivo ensayado debería ser de  $1000 \text{ W/m}^2$  con una composición espectral según lo fija la norma y tener estabilidad en el tiempo. No existe ninguna fuente que tenga esas

características; lo que más se aproxima es la radiación solar pero tiene algunos problemas que se detallan a continuación:

- Son excepcionales los momentos en que se produce una irradiancia normal de esta magnitud ya que en el mejor de los casos, durante los días claros y en latitudes favorables, la masa de aire de magnitud 1.5 se produce durante dos instantes al día.
- No tiene estabilidad en el tiempo debido al cambio en las condiciones atmosféricas y al movimiento aparente del sol a lo largo del día.
- Resulta difícil concentrar la radiación solar de tal forma que a la superficie activa del dispositivo solo llegue radiación directa, especialmente para dispositivos de grandes dimensiones.

Este inconveniente se supera por dos caminos; por un lado, se permiten valores de irradiancia en cierto rango y luego se corrigen los valores medidos de tensión y corriente por otra parte se aceptan ciertas variaciones en la composición espectral de la fuente ya que la medición de la irradiancia se realiza por medio de un piranómetro, el cual debe colocarse bajo el mismo plano del dispositivo bajo ensayo.

*Luz solar como fuente de radiación:*

Para utilizar la luz solar como fuente de radiación en la medición de la característica eléctrica de módulos, se considera necesario que la irradiancia total debe estar comprendida entre los 500 y 1100 W/m<sup>2</sup> medida por medio de una celda de referencia. Además, las condiciones atmosféricas deben permanecer estables, el cielo no debe tener formaciones visibles de nubes dentro de un cono de 30° alrededor del sol. Por otra parte se debe asegurar que tanto el dispositivo bajo ensayo como el piranómetro estén totalmente irradiadas por el sol y que la irradiancia debida a la reflexión de otros objetos cercanos sea despreciable comparada con la irradiancia total. En cuanto al posicionamiento del módulo a ensayar, en este caso se debe colocar de forma tal que la radiación directa incida perpendicularmente a la superficie activa con una tolerancia de  $\pm 5^\circ$ , por lo tanto será necesario un soporte adecuado para realizar la orientación conveniente. Por otra parte, se puede concluir que no es necesario un seguimiento continuo del sol, si se considera que el mismo barre un ángulo de aproximadamente  $2.5^\circ$  cada diez minutos que es el tiempo de medición que puede llevar un ensayo realizado en forma manual por una o dos personas.

Como ventajas de utilizar la luz solar como fuente de radiación se puede citar el hecho de que su costo es nulo, ya que no requiere gastos de inversión ni mantenimiento.. Las desventajas son: su disponibilidad incierta, ya que depende de las condiciones climáticas, la necesidad de trabajar a la intemperie y el requerimiento de un soporte

adecuado para realizar la alineación del módulo para que la radiación incida en forma normal sobre el mismo.

*Los simuladores solares como fuente de radiación:*

Los simuladores solares son dispositivos que logran el nivel de irradiancia requerido en el plano de ensayo disponiendo convenientemente lámparas que poseen una potencia y composición espectral adecuada. Los mismos consisten generalmente en una o más fuentes luminosas, los dispositivos ópticos para orientar los rayos y realizar su filtrado si fuera necesario y los dispositivos de comando y regulación.

En la determinación de la calidad del simulador existen cuatro aspectos fundamentales:

- la no uniformidad de la irradiancia total
- la inestabilidad temporal de la irradiancia
- La irradiancia total proveniente de un campo de visión de 30°
- la composición espectral.

En cuanto a este último aspecto, la norma ASTM 927 indica como rango espectral relevante al comprendido entre 0.4 y 1.1  $\mu\text{m}$  subdividiéndolo en seis sectores: de 0.4 a 0.5  $\mu\text{m}$ , de 0.5 a 0.6  $\mu\text{m}$ , de 0.6 a 0.7  $\mu\text{m}$ , de 0.7 a 0.8  $\mu\text{m}$ , de 0.8 a 0.9  $\mu\text{m}$  y de 0.9 a 1.1

µm. Además, sobre la base del espectro AM 1.5, se definen porcentajes normalizados de potencia que debe presentar cada uno de los sectores mencionados comparados con la potencia que se presenta en el rango relevante, Tabla 3. Este tratamiento es necesario debido a que los distintos dispositivos fotovoltaicos son muy selectivos y sensibles en un rango estrecho del espectro, tal como lo muestra la ilustración 4.

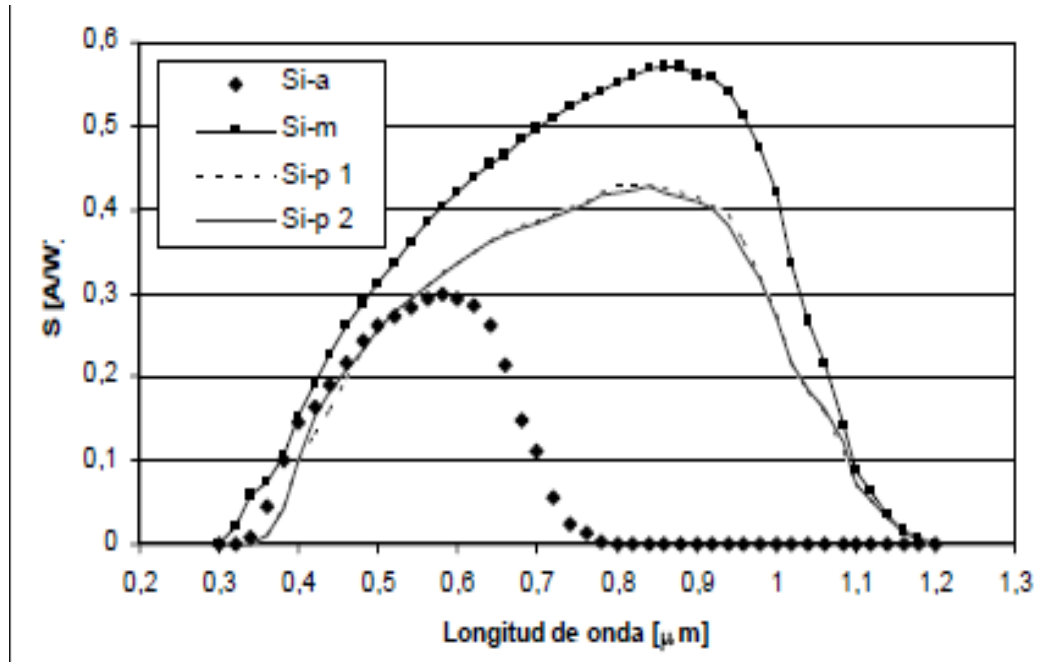
<i>Porcentaje de Irradiancia total entre 0.4 y 1.1 de la curva AM 1.5 en los intervalos de interés</i>		
<i>Rango de longitud de onda</i>	<i>Porcentaje de la curva AM 1.5 (Normalizada de 0.4 a 1.1 µm)</i>	
<i>(µm)</i>	<i>Directa(%)</i>	<i>Global(%)</i>
<i>0.4-0.5</i>	<i>15.6</i>	<i>18.5</i>
<i>0.5-0.6</i>	<i>19.9</i>	<i>20.1</i>
<i>0.6-0.7</i>	<i>17.4</i>	<i>18.3</i>
<i>0.7-0.8</i>	<i>15.9</i>	<i>14.8</i>
<i>0.8-0.9</i>	<i>13.3</i>	<i>12.2</i>
<i>0.9-1.1</i>	<i>17.9</i>	<i>16.1</i>

**Tabla 3 Porcentaje de Irradiancia total comprendida entre 0,4 y 1,1 µm de la curva AM 1,5 en los intervalos de interés.**

La tabla 3 muestra, para las distintas clases de simulador, los requerimientos en cuanto a los distintos parámetros que caracterizan la calidad del dispositivo. La no uniformidad (NU) de la irradiancia total en porcentaje se puede determinar por la fórmula:

$$NU = 100 \frac{E_{max} - E_{min}}{E_{max} + E_{min}}$$

Donde NU representa el parámetro de no uniformidad y EMax y Emin representan los valores máximos y mínimos medidos de la irradiancia total sobre distintos puntos del plano de ensayo.



**Ilustración 4** Aspecto típico de la respuesta espectral absoluta de distintos dispositivos fotovoltaicos de silicio (a: amorfo; m: monocristalino; p: policristalino).

La Inestabilidad Temporal IT, que caracteriza la variación de la irradiancia en el tiempo, se define por la fórmula:

$$IT = 100 \frac{E_{max} - E_{min}}{E_{max} + E_{min}}$$

Donde  $E_{max}$  y  $E_{min}$  representan los valores máximos y mínimos medidos de la irradiancia total sobre un punto del plano de ensayo en un período igual duración al lapso que se tarda en relevar la curva IV.

En cuanto a la irradiancia total en un campo de visión de  $30^\circ$  se refiere al porcentaje mínimo proveniente de ese sector que incide sobre un punto. Se trata que la dirección predominante de la energía radiante sea normal a la superficie de ensayo. Se define como campo de visión al ángulo comprendido entre dos rayos cualesquiera incidentes en un punto arbitrario del plano de ensayo.

Otro aspecto importante con respecto a los simuladores son las dimensiones del plano de ensayo que determinan el tamaño máximo del dispositivo que puede ser caracterizado. Con respecto a esta variable podemos clasificar los dispositivos simuladores en dos tipos: los aptos para el ensayo de módulos, cuya área activa puede estar en el orden de 0.5 a 4 m<sup>2</sup> de superficie y los que están destinados al ensayo de celdas individuales que son capaces de emular la radiación solar en un área de unos pocos m<sup>2</sup>.

No existe una considerable diferencia entre los requerimientos de los simuladores solares estacionarios y pulsados, pero se debe destacar que los primeros pueden ser utilizados con procedimientos manuales de medición de la corriente y tensión y causan un calentamiento del dispositivo a ensayar, mientras que los segundos se deben utilizar

con sistemas de adquisición de datos de alta velocidad y por la rapidez del suceso la temperatura del dispositivo a ensayar prácticamente no llega a modificarse.

Las variables a medir con el propósito de conocer la característica corriente-tensión en un módulo fotovoltaico son: tensión y corriente en los bornes y temperatura de celda del módulo bajo ensayo a una irradiancia determinada.

Cuando el ensayo no se realice en forma automática puede utilizarse un reóstato de variación manual como carga del dispositivo bajo ensayo. En este caso se debe verificar que la resistencia variable tolere una corriente igual o superior a la corriente entregada por el módulo bajo condiciones de cortocircuito. Por otra parte se debe cumplir que el valor de la corriente obtenida como el cociente entre la tensión de circuito abierto del módulo y el máximo valor de resistencia del reóstato debe ser despreciable respecto a la corriente de cortocircuito del dispositivo bajo ensayo. También debe aclararse que si se quiere obtener una densidad de puntos uniforme en toda la característica I-V el incremento en la resistencia entre los distintos puntos a ensayar no es constante: deben ser pequeños cuando se opera cerca de la condición de cortocircuito y grandes cuando se está cerca de circuito abierto.

En los casos en que el ensayo se realiza en forma automática, la carga es un dispositivo electrónico en el cual se puede controlar la tensión entre sus bornes independientemente de la corriente que los atraviese, para ciertos rangos de tensión y



corriente. Al igual que en el caso manual, es necesario tener precauciones si se quiere que la densidad de los puntos sea homogénea. Sin embargo en este caso las mediciones se realizan rápidamente y se pueden tomar una gran cantidad de puntos a los efectos de asegurar la densidad mínima de puntos en el sector más desfavorecido de la curva.

El soporte del módulo debe ser una base estructuralmente ligera y plana que facilite la fijación rápida y segura de los distintos tipos de dispositivos a ensayar. La radiación debe incidir normal a esta base con una desviación máxima aceptable del 5 %. El soporte debe permitir el acceso a la bornera para la conexión eléctrica del módulo.

Si se utiliza una fuente de luz artificial, el soporte debe ser fijo y generalmente se lo coloca en posición vertical u horizontal. Si por lo contrario se utiliza la luz solar, deberá permitir la orientación del plano de trabajo tanto en el ángulo de elevación como acimutal de tal forma que los rayos solares incidan perpendicularmente sobre la superficie.

El modo de empleo en el Laboratorio de Aplicaciones FV, se utilizará en primera instancia el sol debido a la buena disponibilidad de radiación solar en el lugar de emplazamiento del laboratorio.

Inicialmente, y mientras se utilice radiación natural, se deberá contar con un soporte orientable manualmente según los ángulos de elevación y acimutal. Estos se

pueden obtener de tablas o se calculan dependiendo del día y hora del ensayo, y una vez determinada la latitud,  $\Phi$ , la declinación  $\delta$  y el ángulo horario  $\omega$ ; se determinan la altura y el azimut de las expresiones:

- Altura solar:  $\sin \alpha = \cos \Phi \cos \delta \cos \omega + \sin \Phi \sin \delta$
- Angulo acimutal:  $\sin \gamma = \cos \delta \sin \omega + \cos \alpha$

Por otra parte se debe considerar la necesidad de una estructura móvil a los efectos de montar el equipo de medición y la carga eléctrica variable.

En cuanto al instrumental se utilizará un sistema de adquisición de datos que cuenten con precisión, velocidad, número de canales y funciones demandadas, A este sistema de adquisición se lo deberá añadir los sensores adecuados para la medición.

Como carga eléctrica variable se aconseja adoptar un sistema que sea totalmente compatible con el sistema de adquisición.

Método de traslación de curvas:

Para corregir a otras condiciones de temperatura e irradiancia las características corriente-tensión medidas, puede aplicarse el procedimientos regulado por la norma *IEC*

608891 en la que se explican los pasos que deberían seguirse para el correcto cálculo de las curvas características I-V medidas de dispositivos fotovoltaicos.

- Procedimiento :

Para la corrección de la característica corriente-tensión: en este primer procedimiento hay aplicar las siguientes ecuaciones:

$$I_2 = I_1 + I_{SC} \left( \frac{G_2}{G_1} - 1 \right) + \alpha (T_2 - T_1) \quad (1)$$

$$V_2 = V_1 - R_S(I_2 - I_1) - kI_2(T_2 - T_1) + \beta(T_2 - T_1) \quad (2)$$

Donde:

- $I_1, V_1$  son coordenadas de los puntos de la curva característica medida.
- $I_2, V_2$  son coordenadas de los puntos de la curva característica corregida.
- $G_1$  es la irradiancia medida con el dispositivo de referencia.
- $G_2$  es la irradiancia deseada.
- $T_1$  es la temperatura medida en el dispositivo bajo ensayo.
- $T_2$  es la temperatura deseada.
- $I_{SC}$  es la corriente de cortocircuito medida del dispositivo bajo ensayo para  $T_1$  y  $G_1$ .

- $\alpha, \beta$  son los coeficientes de temperatura de corriente y tensión del PFV.
- $R_s$  es la resistencia interna serie del dispositivo.
- $k$  es el factor de corrección de la curva del PFV a distintas temperaturas.

Como se ha mencionado anteriormente, para aplicar este procedimiento de corrección es necesario conocer los parámetros de corrección de la curva que son:  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $R_s$  y  $k$ .

*Determinación de los coeficientes de temperatura  $\alpha$ ,  $\beta$ :*

Para determinar el valor de los coeficientes de temperatura del módulo fotovoltaico se parte de cuatro curvas características medidas bajo ensayos a irradiancia constante y distintas temperaturas. Los valores de los coeficientes de temperatura se obtienen al graficar los valores de  $I_{sc}$  y  $V_{oc}$  en función de la temperatura y ajustar una curva por mínimos cuadrados. El valor de cada pendiente corresponde al valor del coeficiente de temperatura.

*Determinación de la resistencia interna serie  $R_s$ :*

Para determinar el valor de la resistencia serie interna del módulo fotovoltaico se traza la curva I-V del dispositivo de prueba a una misma temperatura y a dos niveles de

irradiancia distintos (las magnitudes no son necesarias). Durante las mediciones, las temperaturas del dispositivo de prueba no variarán más de 2°C.

Teniendo los valores de  $V_{pmax}$  e  $I_{pmax}$  de ambas curvas se obtiene el valor de  $R_s$  por la siguiente formula:

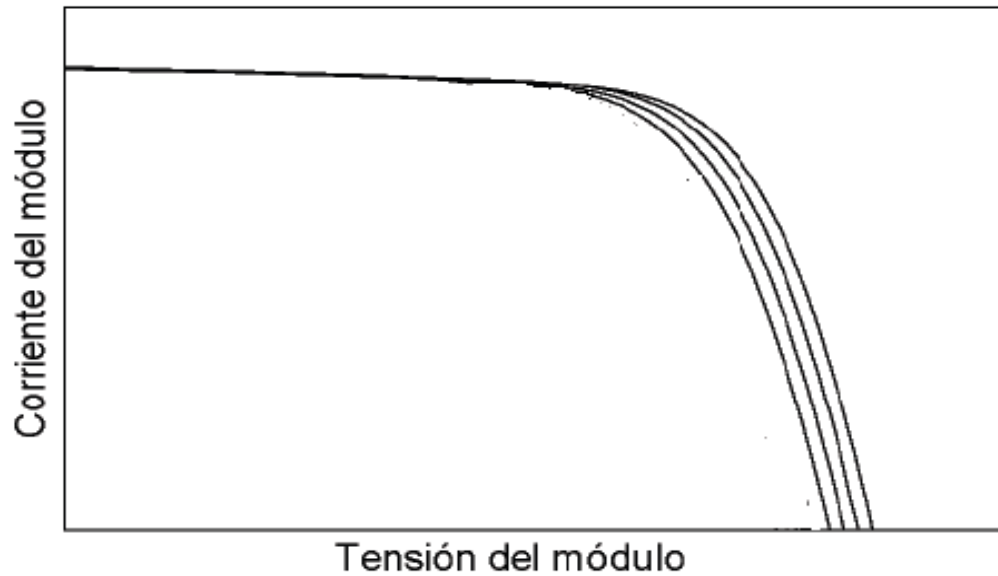
$$R_s = 100 \frac{V_{pmax2} - V_{pmax1}}{I_{pmax1} + I_{pmax2}}$$

Donde:

- $V_{pmax2}$  es el voltaje a potencia máxima de la curva de menor irradiancia.
- $V_{pmax1}$  es el voltaje a potencia máxima de la curva de mayor irradiancia.
- $I_{pmax2}$  es la corriente a potencia máxima de la curva de menor irradiancia.
- $I_{pmax1}$  es la corriente a potencia máxima de la curva de mayor irradiancia.

*Determinación del factor de corrección k:*

Para determinar el valor del factor de corrección del módulo fotovoltaico se parte de cuatro curvas características medidas bajo ensayo a irradiancia constante y distintas temperaturas.



**Ilustración 5** Curvas características a irradiancia constante.

A continuación, haciendo uso de las ecuaciones (1) y (2) y con  $k=0 \text{ } \Omega/^{\circ}\text{C}$  se trasladan las curvas de mayor temperatura a la de menor incrementando su valor en pasos de  $1 \text{ m}\Omega/\text{K}$  hasta que la desviación de su potencia máxima coincida dentro del 0,5% o mejor. Finalmente, el valor de  $k$  que se utilizará será el resultado de la media de estos tres valores.

La tabla 4 muestra resumidamente los recursos necesarios para realizar el ensayo de determinación de características eléctricas en condiciones normalizadas.

<b>ENSAYO DE DETERMINACIÓN DE CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS</b>		
<b>CANTIDAD DE PERSONAL</b>	<i>CALIFICADO</i>	<i>1</i>
	<i>NO CALIFICADO</i>	<i>1</i>
<b>TIEMPO ESTIMADO DE DURACIÓN [minutos]</b>		<i>120</i>
<b>TIPO DE INSTALACIONES</b>	<i>INTERIOR</i>	<i>SI</i>
	<i>EXTERIOR</i>	<i>SI</i>
<b>EQUIPAMIENTO</b>		<b>CANTIDAD</b>
<i>Unidad de adquisición de datos con carga eléctrica variable</i>		<i>1</i>
<i>Soporte orientable manualmente</i>		<i>1</i>
<i>Piranómetro</i>		<i>1</i>
<i>Mesa para soporte del equipo</i>		<i>1</i>
<i>Sensor para medición de temperaturas.</i>		<i>1</i>

**Tabla 4 Cuadro de Resumen de los recursos necesarios para realizar el ensayo de determinación de características eléctricas en condiciones normalizadas.**

### 2.1.3 Ensayo de Aislación eléctrica

El ensayo verifica si el módulo fotovoltaico está lo suficientemente aislado eléctricamente mediante la comprobación de la rigidez dieléctrica y la medición de la resistencia de aislación. El ensayo consiste en aplicar tensión eléctrica entre el marco y

el circuito eléctrico del módulo y verificar que no se produzcan descargas o discontinuidad dieléctrica. La tensión aplicada es de 1000 V más el doble de la tensión de circuito abierto del sistema bajo las condiciones estándar de medida. Si la tensión del sistema no supera los 50 V la tensión aplicada debe ser de 500 V. La tensión se debe aplicar con una razón de incremento no mayor a 500 V/s y luego mantenerse durante un minuto. Posteriormente se mide la resistencia de aislamiento a una tensión igual o superior a 500 V que deberá ser igual o superior a los 50 M $\Omega$ .

El dispositivo indispensable para realizar el ensayo es un Megóhmetro o medidor de aislación. En cuanto al espacio físico, es necesaria una mesa como la indicada en el ensayo de inspección visual, pero en este caso no se requiere la iluminación prescripta para ese ensayo. Se puede complementar el mobiliario con una butaca.

La tabla 5 muestra resumidamente los recursos necesarios para realizar el ensayo de aislación eléctrica.



<b>ENSAYO DE AISLACIÓN ELÉCTRICA</b>		
<b>CANTIDAD DE PERSONAL</b>	<i>CALIFICADO</i>	<i>1</i>
	<i>NO CALIFICADO</i>	<i>X</i>
<b>TIEMPO ESTIMADO DE DURACIÓN [minutos]</b>		<i>20</i>
<b>TIPO DE INSTALACIONES</b>	<i>CERRADAS</i>	<i>SI</i>
	<i>AIRE LIBRE</i>	<i>NO</i>
<b>EQUIPAMIENTO</b>		<b>CANTIDAD</b>
<i>Mesa de trabajo</i>		<i>1</i>
<i>Butaca de altura regulable (Optativo)</i>		<i>1</i>
<i>Megóhmetro o medidor de aislación</i>		<i>1</i>

**Tabla 5 Cuadro de Resumen de los recursos necesarios para realizar el ensayo de aislación eléctrica.**

#### 2.1.4 Ensayo de torsión

El ensayo de torsión tiene por objeto determinar la resistencia de los módulos a este tipo de esfuerzos, los cuales suelen presentarse en el montaje por imperfecciones en la estructura de soporte. El procedimiento de ensayo consiste en producir en el módulo un estado torsional por el lapso de 1 h mientras se constata el aislamiento eléctrico marco-circuito y la continuidad eléctrica del circuito interno del generador. Tres de los cuatro vértices del módulo definen un plano y el restante vértice se aparta de ese plano una distancia  $h$  igual al 2.1% de la diagonal del módulo.

Luego de este procedimiento se le realiza una inspección visual y se miden las Características eléctricas en condiciones normalizadas. (El módulo se considera apto si durante la torsión no se producen en forma permanente o intermitente fallas en la continuidad o en la aislación.

El equipamiento necesario para la realización de los ensayos, además de los utilizados en los ensayos propios de las mediciones previas y posteriores, es: una base soporte para aplicar la torsión, un megóhmetro para medición de aislación, y un multímetro para medición de continuidad.

La tabla 6 muestra resumidamente los recursos necesarios para realizar el Ensayo de torsión.

<b>ENSAYO DE TORSIÓN</b>		
<b>CANTIDAD DE PERSONAL</b>	<i>CALIFICADO</i>	<i>1</i>
	<i>NO</i>	
	<i>CALIFICADO</i>	<i>-</i>
<b>TIEMPO ESTIMADO DE DURACIÓN [minutos]</b>		<i>120</i>
<b>TIPO DE INSTALACIONES</b>	<i>CERRADAS</i>	<i>SI</i>
	<i>AIRE LIBRE</i>	<i>NO</i>
<b>EQUIPAMIENTO</b>		<b>CANTIDAD</b>
<i>Base soporte para aplicación de torsión</i>		<i>1</i>
<i>Megóhmetro</i>		<i>1</i>
<i>Multímetro digital</i>		<i>1</i>

**Tabla 6 Cuadro de Resumen de los recursos necesarios para realizar el ensayo de torsión.**

#### 2.1.5 Ensayo de carga mecánica

Este ensayo se utiliza a los efectos de determinar la capacidad del módulo para soportar las cargas ocasionadas por viento, nieve, hielo u otras. Básicamente el ensayo consiste en aplicar, sobre ambas caras del módulo, una presión uniforme por medio de aire o agua, durante el lapso de una hora, mientras se controla la continuidad del circuito del generador.

Luego de este procedimiento se le realiza una inspección visual, se miden las Características eléctricas en condiciones normalizadas y la aislación eléctrica El módulo se considera apto si durante la aplicación de las cargas no se producen en forma permanente o intermitente fallas en la continuidad, no presenta fallas en los ensayos indicados.

La carga empleada debe ser equivalente a 2.4 KPa (Presión por viento) de presión y se requiere una aplicación distribuida uniformemente durante el lapso de una hora en forma frontal e igual período en la cara posterior. Esta presión es aproximadamente igual a la desarrollada por una columna de agua de 25 cm y se puede aplicar por medio de una membrana flexible e impermeable o en forma alternativa por medios neumáticos mediante un recinto donde se traten de disminuir las infiltraciones y se genere una sobrepresión por medio de un ventilador centrífugo.

El equipamiento necesario para la realización del ensayo, además de los utilizados en los ensayos propios de las mediciones posteriores, es: una base soporte para aplicación de presión y un multímetro para medición de continuidad. La continuidad del circuito puede constatarse mediante un multímetro de uso general.

La tabla 7 muestra resumidamente los recursos necesarios para realizar el ensayo de determinación de características eléctricas en condiciones normalizadas.

<b>ENSAYO DE CARGA MECÁNICA</b>		
<b>CANTIDAD DE PERSONAL</b>	<i>CALIFICADO</i>	<i>1</i>
	<i>NO CALIFICADO</i>	<i>X</i>
<b>TIEMPO ESTIMADO DE DURACIÓN [minutos]</b>		<i>150</i>
<b>TIPO DE INSTALACIONES</b>	<i>CERRADAS</i>	<i>SI</i>
	<i>AIRE LIBRE</i>	<i>NO</i>
<b>EQUIPAMIENTO</b>		<b>CANTIDAD</b>
<i>Base soporte para aplicación de la presión</i>		<i>1</i>
<i>Multímetro digital</i>		<i>1</i>

**Tabla 7 Cuadro de Resumen de los recursos necesarios para realizar el ensayo de carga mecánica.**

#### 2.1.6 Ensayo de exposición a la radiación ultravioleta

El procedimiento busca determinar la capacidad del módulo fotovoltaico para soportar la exposición a la radiación ultravioleta. El ensayo consiste en exponer al módulo a una irradiación UV de 15 KWh/m<sup>2</sup> mediante una irradiancia que no supere los 250W/m<sup>2</sup> comprendida entre los 280 nm y 400 nm mientras se mantiene la temperatura del módulo a 60°C±5 °C. El valor de irradiación corresponde a 325 h de exposición a la irradiancia solar de referencia, mientras que el valor límite de irradiancia corresponde aproximadamente a cinco veces la solar de referencia en este rango del espectro.

Es usual caracterizar la radiación UV según tres bandas espectrales:

- UV-A entre 400 y 320 nm
- UV-B entre 320 y 280 nm
- UV-C entre 280 y 200nm

La radiación solar extraterrestre tiene una mayor intensidad monocromática en la zona UV-A y decrece hacia el UV-C.

La radiación UV-A corresponde a la formada por cuantos de menor energía comparada con las dos restantes, es la que llega en mayor medida a la superficie terrestre debido a que sufre poca atenuación al atravesar la atmósfera, no es nociva para los sistemas biológicos pero puede causar degradación en una gran cantidad de materiales plásticos.

La radiación UV-B, que en condiciones normales es absorbida en gran medida por la capa de ozono atmosférica, resulta muy nociva para los sistemas biológicos. El actual deterioro de la capa aumenta la amenaza de este tipo de radiación causante de numerosas enfermedades en distintas especies. La radiación UV-B también ocasiona deterioro en distintos materiales plásticos.

Por otra parte, la radiación UV-C es la más nociva debido a que está conformada por cuantos de mayor energía. Afortunadamente, el oxígeno y el ozono de la estratosfera absorben todos los rayos UV-C, por lo cual nunca llegan a la superficie de la Tierra.

Es posible lograr esta exposición a la radiación UV iluminando el módulo con lámparas especiales de una cámara diseñada a tal efecto, dotada de lámparas de descarga como las llamadas germicidas o de lámparas de Xenón dotadas de filtros para radiación visible y controlar electrónicamente la ventilación de la cámara.

El equipamiento necesario para la realización del ensayo, además de los utilizados en los ensayos propios de las mediciones previas y posteriores, es: una cámara para irradiación UV, un radiómetro dotado de un sensor de UVA y UVB.

Otro método alternativo es el procedimiento A de la norma ASTM E1596 que especifica la exposición del PFV a luz natural en un marco de soporte fijo o de seguidor solar, este procedimiento establece montar el panel de prueba bajo el sol en el marco fijo o de seguimiento solar, luego colocar el panel de prueba en cualquiera de las siguientes tres condiciones: circuito abierto, cortocircuito o con carga, siendo criterio del ejecutor elegir entre estas tres condiciones.

Cuando no existan niveles de radiación solar a la cual se encuentre expuesto el panel de prueba removerlo, limpiarlo y guardarlo en un lugar que no se encuentre

expuesto a condiciones climáticas. El tiempo de duración de este método es de 72 meses acumulando aproximadamente  $2000\text{MJ/m}^2$  si no son detectados fallas en los paneles expuestos prolongarlo por más tiempo el ensayo hasta que ocurra una falla.

Por razones de costos y que la irradiación solar es gratuita se opta por realizar el método alternativo.

La tabla 8 muestra resumidamente los recursos necesarios para realizar el ensayo de exposición a la radiación ultravioleta por el método alternativo.

<b>ENSAYO DE EXPOSICIÓN A LA RADIACIÓN ULTRAVIOLETA</b>		
<b>CANTIDAD DE PERSONAL</b>	<i>CALIFICADO</i>	<i>1</i>
	<i>NO CALIFICADO</i>	<i>X</i>
<b>TIEMPO ESTIMADO DE DURACIÓN [Meses]</b>		<i>72</i>
<b>TIPO DE INSTALACIONES</b>	<i>CERRADAS</i>	<i>NO</i>
	<i>AIRE LIBRE</i>	<i>SI</i>
<b>EQUIPAMIENTO</b>		<b>CANTIDAD</b>
<i>Marco de soporte fijo</i>		<i>1</i>
<i>Cámara de irradiación UV</i>		<i>1</i>

**Tabla 8 Cuadro de Resumen de los recursos necesarios para realizar el ensayo de exposición a la radiación**



2.1.7 Ensayo de resistencia al impacto de granizo

Este ensayo verifica el comportamiento del módulo fotovoltaico frente al impacto de granizo. El ensayo consiste en impactar la parte frontal del módulo con esferas de una determinada masa y a una altura diferente. Luego de la secuencia de impactos se le realiza una inspección visual, se miden las Características eléctricas en condiciones normalizadas y se mide el aislamiento eléctrico. El módulo se considera apto si no presenta fallas en los ensayos indicados.

Se presenta una tabla de características de los proyectiles y velocidad de impacto e indica los puntos a donde se debe impactar. En la tabla se presentan los valores indicados para las esferas de hielo, la misma admite variaciones del 5% en el diámetro, la masa, y la velocidad de impacto. A continuación en la figura Se presentan los puntos de impacto respectivos.

<b>Diámetro(mm)</b>	<b>Masa (g)</b>	<b>Velocidad del ensayo(m/s)</b>
12.5	0.94	16.2
15	1.163	17.7
25	7.53	22.8
35	20.7	27
45	43.9	30.7
55	80.2	33.9
65	132	36.8
75	203	39.6

**Tabla 9 Masas de esferas de hielo y velocidad de impacto**

Este ensayo se adapto de la siguiente manera: Se aplicara el principio de caída libre con una altura de 2m, como proyectil se dispone una lanzarse una bola de golf por un tubo de PVC (para dirigir los impactos) por lo que puede ser comparado con la bola de hielo de diámetro de 45mm de la siguiente manera:

Diámetro (mm): 44    Masa (g): 44.3    Velocidad del ensayo (m/s): 39.2

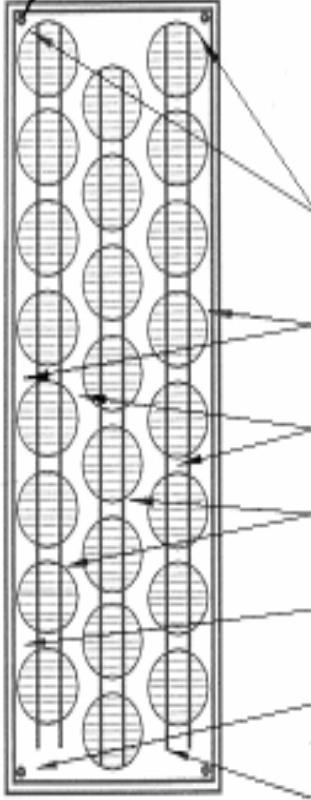
	Ubicación de los puntos de impacto	Disparo número
	En la ventana del módulo a de 12 mm como máximo de uno de los puntos de sujeción	1 - 2
	En la ventana del módulo en los puntos mas alejados de los seleccionados anteriormente	3 - 4
	Sobre puntos de mínimo espaciamento entre celdas.	5 - 6
	Sobre los bordes de las celdas, cerca de una de una soldadura eléctrica.	7 - 8
	En un borde del módulo a 12mm como máximo de la estructura de soporte.	9
	En una esquina de la ventana del módulo a 50mm como máximo de la estructura de soporte	10
	Algún punto que pueda evidenciar una especial vulnerabilidad a impacto de granizo (por ejemplo la conexión interface entre terminales).	11

Ilustración 6 Puntos de impacto de granizo

La tabla 10 muestra resumidamente los recursos necesarios para realizar el ensayo de resistencia al impacto de granizo.

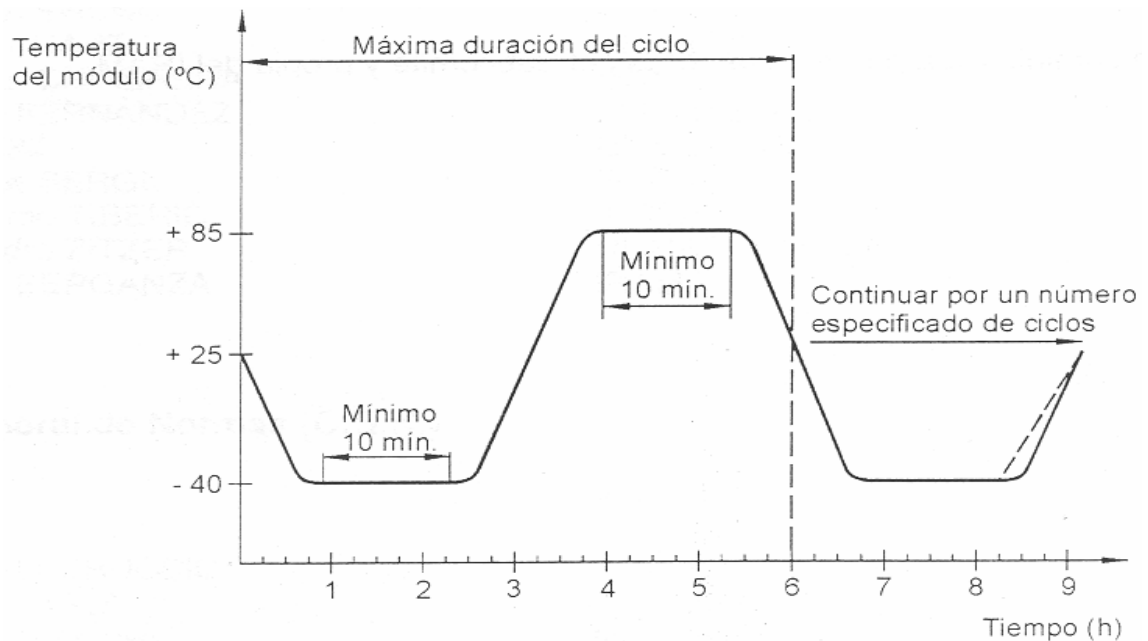
<b>ENSAYO DE RESISTENCIA AL IMPACTO DE GRANIZO</b>		
<b>CANTIDAD DE PERSONAL</b>	<i>CALIFICADO</i>	<i>1</i>
	<i>NO CALIFICADO</i>	<i>1</i>
<b>TIEMPO ESTIMADO DE DURACIÓN [minutos]</b>		<i>10</i>
<b>TIPO DE INSTALACIONES</b>	<i>CERRADAS</i>	<i>SI</i>
	<i>AIRE LIBRE</i>	<i>SI</i>
<b>EQUIPAMIENTO</b>		<b>CANTIDAD</b>
<i>Dispositivo para ensayo de impacto</i>		<i>1</i>

**Tabla 10 Cuadro de Resumen de los recursos necesarios para realizar el ensayo de resistencia al impacto de granizo.**

#### 2.1.8 Ensayo de ciclado térmico

Este ensayo determina la capacidad del módulo fotovoltaico para soportar desequilibrios térmicos, fatiga y otros esfuerzos causados por reiterados cambios en la temperatura. Que consiste en exponer al módulo a cincuenta ciclos de variación de temperatura entre  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  y  $85\text{ }^{\circ}\text{C}$  mientras se monitorea la continuidad del circuito eléctrico y la aislación con el marco. La velocidad de variación de la temperatura del módulo la cual no puede exceder los  $100\text{ }^{\circ}\text{C/h}$  y la temperatura de los módulos,

alcanzados los valores extremos, debe permanecer estable por un lapso de diez minutos como mínimo. El ciclo completo no debe superar las seis horas. En la figura se muestran las características del ciclado. Luego del ciclado se deja un tiempo de recuperación de una hora y se le realiza la inspección Visual, se miden las características eléctricas en condiciones normalizadas y la aislación eléctrica. El módulo se considera apto si no presenta fallas en la continuidad ni en la aislación.



**Ilustración 7** Características del ciclado térmico

Para realizar el ensayo resulta imprescindible una cámara climática con control automático de temperatura, equipada con un sistema de circulación de aire y medios para evitar la condensación en el módulo durante el ciclado.

La disposición de los dispositivos fotovoltaicos dentro de la cámara se debe realizar mediante elementos de montaje ó un soporte que se puedan considerar como aislantes térmicos, de tal forma que el intercambio de calor se realice por radiación y convección.

La cámara debe permitir la instalación de instrumentos para la medición de la continuidad del circuito eléctrico y constatar la integridad de la aislación entre el circuito eléctrico y el marco de los módulos..

El tiempo de duración del ensayo puede dependerá del tiempo en el que se logre desarrollar un ciclo, siendo el mínimo de 170 minutos y el máximo de 360minutos por ciclo.

La tabla 11 muestra resumidamente los recursos necesarios para realizar el ensayo de ciclado térmico.

<b>ENSAYO DE CICLADO TÉRMICO</b>		
<b>CANTIDAD DE PERSONAL</b>	<i>CALIFICADO</i>	<i>1</i>
	<i>NO CALIFICADO</i>	<i>1</i>
<b>TIEMPO ESTIMADO DE DURACIÓN [minutos]</b>		<i>8800-18300</i>
<b>TIPO DE INSTALACIONES</b>	<i>CERRADAS</i>	<i>SI</i>
	<i>AIRE LIBRE</i>	<i>NO</i>
<b>EQUIPAMIENTO</b>		<b>CANTIDAD</b>
<i>Cámara de temperatura controlada</i>		<i>1</i>
<i>medidor de aislación</i>		<i>1</i>
<i>Multímetro digital</i>		<i>1</i>

**Tabla 11 Cuadro de Resumen de los recursos necesarios para realizar el ensayo de ciclado térmico.**

2.1.9 Ensayo de calentamiento húmedo.

El presente ensayo, tiene por finalidad verificar la capacidad del módulo fotovoltaico para soportar los efectos de la humedad durante tiempo prolongado. El mismo consiste en exponer al módulo a una humedad relativa de 85 % y a una temperatura de 85 °C durante un lapso de 1000 horas. Luego de un tiempo de recuperación de 2 h a 4 h se le realiza una inspección visual, se miden las características eléctricas en condiciones normalizadas y se mide la aislación eléctrica.

El equipamiento necesario para la realización del ensayo, además de los utilizados en los ensayos propios de las mediciones previas y posteriores, es una cámara climática con control automático de temperatura y humedad, que permita mantener la temperatura constante a  $85\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$  mientras que la humedad relativa debe permanecer constante a  $85\% \pm 5\%$ .

La tabla 12 muestra resumidamente los recursos necesarios para realizar el ensayo de calentamiento húmedo.

<b>ENSAYO DE CALENTAMIENTO HÚMEDO</b>		
<b>CANTIDAD DE PERSONAL</b>	<i>CALIFICADO</i>	<i>1</i>
	<i>NO CALIFICADO</i>	<i>1</i>
<b>TIEMPO ESTIMADO DE DURACIÓN [horas]</b>		<i>1000</i>
<b>TIPO DE INSTALACIONES</b>	<i>CERRADAS</i>	<i>SI</i>
	<i>AIRE LIBRE</i>	<i>NO</i>
<b>EQUIPAMIENTO</b>		<b>CANTIDAD</b>
<i>Cámara con control de temperatura y humedad</i>		<i>1</i>

**Tabla 12 Cuadro de Resumen de los recursos necesarios para realizar el ensayo de calentamiento húmedo.**

2.1.10 Ensayo de corrosión por ambiente salino

Este ensayo determina la resistencia del módulo a la corrosión producida por niebla salina. El mismo sirve para evaluar la compatibilidad de los materiales y la calidad y uniformidad de la cubierta protectora.

Como primer paso del procedimiento de ensayo se realiza una inspección visual. Luego se expone a los módulos al ambiente por 21 días rociándolo con una solución salina mezclando 38.37 g de sal por cada litro de agua dulce, luego de los 21 días se realiza una inspección visual antes del lavado y otra después del lavado y secado del módulo.

La tabla 13 muestra resumidamente los recursos necesarios para realizar el ensayo de corrosión por ambiente salino.



<b>ENSAYO DE NIEBLA SALINA</b>		
<b>CANTIDAD DE PERSONAL</b>	<i>CALIFICADO</i>	<i>1</i>
	<i>NO CALIFICADO</i>	<i>-</i>
<b>TIEMPO ESTIMADO DE DURACIÓN [días]</b>		<i>21</i>
<b>TIPO DE INSTALACIONES</b>	<i>CERRADAS</i>	<i>NO</i>
	<i>AIRE LIBRE</i>	<i>SI</i>
<b>EQUIPAMIENTO</b>		<b>CANTIDAD</b>
<i>Rociador con mezcla salina</i>		<i>1</i>
<i>Marco de soporte para el PFV</i>		<i>1</i>

**Tabla 13 Cuadro de Resumen de los recursos necesarios para realizar el ensayo de corrosión por ambiente salino.**

## 2.2 Diagnóstico.

De acuerdo a la investigación, se han estudiado los tipos de ensayos posibles, determinando la factibilidad para ejecutarse de manera efectiva y acoplando estos ensayos a las condiciones climáticas, equipo, materiales y personal con los que se cuenta en el Laboratorio de Aplicaciones Fotovoltaicas. Finalmente, se listan los ensayos factibles de realizar con las observaciones a cada uno de ellos.

### 2.2.1 Ensayo de Inspección visual:

Este ensayo posee una importancia vital en la determinación de la calidad del panel; ya que además de ser el primero que se realiza, también debe llevarse a cabo conjuntamente con otros ensayos. En el laboratorio se cuenta con todo el equipo necesario para su correcto desarrollo. Dicho equipo consta de los siguientes elementos:

- Sistema de iluminación Localizada: Equipo disponible.
- Mesa con plano de trabajo: Equipo disponible.
- Butaca de altura regulable (Optativo): Equipo disponible.
- Cámara digital (Optativo): Equipo disponible.
- Lupa (Optativo): Equipo disponible.

Nota: Para mayor información del equipo ver Anexo I.

Este ensayo cumple en su totalidad con la normativa ASTM E 1799 por lo cual se puede realizar una certificación del ensayo bajo esta norma.

### 2.2.2 Ensayo de determinación de características eléctricas en condiciones normalizadas:

Este ensayo es de suma importancia para la determinación de las características eléctricas de los paneles fotovoltaicos y la comparación con los datos de placa. El equipo requerido fue adquirido por la Escuela de Ingeniería Eléctrica el cual consta de:

- Unidad de adquisición de datos con carga eléctrica variable: Equipo disponible.
- Soporte orientable manualmente: Equipo disponible.
- Piranómetro: Equipo disponible.
- Mesa para soporte del equipo: Equipo disponible.
- Sensor para medición de temperaturas: Equipo disponible.

### 2.2.3 Ensayo de Aislación eléctrica:

En este ensayo solo es requerido un megóhmetro el cual fue adquirido por la Escuela de Ingeniería Eléctrica el cual satisface los requerimientos que las normativas exigen, en el se determina la capacidad de aislación eléctrica en los PFV a ensayarse. Dicho equipo se encuentra descrito en el Anexo I.

Debido a lo establecido por la norma ASTM E 1462, en cuanto a la razón de incremento del voltaje por encima de los 1000 voltios el ensayo debe aplicarse, con el equipo actual, únicamente a módulos FV con un voltaje de circuito abierto máximo de 50 V. Para otros niveles de tensión debe adquirirse un medidor que tenga incrementos máximos de 100 voltios al sobrepasar los 1000 voltios aplicados.

#### 2.2.4 Ensayo de torsión:

Para la ejecución de este ensayo se cuenta con todos los equipos y requerimientos necesarios, se utiliza el sistema de soporte multiusos el cual se tiene que armar según sea la necesidad del ensayo, un megóhmetro el cual fue adquirido por la Escuela de Ingeniería Eléctrica el cual satisface los requerimientos que las normativas exigen este ensayo. Consultar Anexo I para mayor información del equipo a utilizarse.

Para la realización de este ensayo se cumple con la norma ASTM E 1830 específicamente la parte de procedimiento de ensayo de torsión pero no se cumpliría con la norma ASTM E 1462 debido a la limitación de equipo explicado en el ensayo de aislación eléctrica para tensiones de circuito abierto en paneles mayores a 50 V.

2.2.5 Ensayo de carga mecánica:

Ensayo no factible. Este ensayo no se realizará debido a que este tipo de ensayos están orientados a determinar la capacidad que tienen los PFV para soportar carga mecánica por peso de Nieve o por la presión ejercida por vientos de alta velocidad, estos factores climáticos no son usuales en el país por lo cual la adquisición de los equipos necesarios no son recomendados para realizar la ejecución de este ensayo. Si se desea efectuar este ensayo se puede adquirir un estanque de dimensiones mínimas de 2 m x 1 m para poder ensayar paneles menores a estas medidas

2.2.6 Ensayo de exposición a la radiación ultravioleta:

El ensayo puede ser factible pero su larga duración, 72 meses, no lo hace práctico. Un ensayo alternativo de menor duración puede efectuarse pero se requiere la adquisición del equipamiento necesario: cámara de irradiación UV dotada de un Radiómetro registrador y detectores de radiación UVB+UVA los cuales implican un alto costo económico. Además es un ensayo destructivo, ya que simula el deterioro del panel como si tuviera 25 años de uso, la recomendación es realizar los ensayos factibles en paneles que tengan una vida de uso largo para realizar comparaciones en las características de deterioro que el fabricante proporciona. Por otra parte según la norma ASTM E 1596 si se realiza por el método optativo los tiempos de espera de resultados

son demasiados largos siendo estos mayores a 72 meses, recomendando analizar paneles que tengan un desgaste por uso natural con los ensayos previos.

#### 2.2.7 Ensayo de resistencia al impacto de golpes:

En este ensayo se somete el panel a golpes en diferentes puntos a un peso específico a una altura determinada, para posteriormente evaluar la posible respuesta del panel si algún objeto cae sobre el mismo. Este ensayo ha sido modificado totalmente por motivos que puede llegar a ser destructivo si el panel a ensayar no soporta los impactos de las bolas de hielo como lo dice la normativa.

Este ensayo no cumple con la norma ASTM E 1038 ya que no es usual en el país el fenómeno de los granizos el ensayo solicita que bolas de hielo de diferentes diámetros y pesos sean impulsados por un dispositivo que les logre brindar una velocidad de impacto determinada el cual puede ser destructivo. No se cuenta con este dispositivo en la escuela de ingeniería eléctrica recomendando que se realice en un trabajo de Proyecto de Ingeniería.

#### 2.2.8 Ensayo de ciclado térmico

Ensayo no factible. Este ensayo requiere someter el panel a variaciones de temperatura desde altos niveles hasta temperaturas bajo cero, evitándose la condensación

en el módulo durante el ciclado y monitoreándose al mismo tiempo la continuidad del circuito eléctrico y la aislación con el marco. Se necesita contar con el siguiente equipo:

- Cámara de temperatura controlada. Equipo NO disponible.
- Medidor de aislación. Equipo disponible.
- Multímetro digital. Equipo disponible.

Ya que en el laboratorio no se cuenta con la “Cámara de temperatura controlada”, no resulta posible llevar a cabo este ensayo.

#### 2.2.9 Ensayo de calentamiento húmedo.

Ensayo no factible. Este ensayo no podrá ser realizado, puesto que requiere primordialmente de una “Cámara con control de temperatura y humedad” que permita mantener temperatura y humedad relativa constante durante 1000h. Dicho equipo no está disponible en el laboratorio de la Escuela de Ingeniería Eléctrica.

#### 2.2.10 Ensayo de corrosión por ambiente salino

Ensayo factible. Este ensayo puede llegar a ser destructivo ya que se intenta verificar la capacidad del módulo a soportar un ambiente salino, al no tenerse una cámara de temperatura constante a 40 °C el ensayo se modificara y se expondrá el panel

a el medio ambiente realizando un rocío de una solución salina tal como se especificó previamente.

Este ensayo no cumple con la norma ASTM E 1524 debido a que este solicita una cámara de ambientación a 40 °C con la cual no se cuenta en el laboratorio de ingeniería eléctrica, pero puede construirse a futuro.

### 2.3 Ejecución de ensayos por guías de trabajo.

Para llevar a cabo la ejecución e implementación de los ensayos se procedió a realizar el diseño de cada una de las guías de tal forma que permitieran recopilar la información requerida en cada uno de los ensayos de una manera clara, ordenada y sistemática.

Se diseñó una plantilla estándar de guías de trabajo para ser utilizado para el desarrollo de los diversos ensayos, esta plantilla recopila datos generales del panel a ensayar y contiene la siguiente información:

1. Institución que realiza el ensayo.
2. Lugar donde se realiza el ensayo.
3. Campo específico de investigación.
4. Nombre del ensayo.



5. Encabezado de tabla de información específica del panel.
6. Nombre de empresa fabricante del panel a ensayar (Obtener de datos de placa).
7. País fabricante del panel a ensayar (Obtener de datos de placa).
8. N° de serie del panel a ensayar (Obtener de datos de placa).
9. Tipo de tecnología del panel a ensayar (Obtener de datos de placa).

<b>1</b> Universidad de El Salvador Facultad de Ingeniería y Arquitectura	Escuela de Ingeniería Eléctrica  <b>2</b>	<b>5</b> Generalidades del panel en estudio	
<i>"Laboratorio de aplicaciones fotovoltaicas"</i> <b>3</b>		Fabricante: <b>6</b>	N° de serie: <b>8</b>
ENSAYO DE INSPECCION VISUAL <b>4</b>		País del fabricante: <b>7</b>	Tipo de tecnología: <b>9</b>

### Ilustración 8 Hoja plantilla para las guías de ensayos

El contenido de cada una de las guías se dividió en 6 segmentos:

- ENSAYO PREVIO: Historial de ensayos anteriores si los hubiera.
- DESCRIPCIÓN: De manera breve y concisa explica en qué consiste el ensayo.
- PARTES A INSPECCIONAR: Sujetas a inspección o ensayo
- EQUIPO: Lista del equipo requerido
- PROCEDIMIENTO: Lista paso a paso el ensayo, basado en la normativa.
- FIGURAS: De ser necesario una ilustración específica o tablas para una mayor comprensión

2.3.1 Desarrollo de guía "Ensayo de inspección visual"

ENSAYO PREVIO: \_\_\_\_\_

DESCRIPCION:

Este ensayo pretende detectar visualmente todas aquellas alteraciones que pudieran existir en los diferentes elementos que componen el panel solar, considerándose principalmente rajaduras, roturas, interconexiones entre celdas y defectos en grillas de conexión (Ver figura E1.1), por ser los que poseen mayor frecuencia de aparición en paneles solares.

PARTES A INSPECCIONAR:

- Cubierta superior externa.
- Marco.
- Celdas Solares.
- Plancha base.
- Caja de terminales.

EQUIPO:

- Lupa portable o empotrada (Ver anexo general I).
- Mesa de trabajo con iluminación de 1000 Lux (Ver anexo general I).
- Cámara fotográfica (Opcional).

PROCEDIMIENTO:

1. Documentar los datos de placa del panel fotovoltaico.

Max-Potencia Pm(W) \_\_\_\_\_

Voltaje máximo  $V_m(V)$  \_\_\_\_\_

Corriente máxima  $I_m(A)$  \_\_\_\_\_

Voltaje de circuito abierto  $V_{oc}(V)$  \_\_\_\_\_

Corriente de cortocircuito  $I_{sc}(A)$  \_\_\_\_\_

Máximo voltaje del sistema  $V_{DC}(V)$  \_\_\_\_\_

Dimensión \_\_\_\_\_

Peso \_\_\_\_\_

Condiciones de test \_\_\_\_\_

2. Colocar el panel solar a inspeccionar sobre la mesa de trabajo en la que se tenga una iluminación de 1000 Lux (Ver anexo general I).

3. Inspeccionar la cubierta Superior externa (Ver figura E1.2).

Se encontraron rajaduras: SI \_\_\_ NO \_\_\_

Se encontraron roturas: SI \_\_\_ NO \_\_\_

Se encontraron delaminaciones: SI \_\_\_ NO \_\_\_

Se encontraron empañamientos: SI \_\_\_ NO \_\_\_

Se encontraron astilladuras: SI \_\_\_ NO \_\_\_

Otros, especifique: \_\_\_\_\_

4. Inspeccionar la plancha base (Ver figura E1.2).

Se encontraron rajaduras: SI \_\_\_ NO \_\_\_

Se encontraron roturas: SI \_\_\_ NO \_\_\_

Otros, especifique: \_\_\_\_\_

5. Inspeccionar el marco (Ver figura E1.2).

Se encontraron rajaduras: SI \_\_\_ NO \_\_\_

Especifique N° de marco: \_\_\_\_\_

Se encontraron abolladuras: SI \_\_\_ NO \_\_\_

Especifique N° de marco: \_\_\_\_\_

Se encontraron dobleces: SI \_\_\_ NO \_\_\_

Especifique N° de marco: \_\_\_\_\_

Se encontraron falta de material: SI \_\_\_ NO \_\_\_

Especifique N° de marco: \_\_\_\_\_

Otros, especifique: \_\_\_\_\_

Especifique \_\_\_\_\_

6. Inspeccionar la caja de terminales (Ver figura E1.2).

Se encontraron rajaduras: SI \_\_\_ NO \_\_\_

Se encontraron quebraduras: SI \_\_\_ NO \_\_\_

Se encontraron daños en la bornera: SI \_\_\_ NO \_\_\_

Especifique: \_\_\_\_\_

Se encontraron daños en los cables de conexión: SI \_\_\_ NO \_\_\_

Especifique: \_\_\_\_\_

Cuenta con diodos de protección: SI \_\_\_ NO \_\_\_

Especifique cantidad: \_\_\_\_\_

Se encontró juego: SI \_\_\_ NO \_\_\_

Otros, especifique: \_\_\_\_\_

7. Inspeccionar las celdas solares si se trata de un panel de Silicio Monocristalino o Policristalino (Ver figura E1.2).

Realizar la numeración de las celdas basándose en la figura E1.3.

Se encontraron rajaduras: SI \_\_\_ NO \_\_\_

Especifique N° de las celdas: \_\_\_\_\_

Se encontraron roturas: SI \_\_\_ NO \_\_\_

Especifique N° de las celdas: \_\_\_\_\_

Se encontraron defectos en

Interconexión de celdas: SI \_\_\_ NO \_\_\_

Especifique N° de las celdas: \_\_\_\_\_

Se encontraron defectos en

grilla de conexión : SI \_\_\_ NO \_\_\_

Especifique N° de las celdas: \_\_\_\_\_

Se encontraron contactos entre celdas: SI \_\_\_ NO \_\_\_

Especifique N° de las celdas: \_\_\_\_\_

Se encontraron contacto entre

Celda y marco: SI \_\_\_ NO \_\_\_

Especifique N° de las celdas: \_\_\_\_\_

Se encontraron burbujas de

Camino continuo: SI \_\_\_ NO \_\_\_

Especifique N° de las celdas: \_\_\_\_\_

Otros, especifique: \_\_\_\_\_

Especifique N° de las celdas: \_\_\_\_\_

8. Inspeccionar las celdas solares si se trata de un panel de Silicio Amorfo.

Se encontraron rajaduras: SI \_\_\_ NO \_\_\_

Se encontraron roturas: SI \_\_\_ NO \_\_\_

Especifique N° de las celdas: \_\_\_\_\_

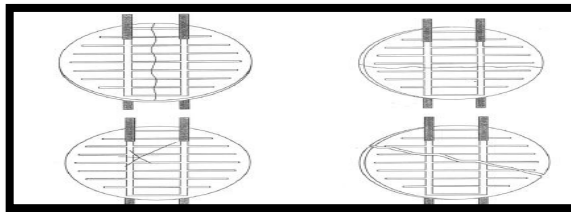
Se encontraron contacto entre Celda y marco: SI \_\_\_ NO \_\_\_

Se encontraron burbujas de Camino continuo: SI \_\_\_ NO \_\_\_

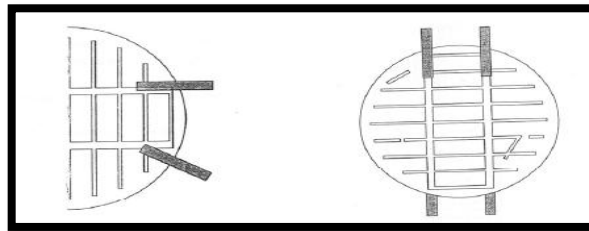
Otros, especifique: \_\_\_\_\_

9. Ingresar en la base de Access los resultados obtenidos anteriormente (Consultar Anexo general II).

FIGURA E1.1. Alteraciones comunes en paneles solares.

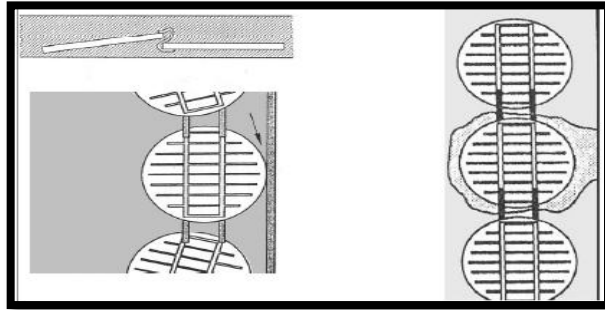


E1.1 a) Ejemplos típicos de rajadura y rotura de celdas.



E1.1 b) Ejemplos típicos de defectos en la interconexión entre celdas

(Izquierda) y defectos en la grilla de conexión (Derecha).



*E1.1 c) Ejemplos típicos de defectos por contacto entre celdas (Superior izquierda), contacto entre celdas y marco (Inferior izquierda) y burbujas formando un camino continuo entre cualquier parte del circuito y el marco (Derecha).*

FIGURA E1.2. Identificación de partes en el panel fotovoltaico.

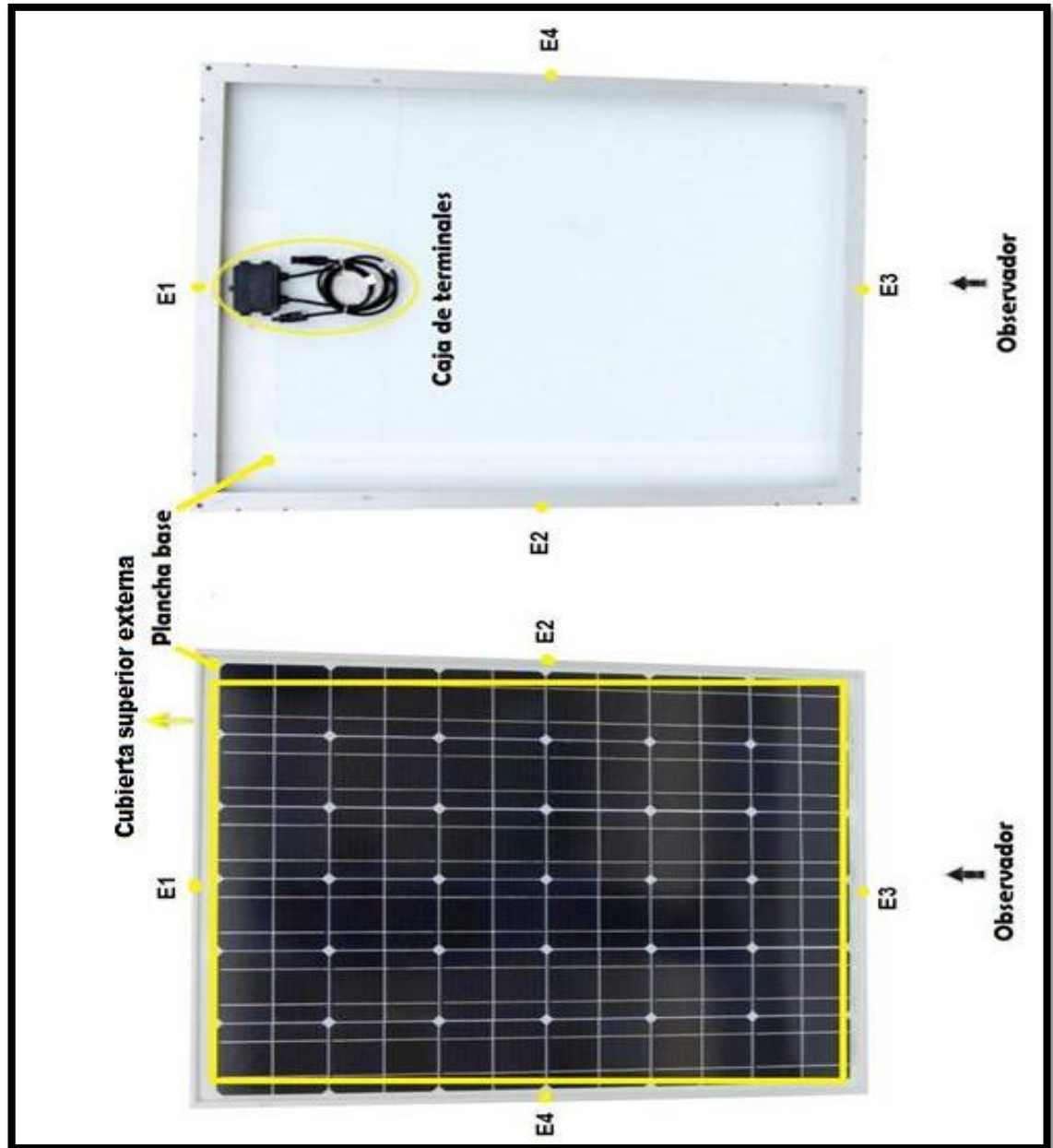
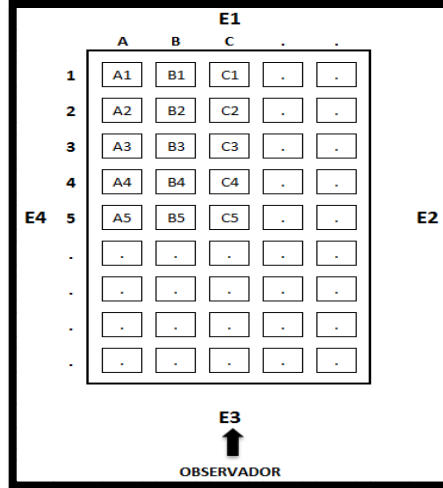




FIGURA E1.3. Identificación de las celdas solares.



2.3.2 Ensayo de determinación de características eléctricas en condiciones normalizadas.

ENSAYO PREVIO: \_\_\_\_\_

DESCRIPCION:

Este ensayo permite establecer el comportamiento del módulo como dispositivo convertidor de energía en forma de radiación electromagnética a energía eléctrica. Como resultado del ensayo se obtienen los valores de:

- la corriente de cortocircuito  $I_{cc}$
- la tensión de circuito abierto  $V_{ca}$
- la tensión a potencia máxima  $V_{mp}$
- la corriente a potencia máxima  $I_{mp}$

- la potencia máxima  $P_m$
- La curva característica corriente-tensión

EQUIPO:

- Unidad de adquisición de datos, carga eléctrica variable. (Ver anexo general I).
- Soporte orientable manualmente (Ver anexo general I).
- Piranómetro (Ver anexo general I).
- Mesa para soporte del equipo (Ver anexo general I).
- Cámara termográfica (Ver anexo general I).

PROCEDIMIENTO:

1. Documentar los datos de placa del panel fotovoltaico.

Max-Potencia $P_m$ (W)	_____
Voltaje máximo $V_m$ (V)	_____
Corriente máxima $I_m$ (A)	_____
Voltaje de circuito abierto $V_{oc}$ (V)	_____
Corriente de cortocircuito $I_{sc}$ (A)	_____
Máximo voltaje del sistema VDC (V)	_____
Dimensión	_____
Peso	_____
Condiciones de test	_____

2. Colocar la mesa de soporte para el equipo con el equipo a utilizar y el soporte orientable en el área de trabajo indicada para realizar el ensayo.
3. Con el piranómetro ubicado con la misma orientación que el PFV medir el valor de la irradiación el cual debe de ser mayor que 500 W/m<sup>2</sup> para poder iniciar con el ensayo.
4. Ambientar el PFV a una temperatura ambiente bajo sombra por un lapso de 15 minutos.
5. Colocar el PFV sobre la estructura de soporte conectando sus terminales con el analizador solar (Trazadora de curvas), con la cámara termográfica verificar que su temperatura.
6. Realizar los pasos del 6 al 9 en el lapso de tiempo en que el PFV incrementa su temperatura debido a la exposición a la irradiación solar.
7. Con el piranómetro ubicado con la misma orientación que el PFV medir el valor de la irradiación:

Valor de irradiación: \_\_\_\_\_

8. Con el analizador solar (Trazadora de curvas) realizar una medición de datos almacenándolos en la memoria interna del dispositivo, Colocar una "X" sobre la medición tomada y continuar con el paso 8.

Medición #1: \_\_\_\_\_

Medición #2: \_\_\_\_\_

Medición #3: \_\_\_\_\_

Medición #4: \_\_\_\_\_

9. Tomar la temperatura del PFV con la cámara termográfica colocada en la opción de medición de área y continuar con el paso 9.

Temperatura promedio para Medición #1: \_\_\_\_\_

Temperatura promedio para Medición #2: \_\_\_\_\_

Temperatura promedio para Medición #3: \_\_\_\_\_

Temperatura promedio para Medición #4: \_\_\_\_\_

10. Repetir los pasos 7 y 8 hasta haber completado todos los campos de medición y estos se encuentren marcados con "X" en total 4 lecturas.

11. Colocar el PFV bajo sombra hasta que alcance la temperatura ambiente corroborar la temperatura con la cámara termográfica.

12. Con el piranómetro ubicado con la misma orientación que el PFV medir el valor de la irradiación hasta que este sea distinto que el valor obtenido en el paso 6 por  $\pm 100 \text{ W/m}^2$  manteniéndose sobre los  $500 \text{ W/m}^2$  :

Valor de irradiación: \_\_\_\_\_

13. Colocar el PFV sobre la estructura de soporte conectando sus terminales con el analizador solar (Trazadora de curvas), con la cámara termográfica verificar que su temperatura igual que la temperatura promedio para medición # 2 del paso 8.

Temperatura promedio para Medición: \_\_\_\_\_

14. Con el analizador solar (Trazadora de curvas) realizar una medición de datos almacenándolos en la memoria interna del dispositivo.

15. Apoyándose del archivo en Excel "corrección de curva" Realizar la corrección de datos a valores CEN y completar los siguientes datos:

V <sub>ca</sub> (V)	
I <sub>cc</sub> (A)	
V <sub>mp</sub> (V)	
I <sub>mp</sub> (A)	
P <sub>m</sub> (W)	
R <sub>s</sub> (Ω)	
α	
β	
k	

16. Apoyándose del archivo en Excel "corrección de curva" Anexar la curva corregida a valores CEN.

17. Ingresar en la base de Access los resultados obtenidos anteriormente (Consultar Anexo general II).

2.3.3 Ensayo de determinación de características eléctricas en condiciones normalizadas Con cámara de irradiación.

ENSAYO PREVIO: \_\_\_\_\_

DESCRIPCION:

Este ensayo permite establecer el comportamiento del módulo como dispositivo convertidor de energía en forma de radiación electromagnética a energía eléctrica. Como resultado del ensayo se obtienen los valores de:

- la corriente de cortocircuito I<sub>cc</sub>

- la tensión de circuito abierto  $V_{ca}$
- la tensión a potencia máxima  $V_{mp}$
- la corriente a potencia máxima  $I_{mp}$
- la potencia máxima  $P_{ma}$
- La curva característica corriente-tensión

**EQUIPO:**

- Unidad de adquisición de datos, carga eléctrica variable (Ver anexo general I).
- Cámara de irradiación controlada.(Ver anexo general I).

**PROCEDIMIENTO:**

1. Documentar los datos de placa del panel fotovoltaico.

Max-Potencia  $P_m$  (W) \_\_\_\_\_

Voltaje máximo  $V_m$ (V) \_\_\_\_\_

Corriente máxima  $I_m$ (A) \_\_\_\_\_

Voltaje de circuito abierto  $V_{oc}$ (V) \_\_\_\_\_

Corriente de cortocircuito  $I_{sc}$ (A) \_\_\_\_\_








Máximo voltaje del sistema VDC (V) \_\_\_\_\_

Dimensión \_\_\_\_\_

Peso \_\_\_\_\_

Condiciones de test \_\_\_\_\_

2. Colocar dentro de la cámara de irradiación el PFV.

3. En la cámara de irradiación fijar un valor de 1000W/m<sup>2</sup> de irradiación a una temperatura de 25°C con una masa de aire de 1.5.
4. Conectar la carga de Variable a las terminales positivas y negativas del PFV.
5. En la carga de variable presionar el botón VOLTAGE para acceder al menú voltaje luego utilizando el botón  seleccionar el modo se mostrara C: MODE FIXED.
6. En el panel de entrada presionar el botón  **Input** para obtener el modo lista C: MODE LIST.
7. Acceder al menú lista presionando el botón SHIFT + LIST presionar el botón  en el panel de entrada para acceder al comando del número de veces en que se repetirá la lista LST: CNT 2 para dos repeticiones.
8. Acceder al menú lista y con el botón  accediendo al comando DWEL:0 donde se fijaran los valores tiempo que se desean mantener cada punto.
9. Acceder al menú lista y con el botón  accediendo al comando VOL donde se fijaran los valores de voltaje que se desean mantener cada punto.
10. Acceder al menú lista y con el botón  acceder a los siguientes comando fijando los siguientes valores: C:RANG:0 60, C:SLEW:0 5E6, C:TLEV:0 0.
11. Acceder al menú lista y con el botón  fijar el comando STEP AUTO.
12. Presionar el botón Trigger Control y Enter para iniciar la secuencia.
13. Realizar el trazado de curvas con los datos obtenidos.

2.3.4 Desarrollo de guía "Ensayo de aislación eléctrica".

ENSAYO PREVIO: \_\_\_\_\_

DESCRIPCION:

Este ensayo verifica si el modulo fotovoltaico esta lo suficiente aislado eléctricamente mediante la comprobación de la rigidez dieléctrica y la medición de la resistencia de aislación.

EQUIPO:

- Butaca de altura regulable (optativo).
- Mesa de trabajo (Ver anexo general I).
- Megohmetro o medidor de aislación (Ver anexo general I).
- Fuente de Voltaje regulable (Ver anexo general I)

PROCEDIMIENTO:

1. Documentar los datos de placa del panel fotovoltaico.

Max-Potencia $P_m$ (W)	_____
Voltaje máximo $V_m$ (V)	_____
Corriente máxima $I_m$ (A)	_____
Voltaje de circuito abierto $V_{oc}$ (V)	_____
Corriente de cortocircuito $I_{sc}$ (A)	_____
Máximo voltaje del sistema VDC (V)	_____
Dimensión	_____
Peso	_____



Condiciones de test \_\_\_\_\_

2. Colocar el panel solar a ensayar sobre la mesa de trabajo.
3. Si el voltaje de circuito abierto es menor que 50V aplicar una tensión de 500V, luego mantenerse durante un minuto, entre el marco y el circuito eléctrico del módulo.

Se produjeron descargas: SI \_\_\_\_ NO \_\_\_\_

Se produjo discontinuidad dieléctrica: SI \_\_\_\_ NO \_\_\_\_

Otros, especifique: \_\_\_\_\_

4. Si el voltaje de circuito abierto es mayor que 50V aplicar una tensión de 1000V más el doble de la tensión de circuito abierto a una razón máxima de 500V/s, luego mantenerse durante un minuto, entre el marco y el circuito eléctrico del módulo.

Se produjeron descargas: SI \_\_\_\_ NO \_\_\_\_

Se produjo discontinuidad dieléctrica: SI \_\_\_\_ NO \_\_\_\_

Otros, especifique: \_\_\_\_\_

5. Aplicar una tensión de 500V entre el marco y el circuito eléctrico y medir la resistencia de aislamiento corroborando que esta sea mayor a 50MΩ.

Valor de resistencia de aislamiento: \_\_\_\_\_

Es el valor de la resistencia de aislamiento: SI \_\_\_\_ NO \_\_\_\_

6. Ingresar en la base de Access los resultados obtenidos anteriormente (Ver anexo general II).

7. Se han obtenido resultados satisfactorios en todas las pruebas realizadas

SI \_\_\_\_\_ NO \_\_\_\_\_

2.3.5 Desarrollo de guía "Ensayo de torsión".

ENSAYO PREVIO: \_\_\_\_\_

DESCRIPCION:

Este ensayo pretende determinar la resistencia del panel solar a esfuerzos de torsión, ya que estos pueden presentarse en el montaje debido a imperfecciones en la estructura de soporte.

PARTES A EVALUAR:

- Cada uno de los vértices del panel.

EQUIPO:

- Base de soporte horizontal (Ver anexo general I).
- Megóhmetro (Ver anexo general I).
- Multímetro (Ver anexo general I).
- Cinta métrica (Ver anexo general I).

PROCEDIMIENTO:

1. Colocar el panel solar sobre la base dejando libre uno de los vértices, tal como se muestra en la Figura E5.1.
2. Calcular "h" mediante la siguiente fórmula:

$$h = H - 0.021 * D$$

Donde (Ver Figura E5.2):

H= la altura desde el suelo hasta el panel.

D= la diagonal del panel.

Registrar el valor obtenido: h=\_\_\_\_\_

3. Ejercer una presión vertical hacia abajo sobre el primer vértice que se encuentra sin soporte hasta hacerlo descender a la altura “h” medida desde el suelo auxiliándose de una cinta métrica (Ver Figura E5.2).
4. Durante la aplicación de la torsión, verificar el aislamiento eléctrico marco-circuito.

Existió variación en el aislamiento eléctrico: SI \_\_\_\_ NO \_\_\_\_

5. Durante la aplicación de la torsión, verificar la continuidad eléctrica del circuito interno del generador.

Se encontró discontinuidad eléctrica: SI \_\_\_\_ NO \_\_\_\_

8. Realizar ensayo 1 “Inspección Visual”.

Se obtuvieron resultados satisfactorios SI \_\_\_\_ NO \_\_\_\_

9. Realizar ensayo 2 “Características eléctricas en condiciones normalizadas”

Se obtuvieron resultados satisfactorios SI \_\_\_\_ NO \_\_\_\_

10. Ingresar en la base de Access los resultados obtenidos anteriormente (Ver anexo general II).

FIGURA E4.1. Colocación del panel en la base de soporte horizontal.

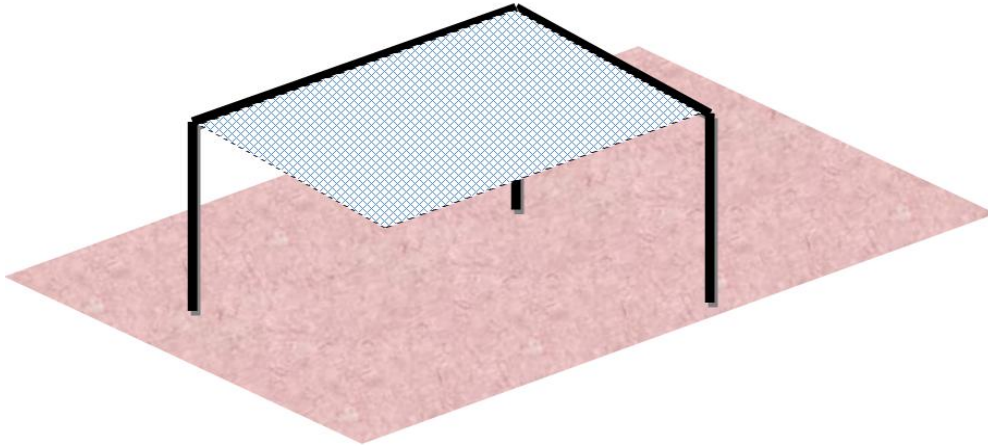
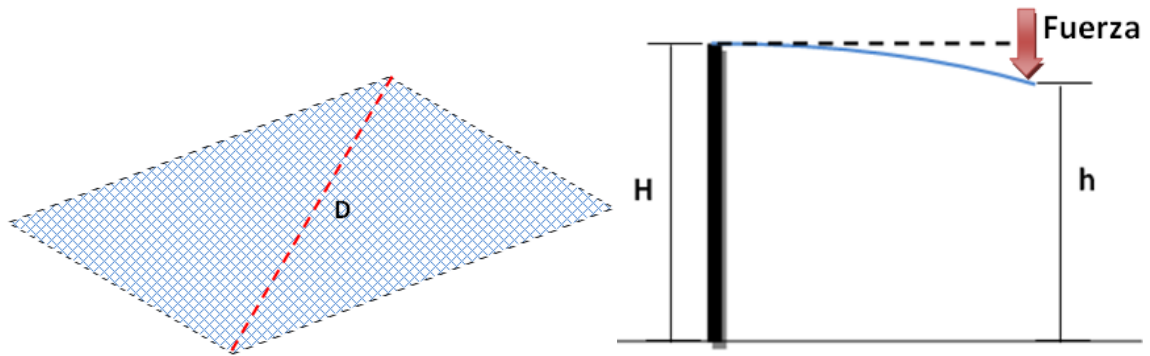


FIGURA E4.2. Calculo de h y aplicación de torsión.



2.3.6 Desarrollo de guía "Ensayo de carga mecánica".

ENSAYO PREVIO: \_\_\_\_\_

DESCRIPCION:

El propósito de este ensayo es determinar la capacidad del panel solar para soportar las cargas ocasionadas por viento, hielo u otras, mediante la aplicación de una presión uniforme durante un lapso de tiempo determinado.

**PARTES A EVALUAR:**

- Cubierta superior externa.
- Cubierta inferior externa.

**EQUIPO:**

- Dispositivo para aplicar presión externa (Ver anexo general I).
- Multímetro digital (Ver anexo general I).
- Cinta métrica (Ver anexo general I)

**PROCEDIMIENTO:**

1. Preparar el panel adecuadamente para la aplicación del ensayo.
2. Someter la cara superior externa del panel a una presión uniformemente distribuida equivalente a 2.4 Kilo pascales (También equivalente a una columna de 25cm de agua), mediante el uso del “dispositivo para aplicar presión externa” (Ver anexo general I). Dicha presión deberá ser ejercida durante 60 minutos.
3. Durante la realización del ensayo controlar la continuidad del circuito generador mediante un Multímetro digital. Se encontró discontinuidad eléctrica:

SI \_\_\_ NO \_\_\_

4. Repetir pasos 2 y 3 para la cara inferior externa del panel. Se encontró discontinuidad eléctrica:

SI \_\_\_ NO \_\_\_

5. Realizar ensayo 1 “Inspección Visual”.

Se obtuvieron resultados satisfactorios

SI \_\_\_ NO \_\_\_

6. Realizar ensayo 2 “Características eléctricas en condiciones normalizadas”

Se obtuvieron resultados satisfactorios

SI \_\_\_ NO \_\_\_

7. Realizar ensayo 3 “Aislación eléctrica”.

Se obtuvieron resultados satisfactorios SI \_\_\_ NO \_\_\_

8. Ingresar en la base de Access los resultados obtenidos anteriormente (Ver anexo general II).

2.3.7 Desarrollo de guía “Ensayo de exposición a la radiación ultravioleta”.

ENSAYO PREVIO: \_\_\_\_\_

DESCRIPCION:

El procedimiento busca determinar la capacidad del módulo fotovoltaico para soportar la exposición a la radiación ultravioleta.

EQUIPO:

- Cámara de irradiación UV (Ver anexo general I).
- Radiómetro registrador (Ver anexo general I).
- Detector de radiación UVA + UVB (Ver anexo general I).

PROCEDIMIENTO:

1. Documentar los datos de placa del panel fotovoltaico.

Max-Potencia  $P_m$ (W) \_\_\_\_\_

Voltaje máximo  $V_m$ (V) \_\_\_\_\_

Corriente máxima  $I_m$ (A) \_\_\_\_\_

Voltaje de circuito abierto Voc(V) \_\_\_\_\_

Corriente de cortocircuito Isc(A) \_\_\_\_\_

Máximo voltaje del sistema VDC(V) \_\_\_\_\_

Dimensión \_\_\_\_\_

Peso \_\_\_\_\_

Condiciones de test \_\_\_\_\_

2. En la cámara de irradiación fijar una irradiación de 250 W/m<sup>2</sup>.
3. Con ayuda del detector de radiación verificar que la longitud de onda se encuentra entre los rangos espectrales UVA (320 a 400 nm) y UVB (280 a 320 nm).
4. Registrar cantidad de años a simular: \_\_\_\_\_
5. Determinar el número de horas a exponer el módulo en la cámara de irradiación tomando en cuenta que el modulo se expondrá a una irradiación de 15KWh/m<sup>2</sup> el cual corresponde a 325h de exposición a la irradiación solar.

$$\text{Horas de exposicion en camara} = \frac{\# \text{ de años a simular} * 146}{13}$$

Horas de exposición en cámara: \_\_\_\_\_

6. Exponer al módulo por el número de horas calculadas en el paso 4 a una radiación UV de 15KWh/m<sup>2</sup> a una temperatura constante de 60°C ± 5°C en la cámara de irradiación.

7. Realizar el ensayo 1 "inspección visual":

Se obtuvieron resultados satisfactorios: SI \_\_\_\_ NO \_\_\_\_

8. Realizar el ensayo 2 "Características eléctricas en condiciones normalizadas":

Se obtuvieron resultados satisfactorios: SI \_\_\_\_ NO \_\_\_\_

9. Realizar el ensayo 3 "Aislamiento eléctrico":

Se obtuvieron resultados satisfactorios: SI \_\_\_\_ NO \_\_\_\_

10. Ingresar en la base de Access los resultados obtenidos anteriormente (Ver anexo general II).

2.3.8 Desarrollo de guía "Ensayo de exposición a la radiación ultravioleta (Método alterno) ".

ENSAYO PREVIO: \_\_\_\_\_

DESCRIPCION:

El procedimiento busca determinar la capacidad del módulo fotovoltaico para soportar la exposición a la radiación ultravioleta.

EQUIPO:

- Marco de soporte fijo (Ver anexo general I).

PROCEDIMIENTO:

1. Documentar los datos de placa del panel fotovoltaico.

Max-Potencia Pm (W) \_\_\_\_\_



Voltaje máximo  $V_m(V)$  \_\_\_\_\_

Corriente máxima  $I_m(A)$  \_\_\_\_\_

Voltaje de circuito abierto  $V_{oc}(V)$  \_\_\_\_\_

Corriente de cortocircuito  $I_{sc}(A)$  \_\_\_\_\_

Máximo voltaje del sistema VDC (V) \_\_\_\_\_

Dimensión \_\_\_\_\_

Peso \_\_\_\_\_

Condiciones de test \_\_\_\_\_

2. Colocar el PFV el soporte fijo bajo irradiación solar en el lapso del día.
3. Colocar el panel de prueba en cualquiera de las siguientes tres condiciones:  
circuito abierto, cortocircuito o con carga.
4. Cuando no exista irradiación solar, retirar el PFV del soporte fijo y guardarlo en un lugar cerrado a temperatura ambiente.
5. Repetir del paso 2 al 4 hasta completar un periodo de 72 meses

2.3.9 Desarrollo de guía "Ensayo de resistencia al impacto de golpes".

ENSAYO PREVIO: \_\_\_\_\_

DESCRIPCION:

El ensayo verifica el comportamiento del módulo fotovoltaico frente al impacto de golpes.

EQUIPO:

- Dispositivo de lanzamiento (Ver anexo general I).
- proyectil de lanzamiento (Ver anexo general I).

REFERENCIA:

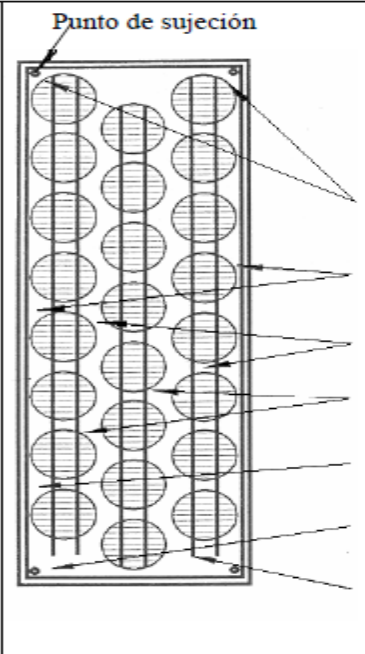
 <p>Punto de sujeción</p>	Ubicación de los puntos de impacto	Disparo número
	En la ventana del módulo a de 12 mm como máximo de uno de los puntos de sujeción	1 - 2
	En la ventana del módulo en los puntos mas alejados de los seleccionados anteriormente	3 - 4
	Sobre puntos de mínimo spaciamiento entre celdas.	5 - 6
	Sobre los bordes de las celdas, cerca de una de una soldadura eléctrica.	7 - 8
	En un borde del módulo a 12mm como máximo de la estructura de soporte.	9
	En una esquina de la ventana del módulo a 50mm como máximo de la estructura de soporte	10
	Algún punto que pueda evidenciar una especial vulnerabilidad a impacto de granizo (por ejemplo la conexión interface entre terminales).	11

Figura E7.1 Puntos de impacto del disparo

PROCEDIMIENTO:

1. Si el panel es de tecnología amorfa solo omitir los disparos 5, 6, 7 y 8.
2. Con el proyectil realizar los siguientes disparos, con el dispositivo de lanzamiento, a los 11 puntos que se muestran en la figura E8.1. Rellenar con una "x" los disparos que ya fueron efectuados:

Disparo	Disparo	Disparo	Disparo	Disparo	Disparo	Disparo	Disparo	Disparo	Disparo	Disparo
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11

3. Realizar el ensayo 1 "inspección visual":

Se obtuvieron resultados satisfactorios: SI \_\_\_ NO \_\_\_

4. Realizar el ensayo 2 "Características eléctricas en condiciones normalizadas":

Se obtuvieron resultados satisfactorios: SI \_\_\_ NO \_\_\_

5. Realizar el ensayo 3 "Aislamiento eléctrico":

Se obtuvieron resultados satisfactorios: SI \_\_\_ NO \_\_\_

6. Ingresar en la base de Access los resultados obtenidos anteriormente (Consultar anexo general II)

2.3.10 Desarrollo de guía "Ensayo de ciclado térmico".

ENSAYO PREVIO: \_\_\_\_\_

DESCRIPCION:

Este ensayo pretende determinar la capacidad del módulo fotovoltaico para soportar desequilibrios térmicos, fatiga y otros esfuerzos causados por reiterados cambios en la temperatura.

EQUIPO:

- Cámara de temperatura controlada (Ver anexo general I).
- Multímetro digital (Ver anexo general I).

- Megóhmetro (Ver anexo general I).

## REFERENCIA

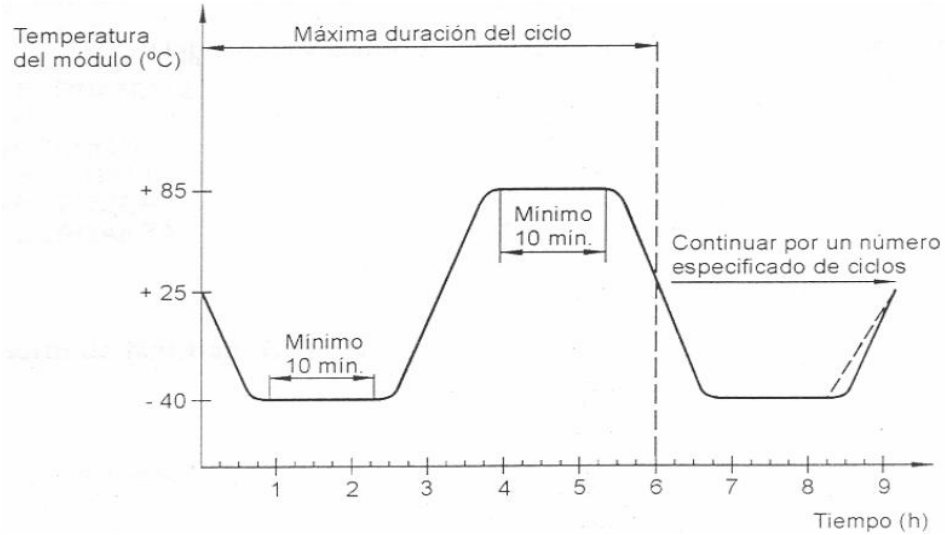


Figura E9.1 Características del ciclado térmico.

## PROCEDIMIENTO:

1. Introducir el panel en la cámara de temperatura controlada.
2. Someter el panel a un ciclo de variación de temperatura desde  $-40^{\circ}\text{C}$  hasta  $85^{\circ}\text{C}$  (Figura E9.1). La duración del ciclo debe ser de 6 hrs, manteniéndose estable por un lapso de 10 minutos al alcanzar los valores máximos y conservándose una variación de temperatura que no exceda los  $100^{\circ}\text{C/h}$ .
3. Continuar repitiendo el ciclo hasta completar un total de 50 ciclos.
4. Durante la duración de todo el ciclado, verificar el aislamiento eléctrico marco-circuito.

Existió variación en el aislamiento eléctrico:

SI \_\_\_ NO \_\_\_

5. Durante la duración de todo el ciclado, verificar la continuidad eléctrica del circuito interno del generador.

Se encontró discontinuidad eléctrica: SI \_\_\_ NO \_\_\_

6. Al finalizar el ciclado dejar reposar el panel durante 1 hora.

7. Realizar ensayo 1 “Inspección Visual”.

Se obtuvieron resultados satisfactorios SI \_\_\_ NO \_\_\_

8. Realizar ensayo 2 “Características eléctricas en condiciones normalizadas”

Se obtuvieron resultados satisfactorios SI \_\_\_ NO \_\_\_

9. Realizar ensayo 3 “Aislamiento Eléctrico”

Se obtuvieron resultados satisfactorios SI \_\_\_ NO \_\_\_

10. Ingresar en la base de Access los resultados obtenidos anteriormente (Ver anexo general II).

2.3.11 Desarrollo de guía “Ensayo de calentamiento húmedo”.

ENSAYO PREVIO: \_\_\_\_\_

DESCRIPCION:

Mediante la realización de este ensayo se pretende verificar la capacidad del módulo fotovoltaico para soportar los efectos de la humedad durante tiempos prolongados.

EQUIPO:

- Cámara con control de temperatura y humedad (Ver anexo general I).

PROCEDIMIENTO:

1. Introducir el panel en la cámara de temperatura controlada.
2. Exponer el panel a una humedad relativa de 85% y a una temperatura de 85°C durante un lapso de 1000 hrs.
3. Al finalizar, dejar reposar el panel durante un tiempo de 2 a 4 hrs.
4. Realizar ensayo 1 “Inspección Visual”.  
Se obtuvieron resultados satisfactorios SI \_\_\_ NO \_\_\_
5. Realizar ensayo 2 “Características eléctricas en condiciones normalizadas”  
Se obtuvieron resultados satisfactorios SI \_\_\_ NO \_\_\_
6. Realizar ensayo 3 “Aislamiento Eléctrico”  
Se obtuvieron resultados satisfactorios SI \_\_\_ NO \_\_\_
7. Ingresar en la base de Access los resultados obtenidos anteriormente (Ver anexo general II).

2.3.12 Desarrollo de guía “Ensayo corrosión por niebla salina”.

ENSAYO PREVIO: \_\_\_\_\_

DESCRIPCION:

Este ensayo determina la resistencia del módulo a la corrosión producida por niebla salina. La misma sirve para evaluar la compatibilidad de los materiales y la calidad y uniformidad de la cubierta protectora.

EQUIPO:

- Rociador con mezcla salina (Ver anexo general I).
- Marco de soporte para el PFV (Ver anexo general I).

PROCEDIMIENTO:

1. Documentar los datos de placa del panel fotovoltaico.

Max-Potencia  $P_m$  (W) \_\_\_\_\_

Voltaje máximo  $V_m$ (V) \_\_\_\_\_

Corriente máxima  $I_m$ (A) \_\_\_\_\_

Voltaje de circuito abierto  $V_{oc}$ (V) \_\_\_\_\_

Corriente de cortocircuito  $I_{sc}$ (A) \_\_\_\_\_

Máximo voltaje del sistema VDC(V) \_\_\_\_\_

Dimensión \_\_\_\_\_

Peso \_\_\_\_\_

Condiciones de test \_\_\_\_\_

2. Realizar el ensayo 1 "inspección visual":

Se obtuvieron resultados satisfactorios: SI \_\_\_ NO \_\_\_

3. Realizar el ensayo 2 "Características eléctricas en condiciones normalizadas":

Se obtuvieron resultados satisfactorios: SI \_\_\_ NO \_\_\_

4. Realizar el ensayo 3 "Aislamiento eléctrico":

Se obtuvieron resultados satisfactorios: SI \_\_\_ NO \_\_\_


5. Colocar el panel solar a ensayar sobre el marco de soporte y exponerlo a la irradiación solar.

6. Rociar el PFV con la mezcla salina por ambas caras sin dejar ninguna zona sin rociar.
7. Repetir el paso 6 por 21 días.
8. Realizar el ensayo 1 "inspección visual":  
Se obtuvieron resultados satisfactorios: SI \_\_\_ NO \_\_\_
9. Lavar el modulo con agua dulce y luego secarlo.
10. Realizar el ensayo 1 "inspección visual":  
Se obtuvieron resultados satisfactorios: SI \_\_\_ NO \_\_\_
11. Realizar el ensayo 2 "Características eléctricas en condiciones normalizadas":  
Se obtuvieron resultados satisfactorios: SI \_\_\_ NO \_\_\_
12. Realizar el ensayo 3 "Aislamiento eléctrico":  
Se obtuvieron resultados satisfactorios: SI \_\_\_ NO \_\_\_
13. Realizar una comparación de los datos obtenidos antes y después de haber realizado la prueba.
14. Ingresar en la base de Access los resultados obtenidos anteriormente (Ver Anexo general II).




# Capítulo 3: Resultados obtenidos.


**E**ste capítulo comprende la presentación de cada una de las guías con sus respectivos resultados obtenidos al realizar los ensayos previamente determinados. Dichas pruebas fueron efectuadas en diferentes paneles de potencia de 30W y 185W de los cuales se obtuvieron resultados satisfactorios por motivos de presentación solo se presentara un panel con potencia de 185W. Se incluye además, el correspondiente análisis para cada uno de los ensayos llevados a cabo.

<p><b>Universidad de El Salvador</b> <b>Facultad de Ingeniería y</b> <b>Arquitectura</b></p>	<p><b>Escuela de</b> <b>Ingeniería</b> <b>Eléctrica</b></p> 	<p>Generalidades del panel en estudio</p>																			
<p><b>“Laboratorio de aplicaciones fotovoltaicas”</b></p>		<p>Fabricante: MONTELEC</p>	<p>N° de serie: 201208290086</p>																		
<p><b>ENSAYO DE INSPECCION VISUAL</b></p>		<p>País del fabricante:</p>	<p>Tipo de tecnología: MONOCRISTALINO</p>																		
<p>ENSAYO PREVIO: _____</p> <p>DESCRIPCION:</p> <p><i>Este ensayo pretende detectar visualmente todas aquellas alteraciones que pudieran existir en los diferentes elementos que componen el panel solar, considerándose principalmente rajaduras, roturas, interconexiones entre celdas y defectos en grillas de conexión (Ver figura E1.1), por ser los que poseen mayor frecuencia de aparición en paneles solares.</i></p> <p>PARTES A INSPECCIONAR:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cubierta superior externa.</li> <li>• Marco.</li> <li>• Celdas Solares.</li> <li>• Plancha base.</li> <li>• Caja de terminales.</li> </ul> <p>EQUIPO:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Lupa portable o empotrada (Ver anexo general I).</li> <li>• Mesa de trabajo con iluminación de 1000 Lux (Ver anexo general I).</li> <li>• Cámara fotográfica (Opcional).</li> </ul> <p>PROCEDIMIENTO:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Documentar los datos de placa del panel fotovoltaico.</li> </ol> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 60%;">Max-Potencia Pm(W)</td> <td style="text-align: right; border-bottom: 1px solid black;">185 W</td> </tr> <tr> <td>Voltaje máximo Vm(V)</td> <td style="text-align: right; border-bottom: 1px solid black;">37.8 V</td> </tr> <tr> <td>Corriente máxima Im(A)</td> <td style="text-align: right; border-bottom: 1px solid black;">4.9 A</td> </tr> <tr> <td>Voltaje de circuito abierto Voc(V)</td> <td style="text-align: right; border-bottom: 1px solid black;">45 V</td> </tr> <tr> <td>Corriente de cortocircuito Isc(A)</td> <td style="text-align: right; border-bottom: 1px solid black;">5.4 A</td> </tr> <tr> <td>Máximo voltaje del sistema VDC(V)</td> <td style="text-align: right; border-bottom: 1px solid black;">1000 V</td> </tr> <tr> <td>Dimensión</td> <td style="text-align: right; border-bottom: 1px solid black;">1580 x 808 x 35 mm</td> </tr> <tr> <td>Peso</td> <td style="text-align: right; border-bottom: 1px solid black;">15 Kg</td> </tr> <tr> <td>Condiciones de test</td> <td style="text-align: right; border-bottom: 1px solid black;">1000 W/m<sup>2</sup>, AM 1.5, 25° C</td> </tr> </table>				Max-Potencia Pm(W)	185 W	Voltaje máximo Vm(V)	37.8 V	Corriente máxima Im(A)	4.9 A	Voltaje de circuito abierto Voc(V)	45 V	Corriente de cortocircuito Isc(A)	5.4 A	Máximo voltaje del sistema VDC(V)	1000 V	Dimensión	1580 x 808 x 35 mm	Peso	15 Kg	Condiciones de test	1000 W/m <sup>2</sup> , AM 1.5, 25° C
Max-Potencia Pm(W)	185 W																				
Voltaje máximo Vm(V)	37.8 V																				
Corriente máxima Im(A)	4.9 A																				
Voltaje de circuito abierto Voc(V)	45 V																				
Corriente de cortocircuito Isc(A)	5.4 A																				
Máximo voltaje del sistema VDC(V)	1000 V																				
Dimensión	1580 x 808 x 35 mm																				
Peso	15 Kg																				
Condiciones de test	1000 W/m <sup>2</sup> , AM 1.5, 25° C																				


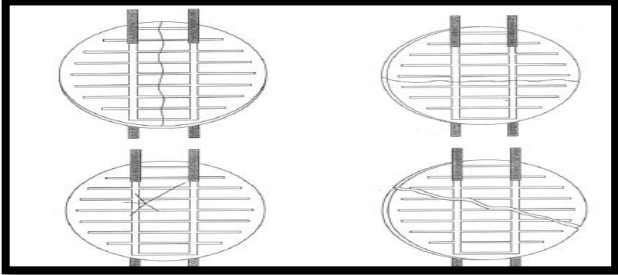
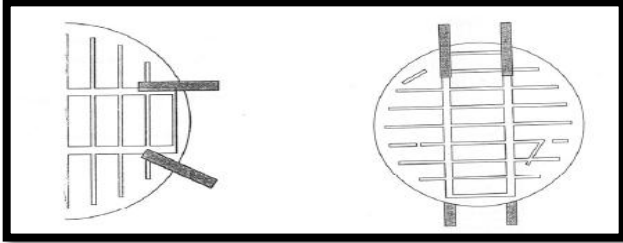
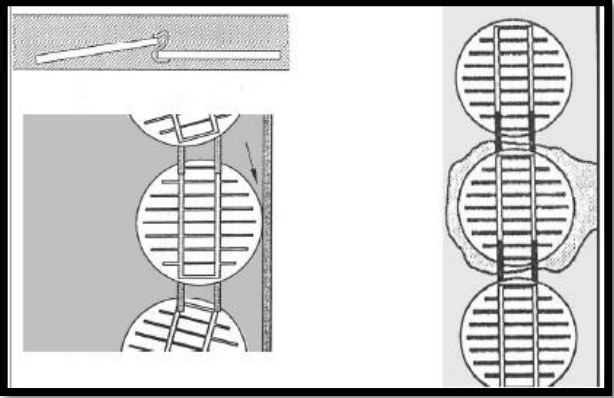
Ensayos en módulos fotovoltaicos bajo normas IEC y ASTM

<p><b>Universidad de El Salvador</b> <b>Facultad de Ingeniería y</b> <b>Arquitectura</b></p>	<p><b>Escuela de</b> <b>Ingeniería</b> <b>Eléctrica</b></p> 	<p>Generalidades del panel en estudio</p>	
<p><b>“Laboratorio de aplicaciones fotovoltaicas”</b></p>		<p>Fabricante:</p>	<p>N° de serie:</p>
<p><b>ENSAYO DE INSPECCION VISUAL</b></p>		<p>País del fabricante:</p>	<p>Tipo de tecnología:</p>
<p>2. Colocar el panel solar a inspeccionar sobre la mesa de trabajo en la que se tenga una iluminación de 1000 Lux (Ver anexo general I).</p> <p>3. Inspeccionar la cubierta Superior externa (Ver figura E1.2).</p> <p>Se encontraron rajaduras: SI ___ NO <u>X</u></p> <p>Se encontraron roturas: SI ___ NO <u>X</u></p> <p>Se encontraron delaminaciones: SI ___ NO <u>X</u></p> <p>Se encontraron empañamientos: SI ___ NO <u>X</u></p> <p>Se encontraron astilladuras: SI ___ NO <u>X</u></p> <p>Otros, especifique: <u>4 puntos de rayones documentados en fotografías</u></p> <p>4. Inspeccionar la plancha base (Ver figura E1.2).</p> <p>Se encontraron rajaduras: SI <u>X</u> NO ___</p> <p>Se encontraron roturas: SI ___ NO <u>X</u></p> <p>Otros, especifique: <u>Sellante mal colocado en los bordes</u></p> <p>5. Inspeccionar el marco (Ver figura E1.2).</p> <p>Se encontraron rajaduras: SI ___ NO <u>X</u></p> <p>Especifique N° de marco: _____</p> <p>Se encontraron abolladuras: SI ___ NO <u>X</u></p> <p>Especifique N° de marco: _____</p> <p>Se encontraron dobleces: SI ___ NO <u>X</u></p> <p>Especifique N° de marco: _____</p> <p>Se encontraron falta de material: SI ___ NO <u>X</u></p> <p>Especifique N° de marco: _____</p> <p>Otros, especifique: <u>Diversas zonas de rayones documentadas en fotografías</u></p> <p>Especifique N° de marco: <u>E1, E2, E3, E4</u></p>			

Ensayos en módulos fotovoltaicos bajo normas IEC y ASTM

<p><b>Universidad de El Salvador</b> <b>Facultad de Ingeniería y</b> <b>Arquitectura</b></p>	<p><b>Escuela de</b> <b>Ingeniería</b> <b>Eléctrica</b></p> 	<p>Generalidades del panel en estudio</p>	
<p><b>"Laboratorio de aplicaciones fotovoltaicas"</b></p>		<p>Fabricante:</p>	<p>N° de serie:</p>
<p><b>ENSAYO DE INSPECCION VISUAL</b></p>		<p>País del fabricante:</p>	<p>Tipo de tecnología:</p>
<p>6. Inspeccionar la caja de terminales (Ver figura E1.2).</p> <p>Se encontraron rajaduras: SI ___ NO <u>X</u></p> <p>Se encontraron quebraduras: SI ___ NO <u>X</u></p> <p>Se encontraron daños en la bornera: SI ___ NO <u>X</u></p> <p>Especifique: _____</p> <p>Se encontraron daños en los cables de conexión: SI ___ NO <u>X</u></p> <p>Especifique: _____</p> <p>Cuenta con diodos de protección: SI ___ NO <u>X</u></p> <p>Especifique cantidad: _____</p> <p>Se encontró juego: SI ___ NO <u>X</u></p> <p>Otros, especifique: _____</p> <p>7. Inspeccionar las celdas solares si se trata de un panel de Silicio Monocristalino o Policristalino (Ver figura E1.2).</p> <p>Realizar la numeración de las celdas basándose en la figura E1.3.</p> <p>Se encontraron rajaduras: SI ___ NO <u>X</u></p> <p>Especifique N° de las celdas: _____</p> <p>Se encontraron roturas: SI <u>X</u> NO ___</p> <p>Especifique N° de las celdas: <u>A6, A1, A8, A9, A12, B12, B10, B8, B7, B6, C1, C3, C6, C7, C8, C9, C10, D11, D7, D4, D3, D1, E1, E3, E5, E6, E7, E10, F5, F2</u></p> <p>Se encontraron defectos en Interconexión de celdas: SI <u>X</u> NO ___</p> <p>Especifique N° de las celdas: <u>C2, D1</u></p> <p>Se encontraron defectos en grilla de conexión: SI <u>X</u> NO ___</p> <p>Especifique N° de las celdas: <u>B9, F6</u></p> <p>Se encontraron contactos entre celdas: SI ___ NO <u>X</u></p> <p>Especifique N° de las celdas: _____</p> <p>Se encontraron contacto entre Celda y marco: SI ___ NO <u>X</u></p> <p>Especifique N° de las celdas: _____</p> <p>Se encontraron burbujas de Camino continuo: SI ___ NO <u>X</u></p> <p>Especifique N° de las celdas: _____</p> <p>Otros, especifique: <u>Manchas</u></p> <p>Especifique N° de las celdas: <u>A2, A5, A12, B4, C12, D8, E8, F7</u></p>			



<p><b>Universidad de El Salvador</b>  <b>Facultad de Ingeniería y</b>  <b>Arquitectura</b></p>	<p><b>Escuela de</b>  <b>Ingeniería</b>  <b>Eléctrica</b></p> 	<p>Generalidades del panel en estudio</p>	
<p><b>"Laboratorio de aplicaciones fotovoltaicas"</b></p>		<p>Fabricante:</p>	<p>N° de serie:</p>
<p><b>ENSAYO DE INSPECCION VISUAL</b></p>		<p>País del fabricante:</p>	<p>Tipo de tecnología:</p>
<p style="text-align: center;"><i>FIGURA E1.1. Alteraciones comunes en paneles solares.</i></p> <div style="text-align: center;">  <p><i>E1.1 a) Ejemplos típicos de rajadura y rotura de celdas.</i></p> </div> <div style="text-align: center;">  <p><i>E1.1 b) Ejemplos típicos de defectos en la interconexión entre celdas (Izquierda) y defectos en la grilla de conexión (Derecha).</i></p> </div> <div style="text-align: center;">  <p><i>E1.1 c) Ejemplos típicos de defectos por contacto entre celdas (Superior izquierda), contacto entre celdas y marco (Inferior izquierda) y burbujas formando un camino continuo entre cualquier parte del circuito y el marco (Derecha).</i></p> </div>			


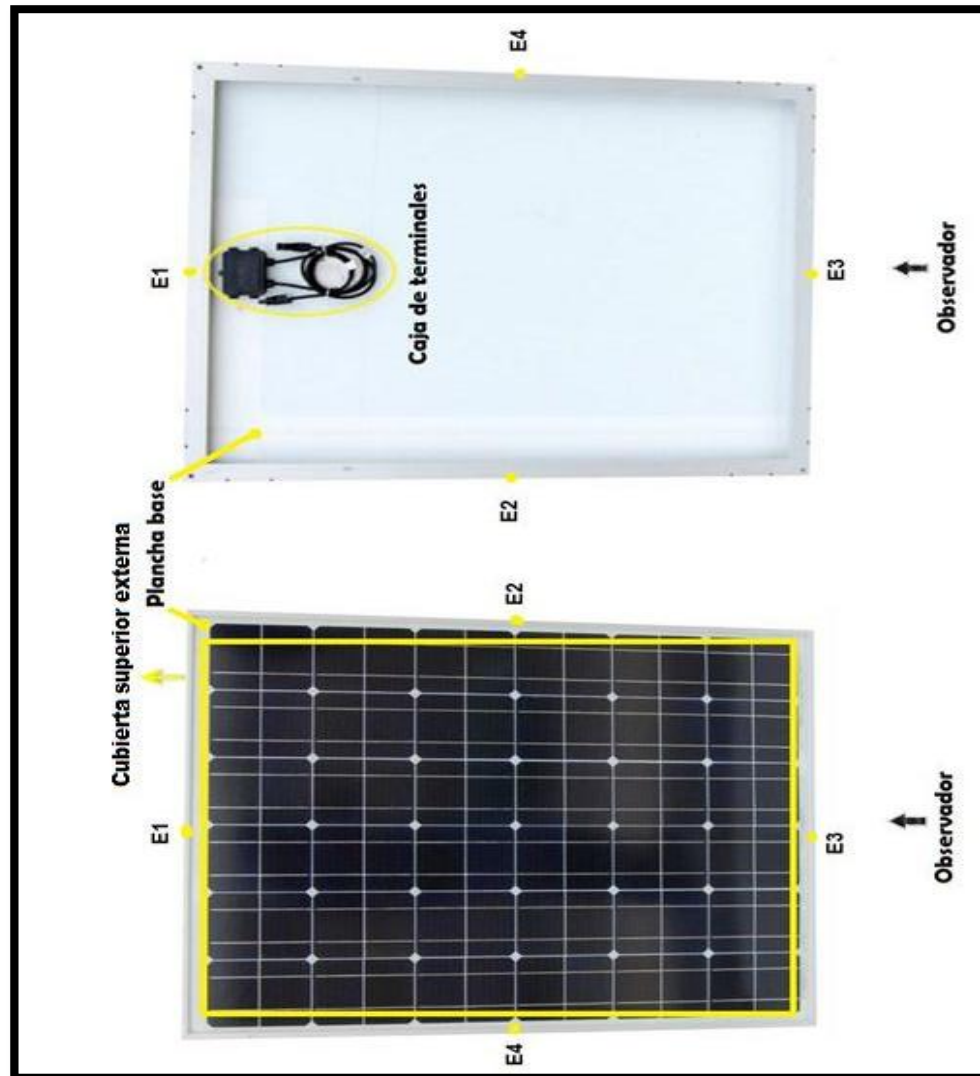
<p>Universidad de El Salvador Facultad de Ingeniería y Arquitectura</p>	<p>Escuela de Ingeniería Eléctrica</p> 	<p>Generalidades del panel en estudio</p>	
<p>"Laboratorio de aplicaciones fotovoltaicas"</p>		<p>Fabricante:</p>	<p>N° de serie:</p>
<p>ENSAYO DE INSPECCION VISUAL</p>		<p>País del fabricante:</p>	<p>Tipo de tecnología:</p>

FIGURA E1.2. Identificación de partes en el panel fotovoltaico.




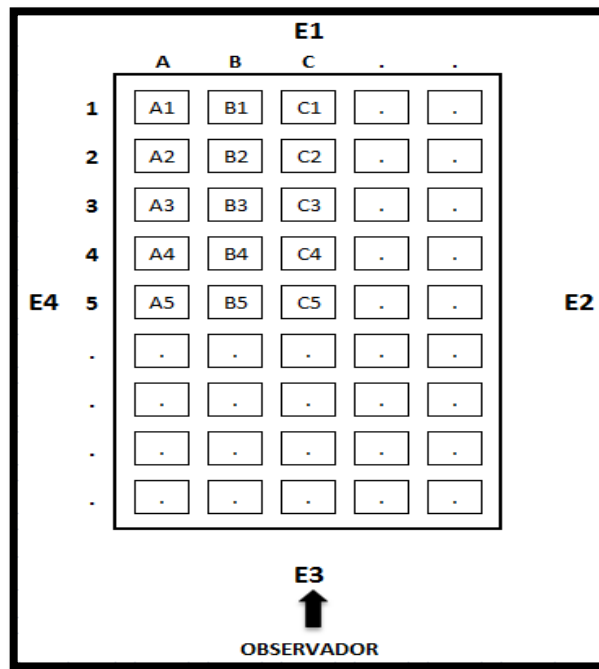
<p><b>Universidad de El Salvador</b>  <b>Facultad de Ingeniería y</b>  <b>Arquitectura</b></p>	<p><b>Escuela de</b>  <b>Ingeniería</b>  <b>Eléctrica</b></p> 	<p><i>Generalidades del panel en estudio</i></p>	
<p><i>“Laboratorio de aplicaciones fotovoltaicas”</i></p>		<p><i>Fabricante:</i></p>	<p><i>N° de serie:</i></p>
<p><b>ENSAYO DE INSPECCION VISUAL</b></p>		<p><i>País del fabricante:</i></p>	<p><i>Tipo de tecnología:</i></p>

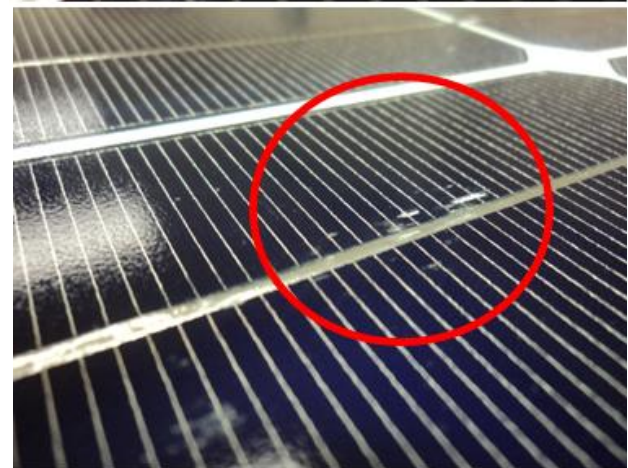
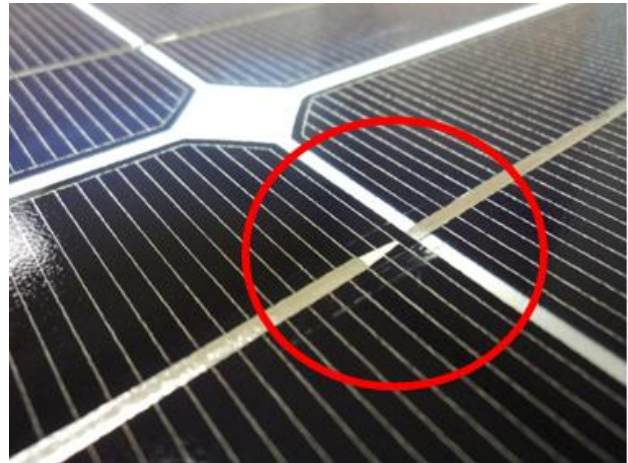
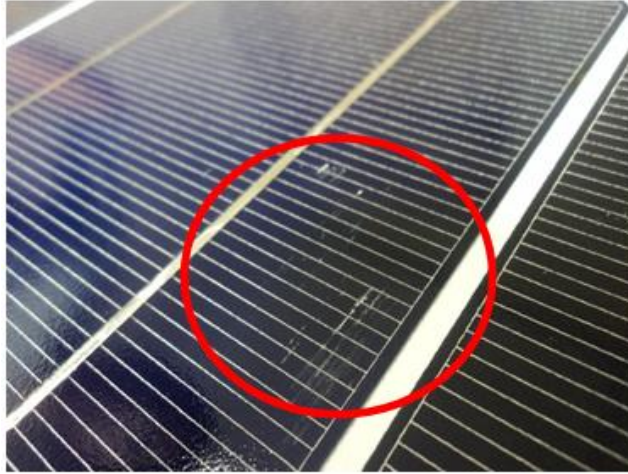
FIGURA E1.3. Identificación de las celdas solares.

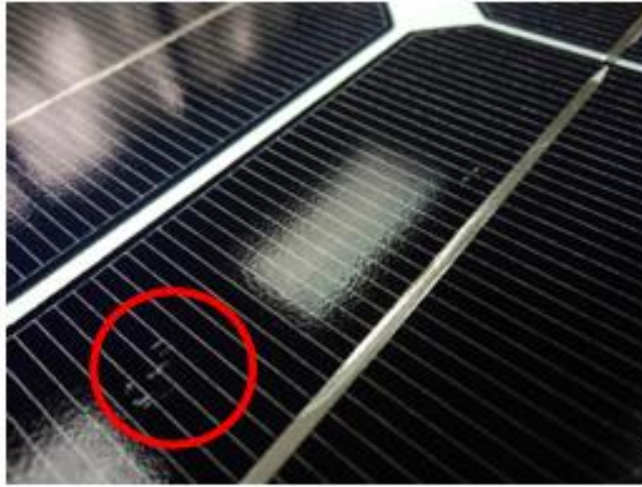




Fotografías de resultados:

- Paso #3: 4 puntos de rayones en cubierta superior externa.



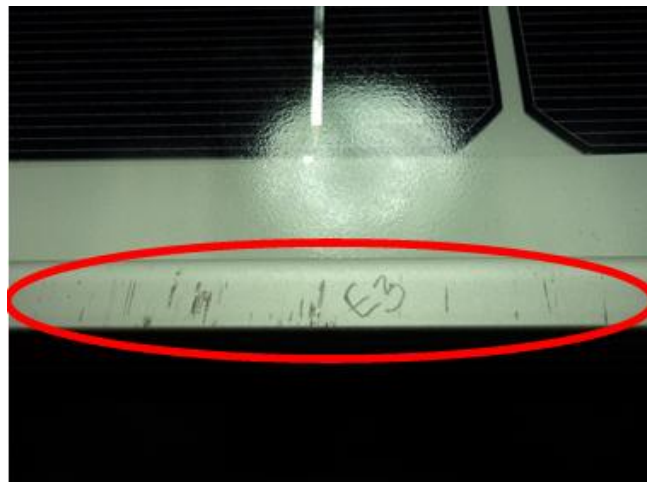


- Paso #4: Sellante mal colocado en los bordes de la plancha base.



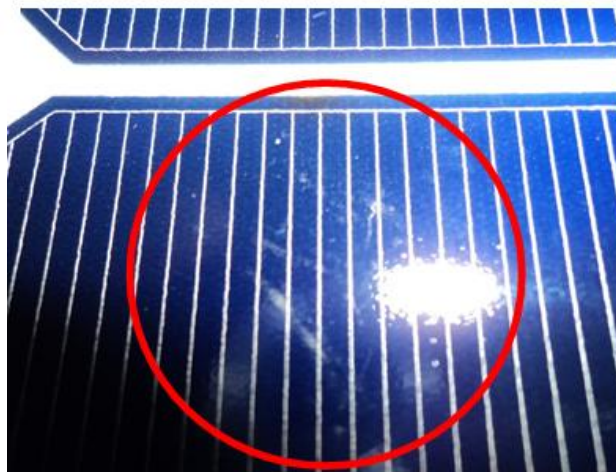
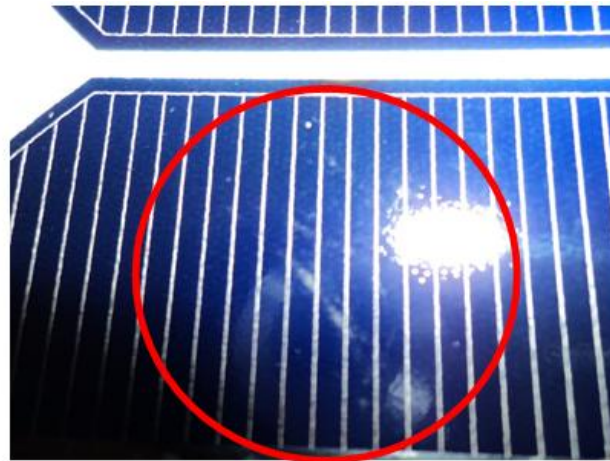


- Paso #5: Rayones en marco.





- Paso #6: defectos de celdas












El Modulo fotovoltaico presenta diversos daños los cuales son notables por el uso de este ya que no es nuevo, los defectos más representativos es el daño en el sellante el cual puede conllevar a filtración de agua hacia el circuito eléctrico entre celdas ocasionando daños en el PFV. Además presenta golpes en diversos puntos los cuales si fuera nuevo podrían ser por el mal embalaje de estos al momento de transportarse.


<p><b>Universidad de El Salvador</b> <b>Facultad de Ingeniería y</b> <b>Arquitectura</b></p>	<p><b>Escuela de</b> <b>Ingeniería</b> <b>Eléctrica</b></p> 	<p><i>Generalidades del panel en estudio</i></p>																			
<p><b>“Laboratorio de aplicaciones fotovoltaicas”</b></p>		<p><i>Fabricante:</i> <b>MONTELEC</b></p>	<p><i>N° de serie:</i> <b>201208290086</b></p>																		
<p><b>ENSAYO DE DETERMINACIÓN DE CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS EN CONDICIONES NORMALIZADAS.</b></p>		<p><i>País del fabricante:</i></p>	<p><i>Tipo de tecnología:</i> <b>MONOCRISTALINO</b></p>																		
<p>ENSAYO PREVIO: _____</p> <p>DESCRIPCION:</p> <p>Este ensayo representa una gran importancia ya que permite establecer el comportamiento del módulo como dispositivo conversor de energía en forma de radiación electromagnética a energía eléctrica. Como resultado del ensayo se obtienen los valores de:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• la corriente de cortocircuito <math>I_{cc}</math></li> <li>• la tensión de circuito abierto <math>V_{ca}</math></li> <li>• la tensión a potencia máxima <math>V_{mp}</math></li> <li>• la corriente a potencia máxima <math>I_{mp}</math></li> <li>• la potencia máxima <math>P_{ma}</math></li> <li>• La curva característica corriente-tensión</li> </ul> <p>EQUIPO:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Unidad de adquisición de datos con carga eléctrica variable.</li> <li>• Soporte orientable manualmente.</li> <li>• Piranómetro.</li> <li>• Mesa para soporte del equipo.</li> <li>• Cámara termográfica.</li> </ul> <p>PROCEDIMIENTO:</p> <p>1. Documentar los datos de placa del panel fotovoltaico.</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 60%;"><i>Max-Potencia <math>P_m(W)</math></i></td> <td style="text-align: right; border-bottom: 1px solid black;"><b>185 W</b></td> </tr> <tr> <td><i>Voltaje máximo <math>V_m(V)</math></i></td> <td style="text-align: right; border-bottom: 1px solid black;"><b>37.8 V</b></td> </tr> <tr> <td><i>Corriente máxima <math>I_m(A)</math></i></td> <td style="text-align: right; border-bottom: 1px solid black;"><b>4.9 A</b></td> </tr> <tr> <td><i>Voltaje de circuito abierto <math>V_{oc}(V)</math></i></td> <td style="text-align: right; border-bottom: 1px solid black;"><b>45 V</b></td> </tr> <tr> <td><i>Corriente de cortocircuito <math>I_{sc}(A)</math></i></td> <td style="text-align: right; border-bottom: 1px solid black;"><b>5.4 A</b></td> </tr> <tr> <td><i>Máximo voltaje del sistema <math>V_{DC}(V)</math></i></td> <td style="text-align: right; border-bottom: 1px solid black;"><b>1000 V</b></td> </tr> <tr> <td><i>Dimensión</i></td> <td style="text-align: right; border-bottom: 1px solid black;"><b>1580 x 808 x 35 mm</b></td> </tr> <tr> <td><i>Peso</i></td> <td style="text-align: right; border-bottom: 1px solid black;"><b>15 Kg</b></td> </tr> <tr> <td><i>Condiciones de test</i></td> <td style="text-align: right; border-bottom: 1px solid black;"><b>1000 W/m<sup>2</sup>, AM 1.5, 25° C</b></td> </tr> </table>				<i>Max-Potencia <math>P_m(W)</math></i>	<b>185 W</b>	<i>Voltaje máximo <math>V_m(V)</math></i>	<b>37.8 V</b>	<i>Corriente máxima <math>I_m(A)</math></i>	<b>4.9 A</b>	<i>Voltaje de circuito abierto <math>V_{oc}(V)</math></i>	<b>45 V</b>	<i>Corriente de cortocircuito <math>I_{sc}(A)</math></i>	<b>5.4 A</b>	<i>Máximo voltaje del sistema <math>V_{DC}(V)</math></i>	<b>1000 V</b>	<i>Dimensión</i>	<b>1580 x 808 x 35 mm</b>	<i>Peso</i>	<b>15 Kg</b>	<i>Condiciones de test</i>	<b>1000 W/m<sup>2</sup>, AM 1.5, 25° C</b>
<i>Max-Potencia <math>P_m(W)</math></i>	<b>185 W</b>																				
<i>Voltaje máximo <math>V_m(V)</math></i>	<b>37.8 V</b>																				
<i>Corriente máxima <math>I_m(A)</math></i>	<b>4.9 A</b>																				
<i>Voltaje de circuito abierto <math>V_{oc}(V)</math></i>	<b>45 V</b>																				
<i>Corriente de cortocircuito <math>I_{sc}(A)</math></i>	<b>5.4 A</b>																				
<i>Máximo voltaje del sistema <math>V_{DC}(V)</math></i>	<b>1000 V</b>																				
<i>Dimensión</i>	<b>1580 x 808 x 35 mm</b>																				
<i>Peso</i>	<b>15 Kg</b>																				
<i>Condiciones de test</i>	<b>1000 W/m<sup>2</sup>, AM 1.5, 25° C</b>																				

<p><b>Universidad de El Salvador</b> <b>Facultad de Ingeniería y</b> <b>Arquitectura</b></p>	<p><b>Escuela de</b> <b>Ingeniería</b> <b>Eléctrica</b></p> 	<p>Generalidades del panel en estudio</p>	
<p><b>“Laboratorio de aplicaciones fotovoltaicas”</b></p>		<p>Fabricante:</p>	<p>N° de serie:</p>
<p><b>ENSAYO DE DETERMINACIÓN DE CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS EN CONDICIONES NORMALIZADAS.</b></p>		<p>País del fabricante:</p>	<p>Tipo de tecnología:</p>
<p>2. Colocar la mesa de soporte para el equipo con el equipo a utilizar y el soporte orientable en el área de trabajo indicada para realizar el ensayo.</p> <p>3. Con el piranómetro ubicado con la misma orientación que el PFV medir el valor de la irradiación el cual debe de ser mayor que 500W/m<sup>2</sup> para poder iniciar con el ensayo.</p> <p>4. Ambientar el PFV a una temperatura ambiente bajo sombra por un lapso de 15 minutos.</p> <p>5. Colocar el PFV sobre la estructura de soporte conectando sus terminales con el analizador solar (Trazadora de curvas), con la cámara termográfica verificar que su temperatura sea mayor que 25 0C.</p> <p>6. Realizar los pasos del 6 al 9 en el lapso de tiempo en que el PFV incrementa su temperatura debido a la exposición a la irradiación solar.</p> <p>7. Con el piranómetro ubicado con la misma orientación que el PFV medir el valor de la irradiación:</p> <p>Valor de irradiación: <u>729W/m<sup>2</sup></u></p> <p>8. Con el analizador solar (Trazadora de curvas) realizar una medición de datos almacenándolos en la memoria interna del dispositivo, Colocar una “X” sobre la medición tomada y continuar con el paso 8.</p> <p>Medición #1: <u>X</u></p> <p>Medición #2: <u>X</u></p> <p>Medición #3: <u>X</u></p> <p>Medición #4: <u>X</u></p> <p>9. Tomar la temperatura del PFV con la cámara termográfica colocada en la opción de medición de área y continuar con el paso 9.</p> <p>Temperatura promedio para Medición #1: <u>29.05<sup>0</sup>C</u></p> <p>Temperatura promedio para Medición #2: <u>32.43<sup>0</sup>C</u></p> <p>Temperatura promedio para Medición #3: <u>38.30<sup>0</sup>C</u></p> <p>Temperatura promedio para Medición #4: <u>42.73<sup>0</sup>C</u></p> <p>10. Repetir los pasos 7 y 8 hasta haber completado todos los campos de medición y estos se encuentren marcados con “X” en total 4 lecturas.</p>			



<p><b>Universidad de El Salvador</b> <b>Facultad de Ingeniería y</b> <b>Arquitectura</b></p>	<p><b>Escuela de</b> <b>Ingeniería</b> <b>Eléctrica</b></p> 	<p><i>Generalidades del panel en estudio</i></p>																			
<p><b>“Laboratorio de aplicaciones fotovoltaicas”</b></p>		<p><i>Fabricante:</i></p>	<p><i>N° de serie:</i></p>																		
<p><b>ENSAYO DE DETERMINACIÓN DE CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS EN CONDICIONES NORMALIZADAS.</b></p>		<p><i>País del fabricante:</i></p>	<p><i>Tipo de tecnología:</i></p>																		
<p>11. Colocar el PFV bajo sombra hasta que alcance la temperatura ambiente corroborar la temperatura con la cámara termográfica.</p> <p>12. Con el piranómetro ubicado con la misma orientación que el PFV medir el valor de la irradiación hasta que este sea distinto que el valor obtenido en el paso 6 por <math>\pm 100 \text{ W/m}^2</math> manteniéndose sobre los <math>700 \text{ W/m}^2</math> :</p> <p>Valor de irradiación: <u>589w/m2</u></p> <p>13. Colocar el PFV sobre la estructura de soporte conectando sus terminales con el analizador solar (Trazadora de curvas), con la cámara termográfica verificar que su temperatura igual que la temperatura promedio para medición # 2 del paso 8.</p> <p>Temperatura promedio para Medición : <u>41°C</u></p> <p>14. Con el analizador solar (Trazadora de curvas) realizar una medición de datos almacenándolos en la memoria interna del dispositivo.</p> <p>15. Apoyándose del archivo en Excel “corrección de curva” Realizar la corrección de datos a valores CEN y completar los siguientes datos:</p> <table border="1" data-bbox="656 1331 1078 1835"> <tr><td>Vca (V)</td><td>42.99</td></tr> <tr><td>Icc (A)</td><td>5.82</td></tr> <tr><td>Vmp (V)</td><td>34.53</td></tr> <tr><td>Imp (A)</td><td>5.27</td></tr> <tr><td>Pm (W)</td><td>182.09</td></tr> <tr><td>Rs</td><td>0.35036</td></tr> <tr><td><math>\alpha</math></td><td>0.00120</td></tr> <tr><td><math>\beta</math></td><td>-0.13918</td></tr> <tr><td>k</td><td>0.00935</td></tr> </table>				Vca (V)	42.99	Icc (A)	5.82	Vmp (V)	34.53	Imp (A)	5.27	Pm (W)	182.09	Rs	0.35036	$\alpha$	0.00120	$\beta$	-0.13918	k	0.00935
Vca (V)	42.99																				
Icc (A)	5.82																				
Vmp (V)	34.53																				
Imp (A)	5.27																				
Pm (W)	182.09																				
Rs	0.35036																				
$\alpha$	0.00120																				
$\beta$	-0.13918																				
k	0.00935																				

Ensayos en módulos fotovoltaicos bajo normas IEC y ASTM

<p><b>Universidad de El Salvador</b>  <b>Facultad de Ingeniería y</b>  <b>Arquitectura</b></p>	<p><b>Escuela de</b>  <b>Ingeniería</b>  <b>Eléctrica</b></p> 	<p><i>Generalidades del panel en estudio</i></p>	
<p><i>“Laboratorio de aplicaciones fotovoltaicas”</i></p>		<p><i>Fabricante:</i></p>	<p><i>N° de serie:</i></p>
<p><b>ENSAYO DE DETERMINACIÓN DE CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS EN CONDICIONES NORMALIZADAS.</b></p>		<p><i>País del fabricante:</i></p>	<p><i>Tipo de tecnología:</i></p>
<p>16. Apoyándose del archivo en Excel “corrección de curva” Anexar la curva corregida a valores CEN.</p> <p>17. Ingresar en la base de Access los resultados obtenidos anteriormente (Consultar Anexo general II).</p>			

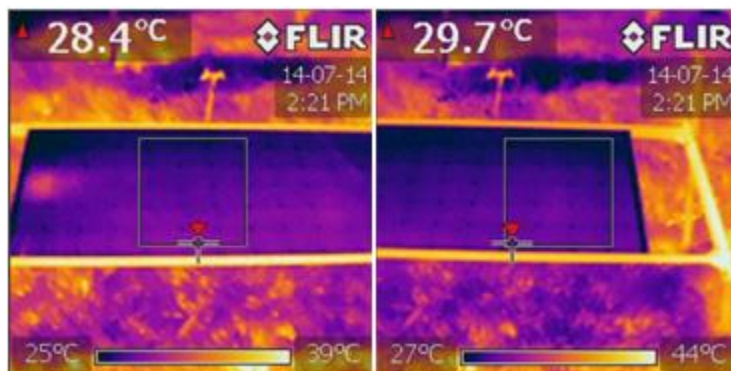
Resultados:

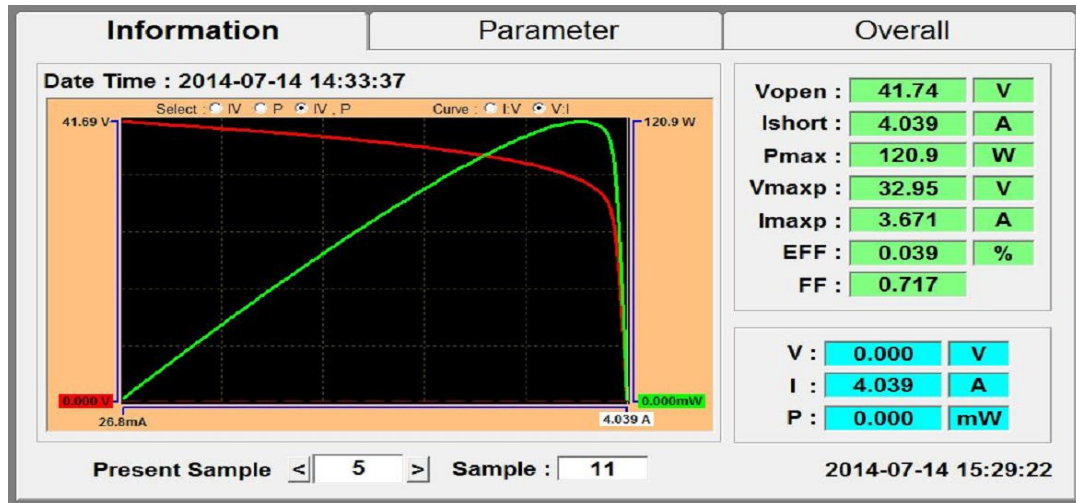
Se tomaron las medidas de las temperaturas con la cámara termográfica sacando un promedio de las temperaturas y obteniendo los valores de la curva I- V con una medición de irradiancia de  $728\text{W/m}^2$ :

- Medición de la irradiancia:

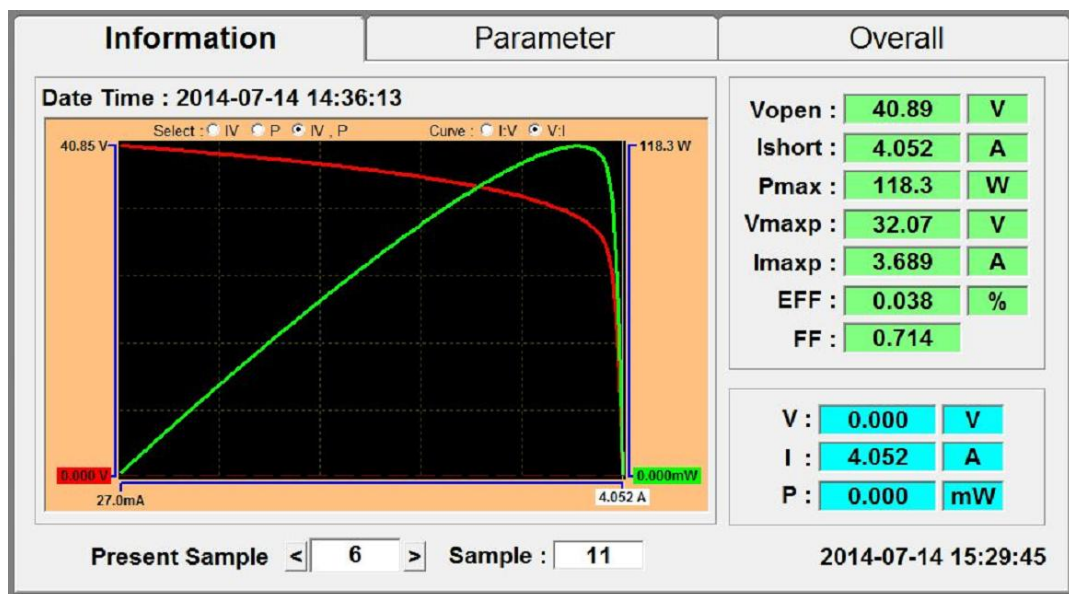
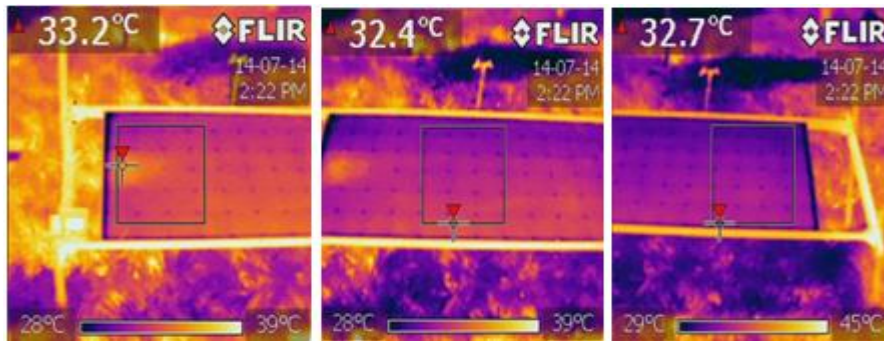


- Para la medición 1 los valores de temperatura y las graficas obtenidas:

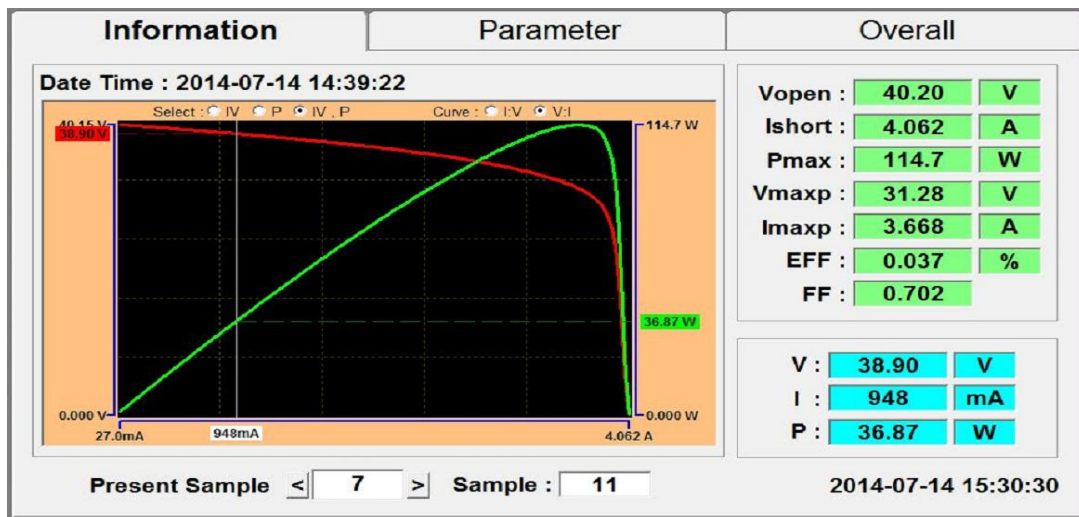
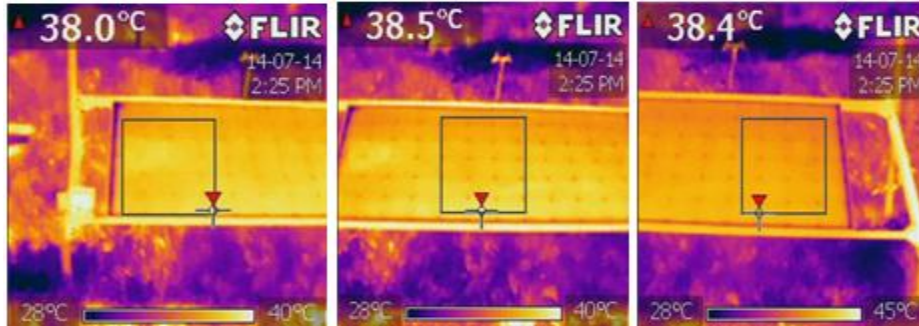




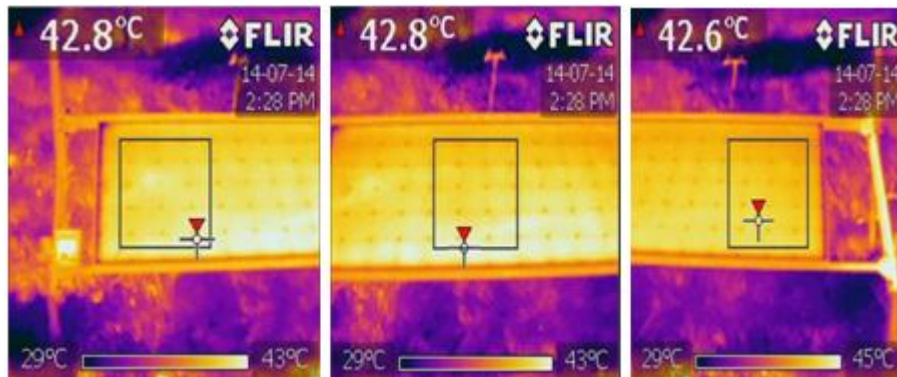
- Para la medición2los valores de temperatura y las graficas obtenidas:



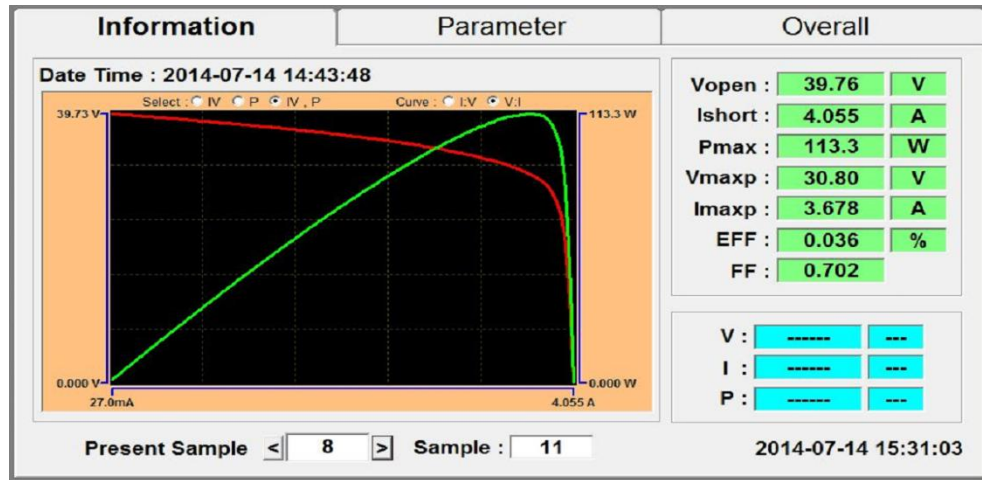
- Para la medición 3 los valores de temperatura y las graficas obtenidas:



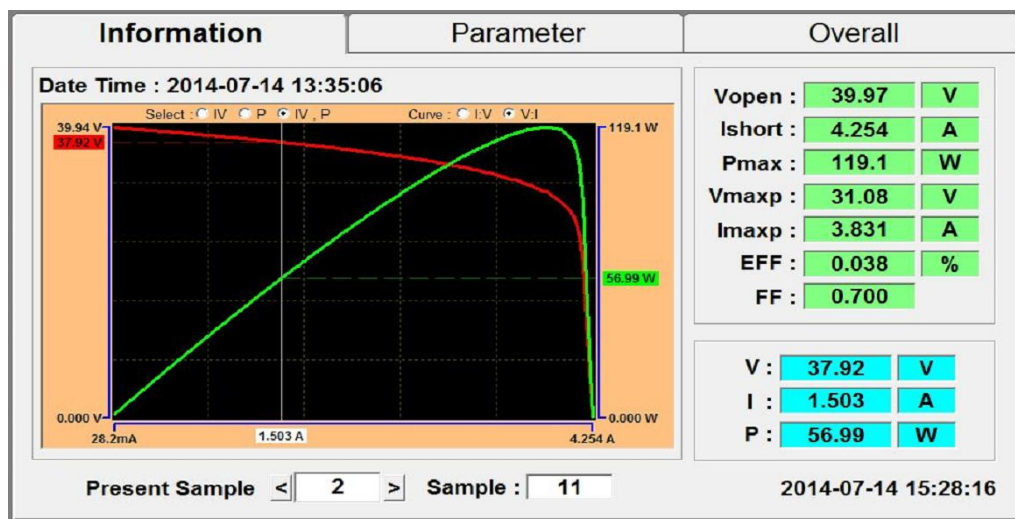
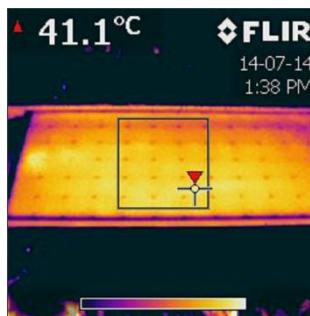
- Para la medición 4 los valores de temperatura y las graficas obtenidas:



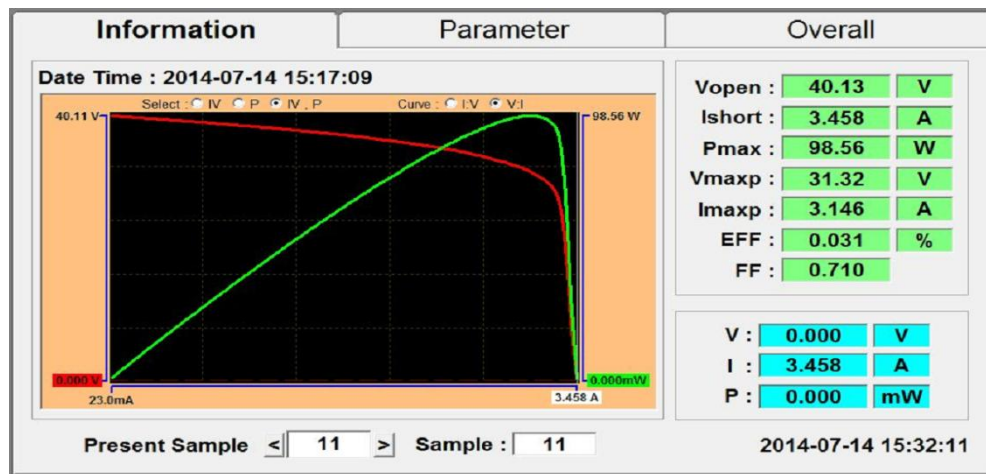
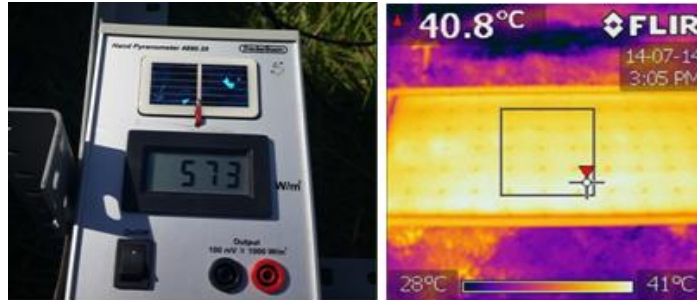




- Medición a temperatura constante a irradiancia de  $728\text{W/m}^2$  los valores de temperatura y las graficas obtenidas:



- Medición a temperatura constante a irradiancia de  $573\text{W/m}^2$  los valores de temperatura y las graficas obtenidas:



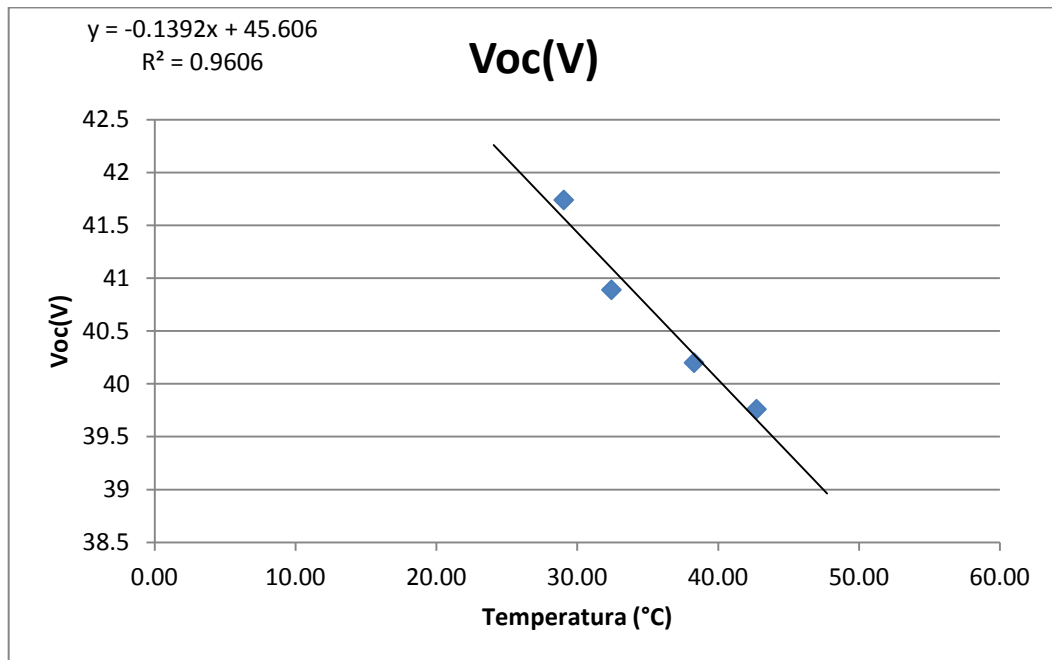
- Apoyándose con el archivo en Excel llamado "Corrección de curva" se obtienen los valores de  $\alpha$  y  $\beta$  los cuales se obtienen graficando los valores de corriente de cortocircuito y voltaje de circuito abierto con respecto a la temperatura:

	Medidos	Panel
$\alpha$	0.0012021	0.00223
$\beta$	-0.139178	-0.065

- Tabla de corrientes de cortocircuito y voltajes de circuito abierto con respecto a la temperatura:

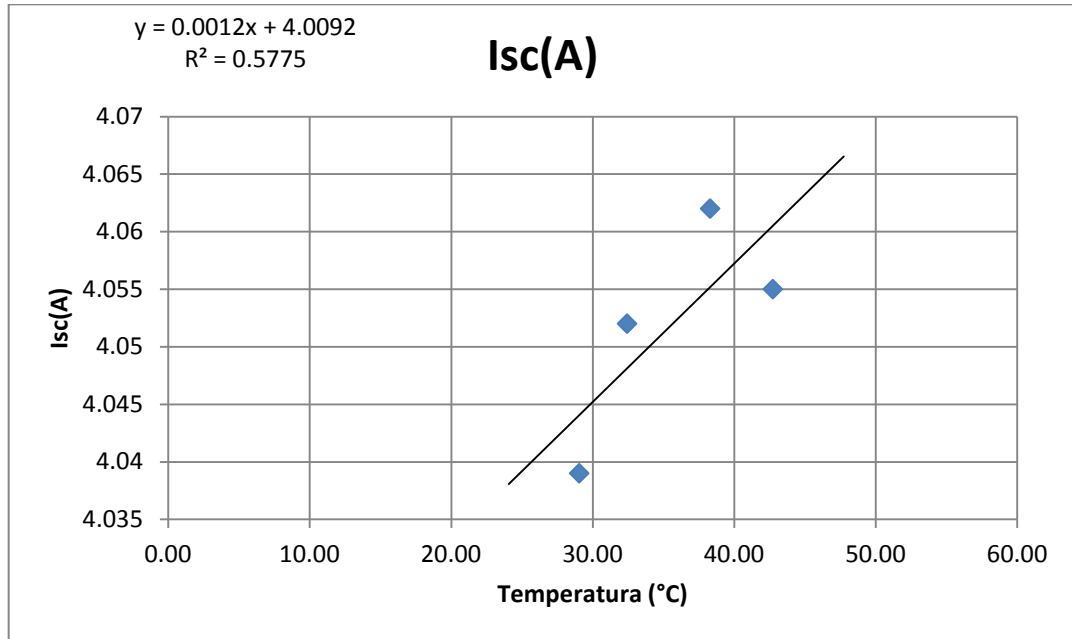
Temperatura (°C)	Isc(A)	Voc(V)
29.05	4.039	41.74
32.43	4.052	40.89
38.30	4.062	40.2
42.73	4.055	39.76

- Grafico de voltajes de circuito abierto con respecto a la temperatura donde el valor de la pendiente es el valor de  $\beta$ :





- Grafico de voltajes de circuito abierto con respecto a la temperatura donde el valor de la pendiente es el valor de  $\alpha$ :



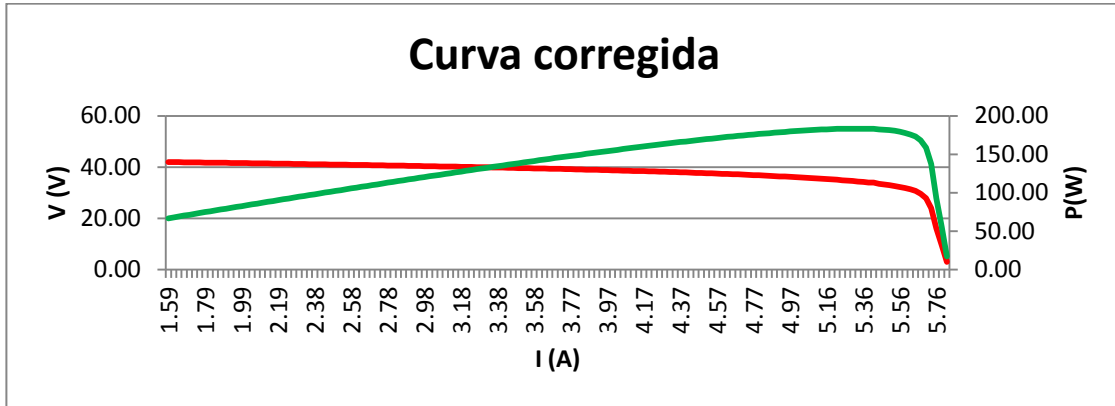
- Los valores de K y Rs obtenidos por el método de corrección de curvas:

Rs	k
0.35036	0.00935

- Al realizar la corrección de curva se obtienen los siguientes resultados:

	Trazada	Corregida
Vopen (V)	39.97	42.99
Ishort (A)	4.254	5.82
Vmaxp (V)	31.08	34.53
Imaxp (A)	3.831	5.27
Pmax (W)	119.1	182.09
Temperatura	41	25
Irradiancia	726	1000

- La curva I-V corregida a 1000W/m<sup>2</sup> y 25 °C se muestra a continuación:



- Al realizar una comparación de los datos obtenidos se obtiene:

	Valores corregidos	Datos de placa	% de diferencia
Vopen (V)	43.38	45.00	3.61
Ishort (A)	5.82	5.40	7.71
Vmaxp (V)	33.94	37.80	10.21
Imaxp (A)	5.39	4.90	10.06
Pmax (W)	183.04	185.00	1.06




Debido a que es un panel que se encuentra en uso y el error ingresado por diversos factores la corrección de datos se realiza de una manera satisfactoria.





Para la realización del método alterno se requiere una cámara de irradiación la cual pueda fijar los valores estables de irradiancia y temperatura para ese método se utiliza el siguiente equipo:

- Resistencia variable: de especificaciones, marca AGILENT N3300A, sistema DC carga electrónica con una carga, modelo N3304A 60 V/60 A, 300 W.



El cual se configura de la siguiente manera:

1. En la carga dc variable presionar el botón VOLTAGE para acceder al menú voltaje luego utilizando el botón  seleccionar el modo se mostrara C: MODE FIXED.
2. En el panel de entrada presionar el botón  Input para obtener el modo lista C: MODE LIST.
3. Acceder al menú lista presionando el botón SHIFT + LIST presionar el botón  en el panel de entrada para acceder al comando del número de veces en que se repetirá la lista LST: CNT 2 para dos repeticiones.

4. Acceder al menú lista y con el botón  accediendo al comando DWEL:0 donde se fijaran los valores tiempo que se desean mantener cada punto.
5. Acceder al menú lista y con el botón  accediendo al comando VOL donde se fijaran los valores de voltaje que se desean mantener cada punto.
6. Acceder al menú lista y con el botón  acceder a los siguientes comando fijando los siguientes valores: C: RANG:0 60, C:SLEW:0 5E6, C:TLEV:0 0.
7. Acceder al menú lista y con el botón  fijar el comando STEP AUTO.
8. Presionar el botón Trigger Control y Enter para iniciar la secuencia.

Realización de pruebas con el equipo:





*Ensayos en módulos fotovoltaicos bajo normas IEC y ASTM*



*Ensayos en módulos fotovoltaicos bajo normas IEC y ASTM*



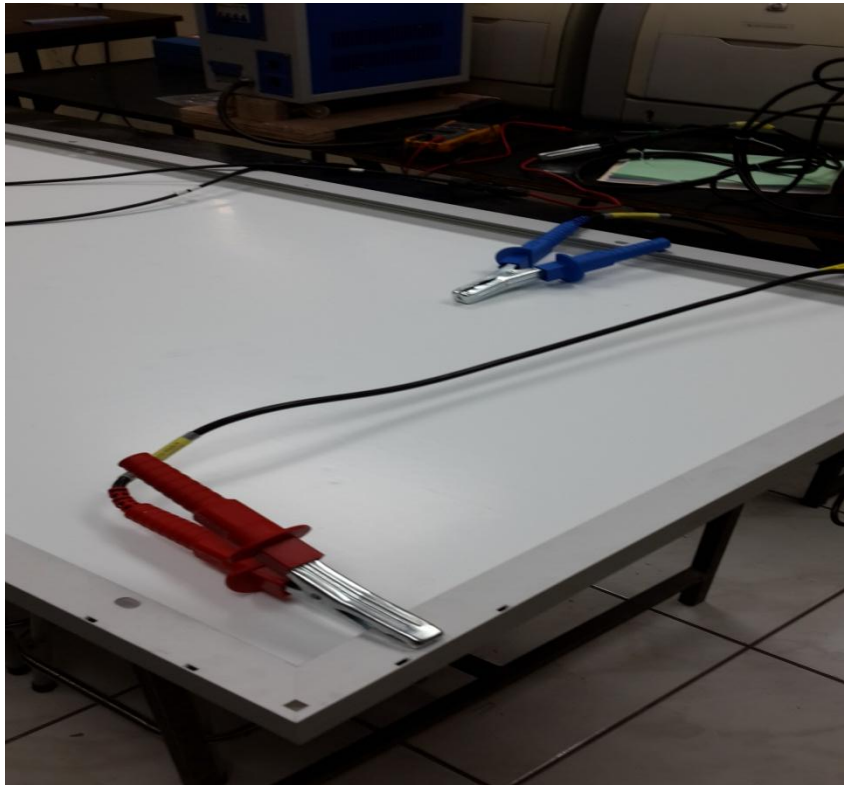
<p><b>Universidad de El Salvador</b> <b>Facultad de Ingeniería y</b> <b>Arquitectura</b></p>	<p><b>Escuela de</b> <b>Ingeniería</b> <b>Eléctrica</b></p> 	<p>Generalidades del panel en estudio</p>																			
<p><b>“Laboratorio de aplicaciones fotovoltaicas”</b></p>		<p>Fabricante: MONTELEC</p>	<p>N° de serie: 201208290086</p>																		
<p><b>ENSAYO DE AISLACION ELECTRICA</b></p>		<p>País del fabricante:</p>	<p>Tipo de tecnología: MONOCRISTALINO</p>																		
<p>ENSAYO PREVIO: _____</p> <p>DESCRIPCION:</p> <p>Este ensayo verifica si el modulo fotovoltaico esta lo suficiente aislado eléctricamente mediante la comprobación de la rigidez dieléctrica y la medición de la resistencia de aislación.</p> <p>EQUIPO:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Butaca de altura regulable (optativo).</li> <li>• Mesa de trabajo (Ver anexo general I).</li> <li>• Megohmetro o medidor de aislación (Ver anexo general I).</li> <li>• Fuente de Voltaje regulable (Ver anexo general I).</li> </ul> <p>PROCEDIMIENTO:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Documentar los datos de placa del panel fotovoltaico.</li> </ol> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 60%;">Max-Potencia Pm(W)</td> <td style="text-align: right; border-bottom: 1px solid black;">185 W</td> </tr> <tr> <td>Voltaje máximo Vm(V)</td> <td style="text-align: right; border-bottom: 1px solid black;">37.8 V</td> </tr> <tr> <td>Corriente máxima Im(A)</td> <td style="text-align: right; border-bottom: 1px solid black;">4.9 A</td> </tr> <tr> <td>Voltaje de circuito abierto Voc(V)</td> <td style="text-align: right; border-bottom: 1px solid black;">45 V</td> </tr> <tr> <td>Corriente de cortocircuito Isc(A)</td> <td style="text-align: right; border-bottom: 1px solid black;">5.4 A</td> </tr> <tr> <td>Máximo voltaje del sistema VDC(V)</td> <td style="text-align: right; border-bottom: 1px solid black;">1000 V</td> </tr> <tr> <td>Dimensión</td> <td style="text-align: right; border-bottom: 1px solid black;">1580 x 808 x 35 mm</td> </tr> <tr> <td>Peso</td> <td style="text-align: right; border-bottom: 1px solid black;">15 Kg</td> </tr> <tr> <td>Condiciones de test</td> <td style="text-align: right; border-bottom: 1px solid black;">1000 W/m<sup>2</sup>, AM 1.5, 25° C</td> </tr> </table> <ol style="list-style-type: none"> <li>2. Colocar el panel solar a ensayar sobre la mesa de trabajo.</li> <li>3. Si el voltaje de circuito abierto es menor que 50V aplicar una tensión de 500V, luego mantenerse durante un minuto, entre el marco y el circuito eléctrico del módulo.</li> </ol> <p>Se produjeron descargas: SI ___ NO <u>X</u></p> <p>Se produjo discontinuidad dieléctrica: SI ___ NO <u>X</u></p> <p>Otros, especifique: _____</p>				Max-Potencia Pm(W)	185 W	Voltaje máximo Vm(V)	37.8 V	Corriente máxima Im(A)	4.9 A	Voltaje de circuito abierto Voc(V)	45 V	Corriente de cortocircuito Isc(A)	5.4 A	Máximo voltaje del sistema VDC(V)	1000 V	Dimensión	1580 x 808 x 35 mm	Peso	15 Kg	Condiciones de test	1000 W/m <sup>2</sup> , AM 1.5, 25° C
Max-Potencia Pm(W)	185 W																				
Voltaje máximo Vm(V)	37.8 V																				
Corriente máxima Im(A)	4.9 A																				
Voltaje de circuito abierto Voc(V)	45 V																				
Corriente de cortocircuito Isc(A)	5.4 A																				
Máximo voltaje del sistema VDC(V)	1000 V																				
Dimensión	1580 x 808 x 35 mm																				
Peso	15 Kg																				
Condiciones de test	1000 W/m <sup>2</sup> , AM 1.5, 25° C																				

<p><b>Universidad de El Salvador</b> <b>Facultad de Ingeniería y</b> <b>Arquitectura</b></p>	<p><b>Escuela de</b> <b>Ingeniería</b> <b>Eléctrica</b></p> 	<p>Generalidades del panel en estudio</p>	
<p><b>"Laboratorio de aplicaciones fotovoltaicas"</b></p>		<p>Fabricante:</p>	<p>N° de serie:</p>
<p><b>ENSAYO DE AISLACION ELECTRICA</b></p>		<p>País del fabricante:</p>	<p>Tipo de tecnología:</p>
<p>4. Si el voltaje de circuito abierto es mayor que 50V aplicar una tensión de 1000V más el doble de la tensión de circuito abierto a una razón máxima de 500V/s, luego mantenerse durante un minuto, entre el marco y el circuito eléctrico del módulo.</p> <p>Se produjeron descargas: SI ___ NO ___                  Se produjo discontinuidad dieléctrica: SI ___ NO ___                  Otros, especifique: _____</p> <p>5. Aplicar una tensión de 500V entre el marco y el circuito eléctrico y medir la resistencia de aislamiento corroborando que esta sea mayor a 50MΩ.</p> <p>Valor de resistencia de aislamiento: <u>736MΩ</u>                  Es el valor de la resistencia de aislamiento: SI ___ NO <u>X</u></p> <p>6. Ingresar en la base de Access los resultados obtenidos anteriormente (Ver anexo general II).</p> <p>7. Se han obtenido resultados satisfactorios en todas las pruebas realizadas SI <u>X</u> NO ___</p>			



Fotografías de resultados:

- Conexión del equipo



- Valor de resistencia de aislación:



- El equipo posee la función R-DAR-PI-DD permite la medición automática de:  
Razón de Absorción Dieléctrica (DAR)  
Índice de polarización (PI)  
Ensayo de Descarga Dieléctrica (DD)


Los valores de PI y DAR son útiles en cables largos, o al monitorear el envejecimiento de la aislación en máquinas eléctricas y los valores recomendados según fabricante son:

DAR	PI	Estado de la aislación
< 1.25	< 1	Inadecuada, incluso peligrosa
	< 2	
< 1.6	> 2 to < 4	Buena
> 1.6	> 4	Excelente





*Ensayos en módulos fotovoltaicos bajo normas IEC y ASTM*




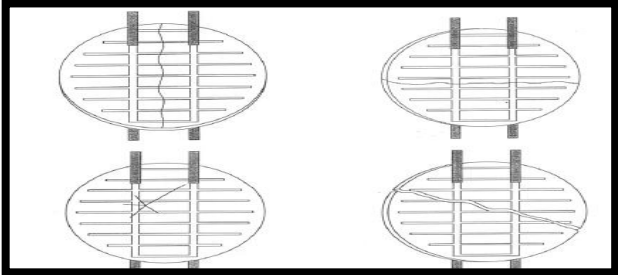
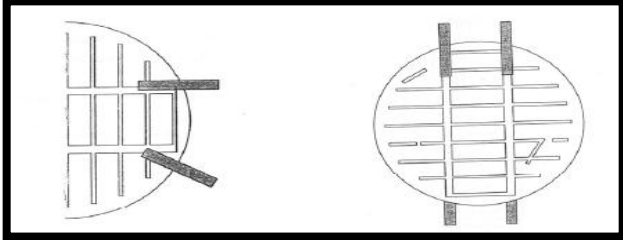
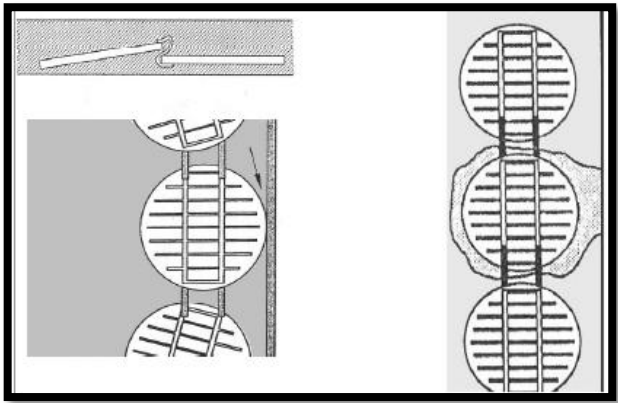
<p><b>Universidad de El Salvador</b> <b>Facultad de Ingeniería y</b> <b>Arquitectura</b></p>	<p><b>Escuela de</b> <b>Ingeniería</b> <b>Eléctrica</b></p> 	<p>Generalidades del panel en estudio</p>																			
<p><b>“Laboratorio de aplicaciones fotovoltaicas”</b></p>		<p>Fabricante: MONTELEC</p>	<p>N° de serie: 201208290086</p>																		
<p><b>ENSAYO DE INSPECCION VISUAL</b></p>		<p>País del fabricante:</p>	<p>Tipo de tecnología: MONOCRISTALINO</p>																		
<p>ENSAYO PREVIO: _____ <u>ENSAYO DE AISLACION ELECTRICA</u> _____</p> <p>DESCRIPCION:</p> <p>Este ensayo pretende detectar visualmente todas aquellas alteraciones que pudieran existir en los diferentes elementos que componen el panel solar, considerándose principalmente rajaduras, roturas, interconexiones entre celdas y defectos en grillas de conexión (Ver figura E1.1), por ser los que poseen mayor frecuencia de aparición en paneles solares.</p> <p>PARTES A INSPECCIONAR:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cubierta superior externa.</li> <li>• Marco.</li> <li>• Celdas Solares.</li> <li>• Plancha base.</li> <li>• Caja de terminales.</li> </ul> <p>EQUIPO:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Lupa portable o empotrada (Ver anexo general I).</li> <li>• Mesa de trabajo con iluminación de 1000 Lux (Ver anexo general I).</li> <li>• Cámara fotográfica (Opcional).</li> </ul> <p>PROCEDIMIENTO:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Documentar los datos de placa del panel fotovoltaico.</li> </ol> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 60%;">Max-Potencia Pm(W)</td> <td style="text-align: right; border-bottom: 1px solid black;">185 W</td> </tr> <tr> <td>Voltaje máximo Vm(V)</td> <td style="text-align: right; border-bottom: 1px solid black;">37.8 V</td> </tr> <tr> <td>Corriente máxima Im(A)</td> <td style="text-align: right; border-bottom: 1px solid black;">4.9 A</td> </tr> <tr> <td>Voltaje de circuito abierto Voc(V)</td> <td style="text-align: right; border-bottom: 1px solid black;">45 V</td> </tr> <tr> <td>Corriente de cortocircuito Isc(A)</td> <td style="text-align: right; border-bottom: 1px solid black;">5.4 A</td> </tr> <tr> <td>Máximo voltaje del sistema VDC(V)</td> <td style="text-align: right; border-bottom: 1px solid black;">1000 V</td> </tr> <tr> <td>Dimensión</td> <td style="text-align: right; border-bottom: 1px solid black;">1580 x 808 x 35 mm</td> </tr> <tr> <td>Peso</td> <td style="text-align: right; border-bottom: 1px solid black;">15 Kg</td> </tr> <tr> <td>Condiciones de test</td> <td style="text-align: right; border-bottom: 1px solid black;">1000 W/m<sup>2</sup>, AM 1.5, 25° C</td> </tr> </table>				Max-Potencia Pm(W)	185 W	Voltaje máximo Vm(V)	37.8 V	Corriente máxima Im(A)	4.9 A	Voltaje de circuito abierto Voc(V)	45 V	Corriente de cortocircuito Isc(A)	5.4 A	Máximo voltaje del sistema VDC(V)	1000 V	Dimensión	1580 x 808 x 35 mm	Peso	15 Kg	Condiciones de test	1000 W/m <sup>2</sup> , AM 1.5, 25° C
Max-Potencia Pm(W)	185 W																				
Voltaje máximo Vm(V)	37.8 V																				
Corriente máxima Im(A)	4.9 A																				
Voltaje de circuito abierto Voc(V)	45 V																				
Corriente de cortocircuito Isc(A)	5.4 A																				
Máximo voltaje del sistema VDC(V)	1000 V																				
Dimensión	1580 x 808 x 35 mm																				
Peso	15 Kg																				
Condiciones de test	1000 W/m <sup>2</sup> , AM 1.5, 25° C																				

Ensayos en módulos fotovoltaicos bajo normas IEC y ASTM

<p><b>Universidad de El Salvador</b> <b>Facultad de Ingeniería y</b> <b>Arquitectura</b></p>	<p><b>Escuela de</b> <b>Ingeniería</b> <b>Eléctrica</b></p> 	<p>Generalidades del panel en estudio</p>	
<p><b>“Laboratorio de aplicaciones fotovoltaicas”</b></p>		<p>Fabricante:</p>	<p>N° de serie:</p>
<p><b>ENSAYO DE INSPECCION VISUAL</b></p>		<p>País del fabricante:</p>	<p>Tipo de tecnología:</p>
<p>2. Colocar el panel solar a inspeccionar sobre la mesa de trabajo en la que se tenga una iluminación de 1000 Lux (Ver anexo general I).</p> <p>3. Inspeccionar la cubierta Superior externa (Ver figura E1.2).</p> <p>Se encontraron rajaduras: <span style="float: right;">SI ___ NO <u>X</u></span>          Se encontraron roturas: <span style="float: right;">SI ___ NO <u>X</u></span>          Se encontraron delaminaciones: <span style="float: right;">SI ___ NO <u>X</u></span>          Se encontraron empañamientos: <span style="float: right;">SI ___ NO <u>X</u></span>          Se encontraron astilladuras: <span style="float: right;">SI ___ NO <u>X</u></span>          Otros, especifique: _____</p> <p>4. Inspeccionar la plancha base (Ver figura E1.2).</p> <p>Se encontraron rajaduras: <span style="float: right;">SI ___ NO <u>X</u></span>          Se encontraron roturas: <span style="float: right;">SI ___ NO <u>X</u></span>          Otros, especifique: _____</p> <p>5. Inspeccionar el marco (Ver figura E1.2).</p> <p>Se encontraron rajaduras: <span style="float: right;">SI ___ NO <u>X</u></span>          Especifique N° de marco: _____          Se encontraron abolladuras: <span style="float: right;">SI ___ NO <u>X</u></span>          Especifique N° de marco: _____          Se encontraron dobleces: <span style="float: right;">SI ___ NO <u>X</u></span>          Especifique N° de marco: _____          Se encontraron falta de material: <span style="float: right;">SI ___ NO <u>X</u></span>          Especifique N° de marco: _____          Otros, especifique: _____          Especifique N° de marco: _____</p>			

<p><b>Universidad de El Salvador</b> <b>Facultad de Ingeniería y</b> <b>Arquitectura</b></p>	<p><b>Escuela de</b> <b>Ingeniería</b> <b>Eléctrica</b></p> 	<p>Generalidades del panel en estudio</p>	
<p><b>“Laboratorio de aplicaciones fotovoltaicas”</b></p>		<p>Fabricante:</p>	<p>N° de serie:</p>
<p><b>ENSAYO DE INSPECCION VISUAL</b></p>		<p>País del fabricante:</p>	<p>Tipo de tecnología:</p>
<p>6. Inspeccionar la caja de terminales (Ver figura E1.2).</p> <p>Se encontraron rajaduras: <span style="float: right;">SI ___ NO <u>X</u></span>                  Se encontraron quebraduras: <span style="float: right;">SI ___ NO <u>X</u></span>                  Se encontraron daños en la bornera: <span style="float: right;">SI ___ NO <u>X</u></span>                  Especifique: _____                  Se encontraron daños en los cables de conexión: : <span style="float: right;">SI ___ NO <u>X</u></span>                  Especifique: _____                  Cuenta con diodos de protección: <span style="float: right;">SI ___ NO <u>X</u></span>                  Especifique cantidad: _____                  Se encontró juego: <span style="float: right;">SI ___ NO <u>X</u></span>                  Otros, especifique: _____</p> <p>7. Inspeccionar las celdas solares si se trata de un panel de Silicio Monocristalino o Policristalino (Ver figura E1.2).</p> <p>Realizar la numeración de las celdas basándose en la figura E1.3.</p> <p>Se encontraron rajaduras: <span style="float: right;">SI ___ NO <u>X</u></span>                  Especifique N° de las celdas: _____                  Se encontraron roturas: <span style="float: right;">SI ___ NO <u>X</u></span>                  Especifique N° de las celdas: _____                  Se encontraron defectos en Interconexión de celdas : <span style="float: right;">SI ___ NO <u>X</u></span>                  Especifique N° de las celdas: _____                  Se encontraron defectos en grilla de conexión : <span style="float: right;">SI ___ NO <u>X</u></span>                  Especifique N° de las celdas: _____                  Se encontraron contactos entre celdas: <span style="float: right;">SI ___ NO <u>X</u></span>                  Especifique N° de las celdas: _____                  Se encontraron contacto entre Celda y marco: <span style="float: right;">SI ___ NO <u>X</u></span>                  Especifique N° de las celdas: _____                  Se encontraron burbujas de Camino continuo: <span style="float: right;">SI ___ NO <u>X</u></span>                  Especifique N° de las celdas: _____                  Otros, especifique: _____                  Especifique N° de las celdas: _____</p>			



<p><b>Universidad de El Salvador</b>  <b>Facultad de Ingeniería y</b>  <b>Arquitectura</b></p>	<p><b>Escuela de</b>  <b>Ingeniería</b>  <b>Eléctrica</b></p> 	<p>Generalidades del panel en estudio</p>	
<p><b>"Laboratorio de aplicaciones fotovoltaicas"</b></p>		<p>Fabricante:</p>	<p>N° de serie:</p>
<p><b>ENSAYO DE INSPECCION VISUAL</b></p>		<p>País del fabricante:</p>	<p>Tipo de tecnología:</p>
<p><i>FIGURA E1.1. Alteraciones comunes en paneles solares.</i></p>  <p><i>E1.1 a) Ejemplos típicos de rajadura y rotura de celdas.</i></p>  <p><i>E1.1 b) Ejemplos típicos de defectos en la interconexión entre celdas (Izquierda) y defectos en la grilla de conexión (Derecha).</i></p>  <p><i>E1.1 c) Ejemplos típicos de defectos por contacto entre celdas (Superior izquierda), contacto entre celdas y marco (Inferior izquierda) y burbujas formando un camino continuo entre cualquier parte del circuito y el marco (Derecha).</i></p>			




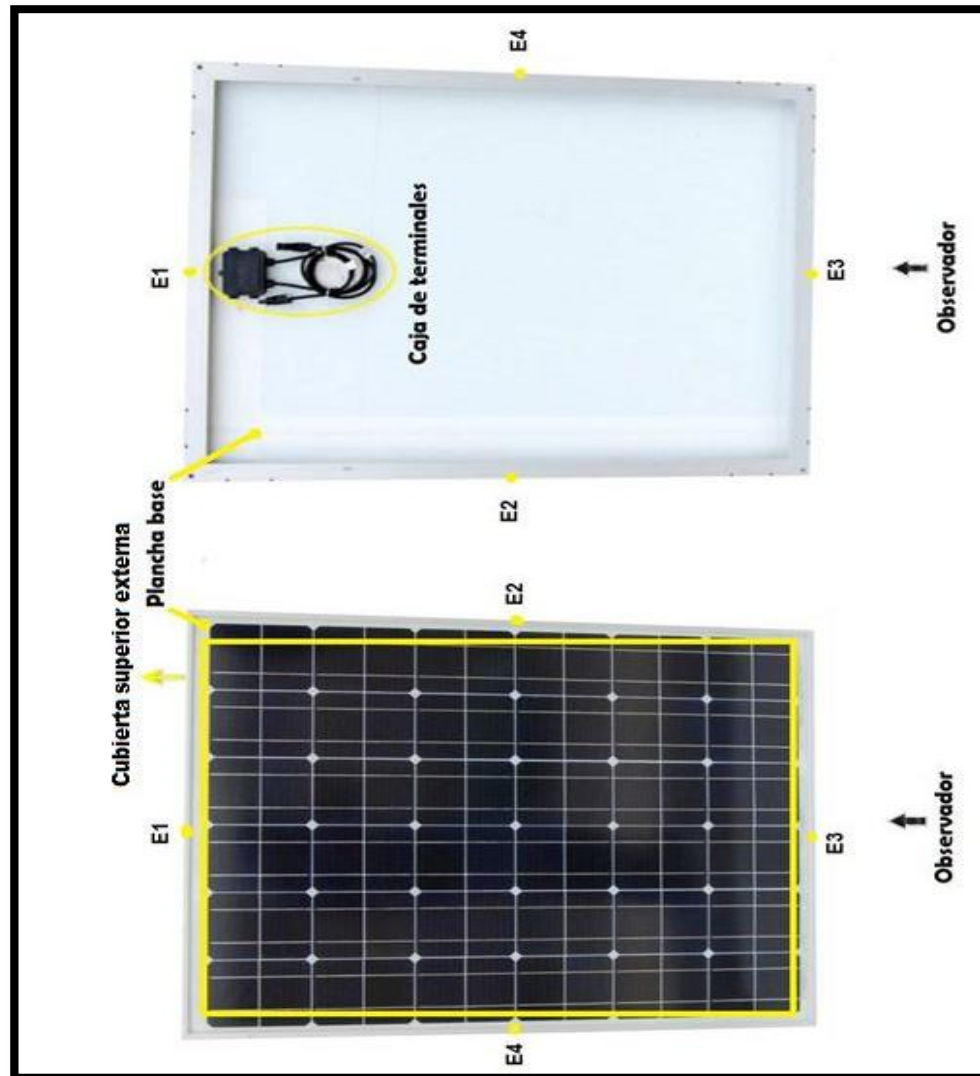
<p>Universidad de El Salvador Facultad de Ingeniería y Arquitectura</p>	<p>Escuela de Ingeniería Eléctrica</p> 	<p>Generalidades del panel en estudio</p>	
<p>"Laboratorio de aplicaciones fotovoltaicas"</p>		<p>Fabricante:</p>	<p>N° de serie:</p>
<p>ENSAYO DE INSPECCION VISUAL</p>		<p>País del fabricante:</p>	<p>Tipo de tecnología:</p>

FIGURA E1.2. Identificación de partes en el panel fotovoltaico.




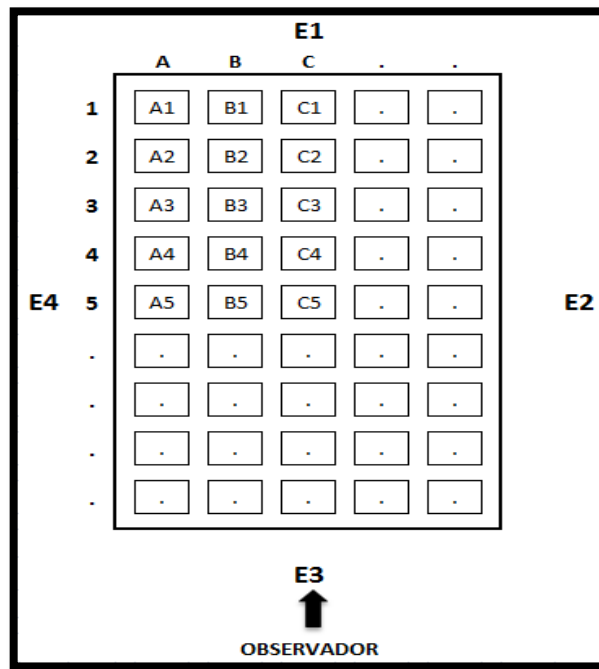


<p><b>Universidad de El Salvador</b>  <b>Facultad de Ingeniería y</b>  <b>Arquitectura</b></p>	<p><b>Escuela de</b>  <b>Ingeniería</b>  <b>Eléctrica</b></p> 	<p><i>Generalidades del panel en estudio</i></p>	
<p><i>"Laboratorio de aplicaciones fotovoltaicas"</i></p>		<p><i>Fabricante:</i></p>	<p><i>N° de serie:</i></p>
<p><b>ENSAYO DE INSPECCION VISUAL</b></p>		<p><i>País del fabricante:</i></p>	<p><i>Tipo de tecnología:</i></p>

FIGURA E1.3. Identificación de las celdas solares.



<p><b>Universidad de El Salvador</b> <b>Facultad de Ingeniería y</b> <b>Arquitectura</b></p>	<p><b>Escuela de</b> <b>Ingeniería</b> <b>Eléctrica</b></p> 	<p>Generalidades del panel en estudio</p>	
<p><b>“Laboratorio de aplicaciones fotovoltaicas”</b></p>		<p>Fabricante: MONTELEC</p>	<p>N° de serie: 201208290086</p>
<p><b>ENSAYO DE TORSION</b></p>		<p>País del fabricante:</p>	<p>Tipo de tecnología: MONOCRISTALINO</p>
<p>ENSAYO PREVIO: _____</p> <p>DESCRIPCION:</p> <p><i>Este ensayo pretende determinar la resistencia del panel solar a esfuerzos de torsión, ya que estos pueden presentarse en el montaje debido a imperfecciones en la estructura de soporte.</i></p> <p>PARTES A EVALUAR:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cada uno de los vértices del panel.</li> </ul> <p>EQUIPO:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Base de soporte horizontal (Ver anexo general I).</li> <li>• Megóhmetro (Ver anexo general I).</li> <li>• Multímetro (Ver anexo general I).</li> <li>• Cinta métrica (Ver anexo general I).</li> </ul> <p>PROCEDIMIENTO:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Colocar el panel solar sobre la base dejando libre uno de los vértices, tal como se muestra en la Figura E5.1.</li> <li>2. Calcular “h” mediante la siguiente fórmula:  <math display="block">h = H - 0,021 * D</math>                     Donde (Ver Figura E5.2):                      H= la altura desde el suelo hasta el panel.                      D= la diagonal del panel.                       Registrar el valor obtenido: <math>h = \underline{47.37cm}</math> </li> <li>3. Ejercer una presión vertical hacia abajo sobre el primer vértice que se encuentra sin soporte hasta hacerlo descender a la altura “h” medida desde el suelo auxiliándose de una cinta métrica (Ver Figura E5.2).</li> <li>4. Durante la aplicación de la torsión, verificar el aislamiento eléctrico marco-circuito.                      Existió variación en el aislamiento eléctrico:                     <p style="text-align: right;">SI ___ NO <u>X</u></p> </li> </ol>			

Ensayos en módulos fotovoltaicos bajo normas IEC y ASTM

<p><b>Universidad de El Salvador</b>  <b>Facultad de Ingeniería y</b>  <b>Arquitectura</b></p>	<p><b>Escuela de</b>  <b>Ingeniería</b>  <b>Eléctrica</b></p> 	<p>Generalidades del panel en estudio</p>	
<p><b>“Laboratorio de aplicaciones fotovoltaicas”</b></p>		<p>Fabricante:</p>	<p>N° de serie:</p>
<p><b>ENSAYO DE TORSION</b></p>		<p><i>País del</i>  <i>fabricante:</i></p>	<p><i>Tipo de</i>  <i>tecnología:</i></p>
<p>5. Durante la aplicación de la torsión, verificar la continuidad eléctrica del circuito interno del generador. Se encontró discontinuidad eléctrica:</p> <p>6. Realizar ensayo 1 “Inspección Visual”.                  Se obtuvieron resultados satisfactorios <span style="float: right;">SI <u>X</u> NO ___</span></p> <p>7. Realizar ensayo 2 “Características eléctricas en condiciones normalizadas”                  Se obtuvieron resultados satisfactorios <span style="float: right;">SI <u>X</u> NO ___</span></p> <p>8. Ingresar en la base de Access los resultados obtenidos anteriormente (Ver anexo general II).</p>			


<p><b>Universidad de El Salvador</b>  <b>Facultad de Ingeniería y</b>  <b>Arquitectura</b></p>	<p><b>Escuela de</b>  <b>Ingeniería</b>  <b>Eléctrica</b></p> 	<p>Generalidades del panel en estudio</p>	
<p><b>"Laboratorio de aplicaciones fotovoltaicas"</b></p>		<p>Fabricante:  <b>MONTELEC</b></p>	<p>N° de serie:  <b>201208290086</b></p>
<p><b>ENSAYO DE TORSION</b></p>		<p>País del fabricante:</p>	<p>Tipo de tecnología:  <b>MONOCRISTALINO</b></p>

FIGURA E5.1. Colocación del panel en la base de soporte horizontal.

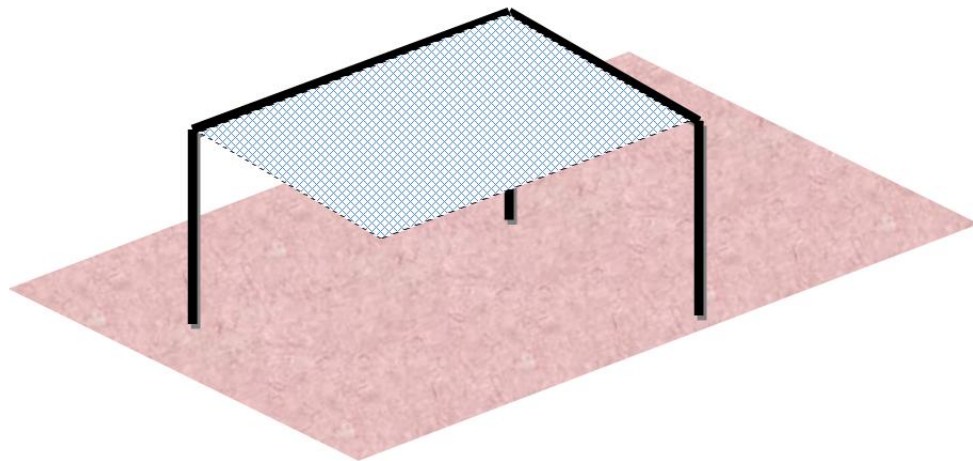
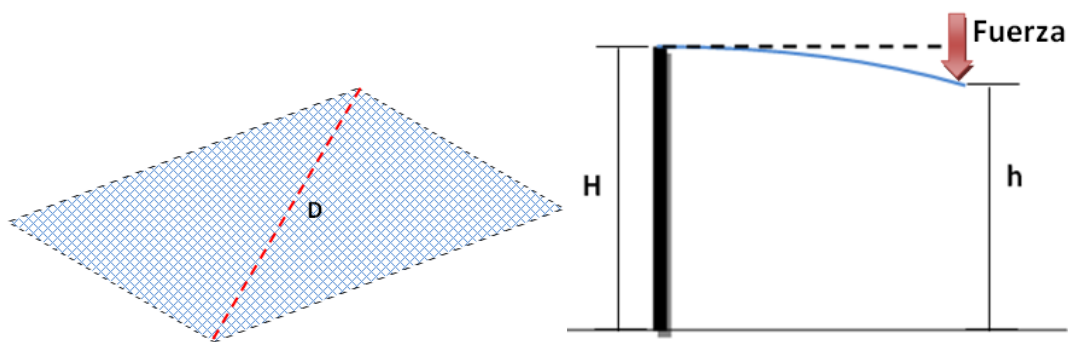


FIGURA E5.2. Calculo de h y aplicación de torsión.



- Datos:

Calculo de D (diagonal del panel):

Ancho: 80.8 cm.

Largo: 158 cm.

$$D = \sqrt{(80.8\text{cm})^2 + (158\text{cm})^2}$$

$$D = 125.27 \text{ cm}$$

Valor de H:

$$H = 19.4\text{cm}$$

Calculo de h:

$$h = 19.4\text{cm} - 0.021 * 125.27$$

$$h = 16.4 \text{ cm}$$

- Armado de estructura de soporte:



- Fijación del panel con las mordazas de soporte:



- Medición e la inclinación  $h$ :




- Valor de la aislación eléctrica  $596.4\text{M}\Omega$  para los puntos:








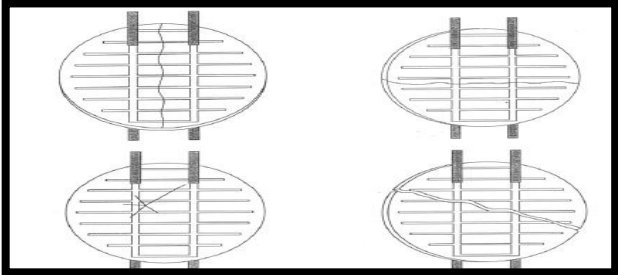
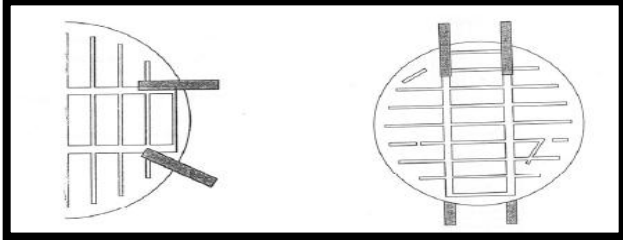
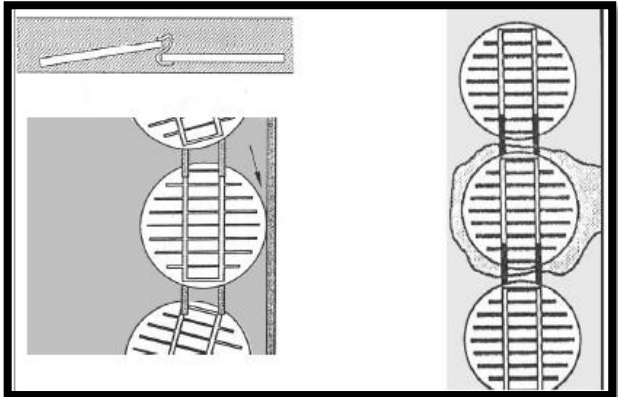
*Ensayos en módulos fotovoltaicos bajo normas IEC y ASTM*

<b>Universidad de El Salvador</b> <b>Facultad de Ingeniería y</b> <b>Arquitectura</b>	<b>Escuela de</b> <b>Ingeniería</b> <b>Eléctrica</b>		<b>Generalidades del panel en estudio</b>																			
<b>“Laboratorio de aplicaciones fotovoltaicas”</b>			<b>Fabricante:</b> MONTELEC	<b>N° de serie:</b> 201208290086																		
<b>ENSAYO DE INSPECCION VISUAL</b>			<b>País del fabricante:</b>	<b>Tipo de tecnología:</b> MONOCRISTALINO																		
<p><b>ENSAYO PREVIO:</b> _____ <u>ENSAYO DE TORSION</u> _____</p> <p><b>DESCRIPCION:</b></p> <p><i>Este ensayo pretende detectar visualmente todas aquellas alteraciones que pudieran existir en los diferentes elementos que componen el panel solar, considerándose principalmente rajaduras, roturas, interconexiones entre celdas y defectos en grillas de conexión (Ver figura E1.1), por ser los que poseen mayor frecuencia de aparición en paneles solares.</i></p> <p><b>PARTES A INSPECCIONAR:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cubierta superior externa.</li> <li>• Marco.</li> <li>• Celdas Solares.</li> <li>• Plancha base.</li> <li>• Caja de terminales.</li> </ul> <p><b>EQUIPO:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Lupa portable o empotrada (Ver anexo general I).</li> <li>• Mesa de trabajo con iluminación de 1000 Lux (Ver anexo general I).</li> <li>• Cámara fotográfica (Opcional).</li> </ul> <p><b>PROCEDIMIENTO:</b></p> <p>1. Documentar los datos de placa del panel fotovoltaico.</p> <table style="width: 100%; margin-top: 10px;"> <tr> <td style="width: 60%;">Max-Potencia <math>P_m(W)</math></td> <td style="text-align: right; border-bottom: 1px solid black;">185 W</td> </tr> <tr> <td>Voltaje máximo <math>V_m(V)</math></td> <td style="text-align: right; border-bottom: 1px solid black;">37.8 V</td> </tr> <tr> <td>Corriente máxima <math>I_m(A)</math></td> <td style="text-align: right; border-bottom: 1px solid black;">4.9 A</td> </tr> <tr> <td>Voltaje de circuito abierto <math>V_{oc}(V)</math></td> <td style="text-align: right; border-bottom: 1px solid black;">45 V</td> </tr> <tr> <td>Corriente de cortocircuito <math>I_{sc}(A)</math></td> <td style="text-align: right; border-bottom: 1px solid black;">5.4 A</td> </tr> <tr> <td>Máximo voltaje del sistema <math>V_{DC}(V)</math></td> <td style="text-align: right; border-bottom: 1px solid black;">1000 V</td> </tr> <tr> <td>Dimensión</td> <td style="text-align: right; border-bottom: 1px solid black;">1580 x 808 x 35 mm</td> </tr> <tr> <td>Peso</td> <td style="text-align: right; border-bottom: 1px solid black;">15 Kg</td> </tr> <tr> <td>Condiciones de test</td> <td style="text-align: right; border-bottom: 1px solid black;">1000 W/m<sup>2</sup>, AM 1.5, 25° C</td> </tr> </table>					Max-Potencia $P_m(W)$	185 W	Voltaje máximo $V_m(V)$	37.8 V	Corriente máxima $I_m(A)$	4.9 A	Voltaje de circuito abierto $V_{oc}(V)$	45 V	Corriente de cortocircuito $I_{sc}(A)$	5.4 A	Máximo voltaje del sistema $V_{DC}(V)$	1000 V	Dimensión	1580 x 808 x 35 mm	Peso	15 Kg	Condiciones de test	1000 W/m <sup>2</sup> , AM 1.5, 25° C
Max-Potencia $P_m(W)$	185 W																					
Voltaje máximo $V_m(V)$	37.8 V																					
Corriente máxima $I_m(A)$	4.9 A																					
Voltaje de circuito abierto $V_{oc}(V)$	45 V																					
Corriente de cortocircuito $I_{sc}(A)$	5.4 A																					
Máximo voltaje del sistema $V_{DC}(V)$	1000 V																					
Dimensión	1580 x 808 x 35 mm																					
Peso	15 Kg																					
Condiciones de test	1000 W/m <sup>2</sup> , AM 1.5, 25° C																					



<p><b>Universidad de El Salvador</b> <b>Facultad de Ingeniería y</b> <b>Arquitectura</b></p>	<p><b>Escuela de</b> <b>Ingeniería</b> <b>Eléctrica</b></p> 	<p>Generalidades del panel en estudio</p>	
<p><b>“Laboratorio de aplicaciones fotovoltaicas”</b></p>		<p>Fabricante:</p>	<p>N° de serie:</p>
<p><b>ENSAYO DE INSPECCION VISUAL</b></p>		<p><i>País del</i> <i>fabricante:</i></p>	<p><i>Tipo de</i> <i>tecnología:</i></p>
<p>6. Inspeccionar la caja de terminales (Ver figura E1.2).</p> <p>Se encontraron rajaduras: <span style="float: right;">SI ___ NO <u>X</u></span>                  Se encontraron quebraduras: <span style="float: right;">SI ___ NO <u>X</u></span>                  Se encontraron daños en la bornera: <span style="float: right;">SI ___ NO <u>X</u></span>                  Especifique: _____                  Se encontraron daños en los cables de conexión: : <span style="float: right;">SI ___ NO <u>X</u></span>                  Especifique: _____                  Cuenta con diodos de protección: <span style="float: right;">SI ___ NO <u>X</u></span>                  Especifique cantidad: _____                  Se encontró juego: <span style="float: right;">SI ___ NO <u>X</u></span>                  Otros, especifique: _____</p> <p>7. Inspeccionar las celdas solares si se trata de un panel de Silicio Monocristalino o Policristalino (Ver figura E1.2).</p> <p>Realizar la numeración de las celdas basándose en la figura E1.3.</p> <p>Se encontraron rajaduras: <span style="float: right;">SI ___ NO <u>X</u></span>                  Especifique N° de las celdas: _____                  Se encontraron roturas: <span style="float: right;">SI ___ NO <u>X</u></span>                  Especifique N° de las celdas: _____                  Se encontraron defectos en Interconexión de celdas : <span style="float: right;">SI ___ NO <u>X</u></span>                  Especifique N° de las celdas: _____                  Se encontraron defectos en grilla de conexión : <span style="float: right;">SI ___ NO <u>X</u></span>                  Especifique N° de las celdas: _____                  Se encontraron contactos entre celdas: <span style="float: right;">SI ___ NO <u>X</u></span>                  Especifique N° de las celdas: _____                  Se encontraron contacto entre Celda y marco: <span style="float: right;">SI ___ NO <u>X</u></span>                  Especifique N° de las celdas: _____                  Se encontraron burbujas de Camino continuo: <span style="float: right;">SI ___ NO <u>X</u></span>                  Especifique N° de las celdas: _____                  Otros, especifique: _____                  Especifique N° de las celdas: _____</p>			

<p><b>Universidad de El Salvador</b> <b>Facultad de Ingeniería y</b> <b>Arquitectura</b></p>	<p><b>Escuela de</b> <b>Ingeniería</b> <b>Eléctrica</b></p> 	<p><i>Generalidades del panel en estudio</i></p>	
<p><b>“Laboratorio de aplicaciones fotovoltaicas”</b></p>		<p><i>Fabricante:</i></p>	<p><i>N° de serie:</i></p>
<p><b>ENSAYO DE INSPECCION VISUAL</b></p>		<p><i>País del fabricante:</i></p>	<p><i>Tipo de tecnología:</i></p>
<p>8. <i>Inspeccionar las celdas solares si se trata de un panel de Silicio Amorfo.</i></p> <p>Se encontraron rajaduras: <span style="float: right;">SI ___ NO ___</span></p> <p>Se encontraron roturas: <span style="float: right;">SI ___ NO ___</span></p> <p>Especifique N° de las celdas: _____</p> <p>Se encontraron contacto entre Celda y marco: <span style="float: right;">SI ___ NO ___</span></p> <p>Se encontraron burbujas de Camino continuo: <span style="float: right;">SI ___ NO ___</span></p> <p>Otros, especifique: _____</p> <p>9. <i>Ingresar en la base de Access los resultados obtenidos anteriormente (Consultar Anexo general II).</i></p>			

<p><b>Universidad de El Salvador</b>  <b>Facultad de Ingeniería y</b>  <b>Arquitectura</b></p>	<p><b>Escuela de</b>  <b>Ingeniería</b>  <b>Eléctrica</b></p> 	<p>Generalidades del panel en estudio</p>	
<p><b>“Laboratorio de aplicaciones fotovoltaicas”</b></p>		<p>Fabricante:</p>	<p>N° de serie:</p>
<p><b>ENSAYO DE INSPECCION VISUAL</b></p>		<p>País del fabricante:</p>	<p>Tipo de tecnología:</p>
<p style="text-align: center;"><i>FIGURA E1.1. Alteraciones comunes en paneles solares.</i></p> <div style="text-align: center;">  <p><i>E1.1 a) Ejemplos típicos de rajadura y rotura de celdas.</i></p> </div> <div style="text-align: center;">  <p><i>E1.1 b) Ejemplos típicos de defectos en la interconexión entre celdas (Izquierda) y defectos en la grilla de conexión (Derecha).</i></p> </div> <div style="text-align: center;">  <p><i>E1.1 c) Ejemplos típicos de defectos por contacto entre celdas (Superior izquierda), contacto entre celdas y marco (Inferior izquierda) y burbujas formando un camino continuo entre cualquier parte del circuito y el marco (Derecha).</i></p> </div>			


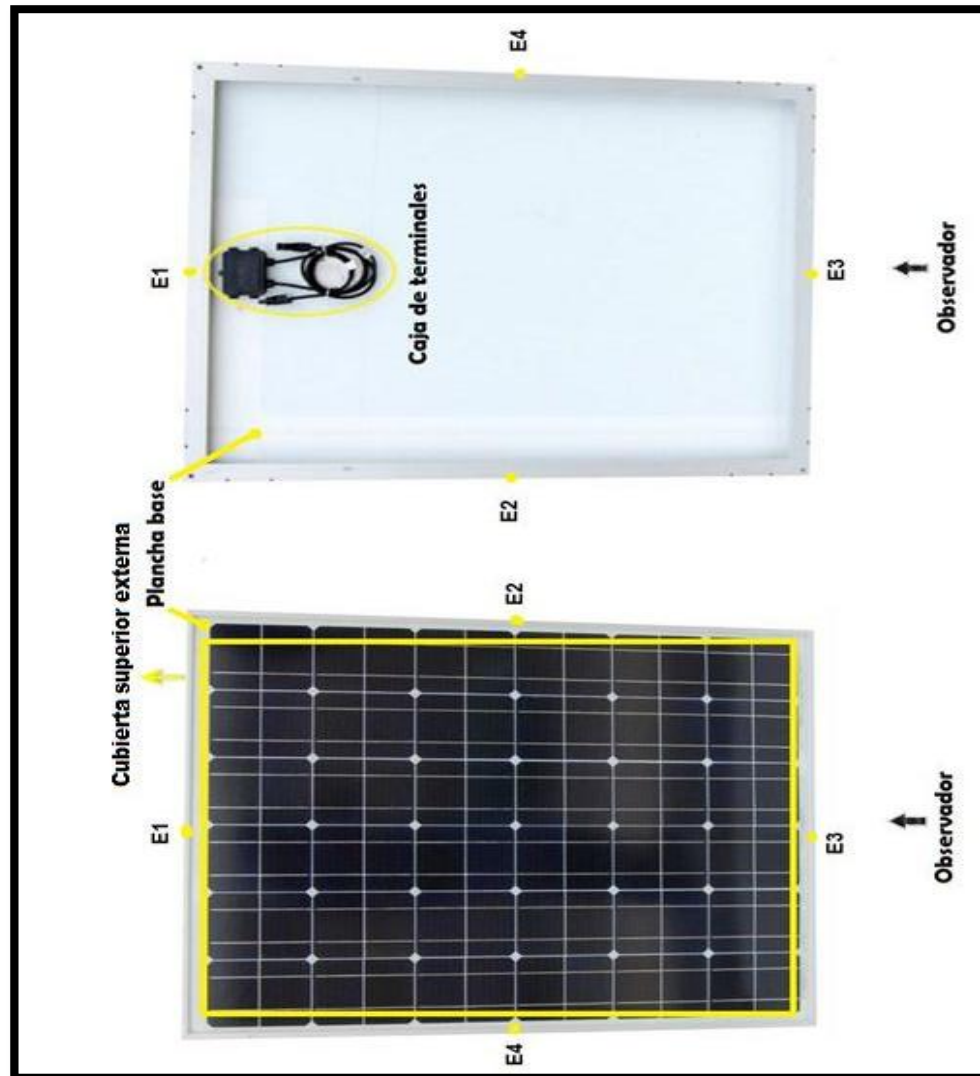
<p>Universidad de El Salvador Facultad de Ingeniería y Arquitectura</p>	<p>Escuela de Ingeniería Eléctrica</p> 	<p>Generalidades del panel en estudio</p>	
<p>"Laboratorio de aplicaciones fotovoltaicas"</p>		<p>Fabricante:</p>	<p>N° de serie:</p>
<p>ENSAYO DE INSPECCION VISUAL</p>		<p>País del fabricante:</p>	<p>Tipo de tecnología:</p>

FIGURA E1.2. Identificación de partes en el panel fotovoltaico.




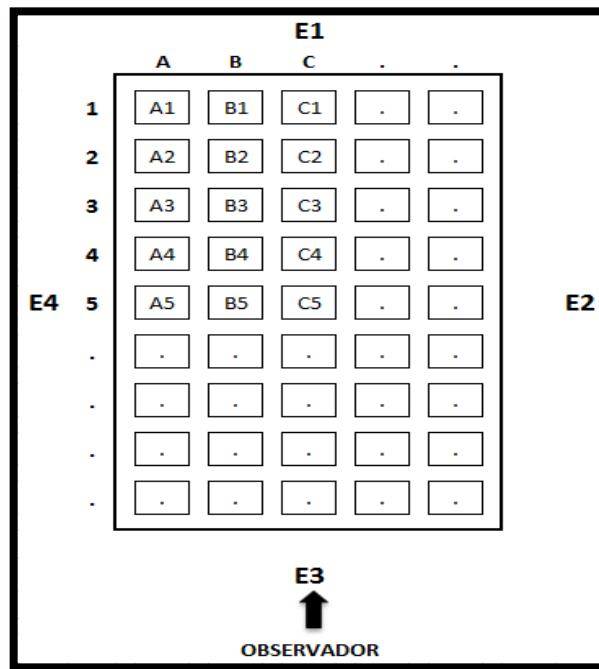
<p><b>Universidad de El Salvador</b>  <b>Facultad de Ingeniería y</b>  <b>Arquitectura</b></p>	<p><b>Escuela de</b>  <b>Ingeniería</b>  <b>Eléctrica</b></p> 	<p>Generalidades del panel en estudio</p>	
<p><i>“Laboratorio de aplicaciones fotovoltaicas”</i></p>		<p>Fabricante:</p>	<p>N° de serie:</p>
<p><b>ENSAYO DE INSPECCION VISUAL</b></p>		<p><i>País del fabricante:</i></p>	<p><i>Tipo de tecnología:</i></p>

FIGURA E1.3. Identificación de las celdas solares.




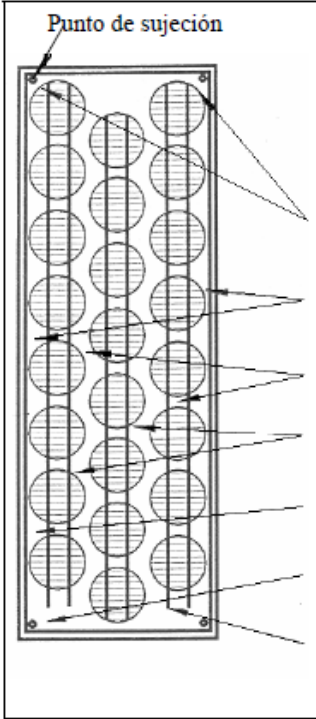
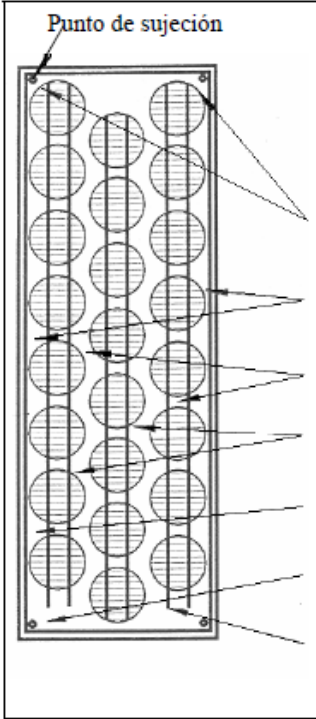
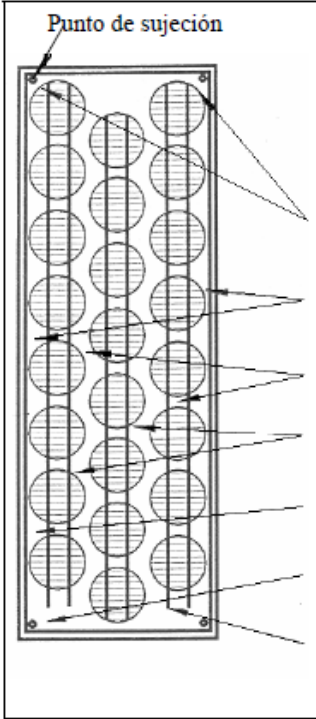

<p><b>Universidad de El Salvador</b>  <b>Facultad de Ingeniería y</b>  <b>Arquitectura</b></p>	<p><b>Escuela de</b>  <b>Ingeniería</b>  <b>Eléctrica</b></p> 	<p>Generalidades del panel en estudio</p>																									
<p><b>“Laboratorio de aplicaciones fotovoltaicas”</b></p>		<p>Fabricante:          MONTELEC</p>	<p>N° de serie:          201208290086</p>																								
<p><b>ENSAYO DE RESISTENCIA AL IMPACTO DE GOLPES</b></p>		<p>País del fabricante:</p>	<p>Tipo de tecnología:          MONOCRISTALINO</p>																								
<p>ENSAYO PREVIO: _____</p> <p>DESCRIPCION:</p> <p>El ensayo verifica el comportamiento del módulo fotovoltaico frente al impacto de golpes</p> <p>EQUIPO:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Dispositivo de lanzamiento (Ver anexo general I).</li> <li>• proyectil de lanzamiento (Ver anexo general I).</li> </ul> <p>REFERENCIA:</p> <table border="1" data-bbox="344 1066 1388 1780"> <thead> <tr> <th data-bbox="344 1066 657 1239">  </th> <th data-bbox="657 1066 1214 1239">Ubicación de los puntos de impacto</th> <th data-bbox="1214 1066 1388 1239">Disparo número</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td data-bbox="657 1239 1214 1346">En la ventana del módulo a de 12 mm como máximo de uno de los puntos de sujeción</td> <td data-bbox="1214 1239 1388 1346">1 - 2</td> </tr> <tr> <td></td> <td data-bbox="657 1346 1214 1419">En la ventana del módulo en los puntos mas alejados de los seleccionados anteriormente</td> <td data-bbox="1214 1346 1388 1419">3 - 4</td> </tr> <tr> <td></td> <td data-bbox="657 1419 1214 1465">Sobre puntos de mínimo spaciamento entre celdas.</td> <td data-bbox="1214 1419 1388 1465">5 - 6</td> </tr> <tr> <td></td> <td data-bbox="657 1465 1214 1539">Sobre los bordes de las celdas, cerca de una de una soldadura eléctrica.</td> <td data-bbox="1214 1465 1388 1539">7 - 8</td> </tr> <tr> <td></td> <td data-bbox="657 1539 1214 1612">En un borde del módulo a 12mm como máximo de la estructura de soporte.</td> <td data-bbox="1214 1539 1388 1612">9</td> </tr> <tr> <td></td> <td data-bbox="657 1612 1214 1686">En una esquina de la ventana del módulo a 50mm como máximo de la estructura de soporte</td> <td data-bbox="1214 1612 1388 1686">10</td> </tr> <tr> <td></td> <td data-bbox="657 1686 1214 1780">Algún punto que pueda evidenciar una especial vulnerabilidad a impacto de granizo (por ejemplo la conexión interface entre terminales).</td> <td data-bbox="1214 1686 1388 1780">11</td> </tr> </tbody> </table>					Ubicación de los puntos de impacto	Disparo número		En la ventana del módulo a de 12 mm como máximo de uno de los puntos de sujeción	1 - 2		En la ventana del módulo en los puntos mas alejados de los seleccionados anteriormente	3 - 4		Sobre puntos de mínimo spaciamento entre celdas.	5 - 6		Sobre los bordes de las celdas, cerca de una de una soldadura eléctrica.	7 - 8		En un borde del módulo a 12mm como máximo de la estructura de soporte.	9		En una esquina de la ventana del módulo a 50mm como máximo de la estructura de soporte	10		Algún punto que pueda evidenciar una especial vulnerabilidad a impacto de granizo (por ejemplo la conexión interface entre terminales).	11
	Ubicación de los puntos de impacto	Disparo número																									
	En la ventana del módulo a de 12 mm como máximo de uno de los puntos de sujeción	1 - 2																									
	En la ventana del módulo en los puntos mas alejados de los seleccionados anteriormente	3 - 4																									
	Sobre puntos de mínimo spaciamento entre celdas.	5 - 6																									
	Sobre los bordes de las celdas, cerca de una de una soldadura eléctrica.	7 - 8																									
	En un borde del módulo a 12mm como máximo de la estructura de soporte.	9																									
	En una esquina de la ventana del módulo a 50mm como máximo de la estructura de soporte	10																									
	Algún punto que pueda evidenciar una especial vulnerabilidad a impacto de granizo (por ejemplo la conexión interface entre terminales).	11																									

Figura E8.1 Puntos de impacto del disparo







Ensayos en módulos fotovoltaicos bajo normas IEC y ASTM


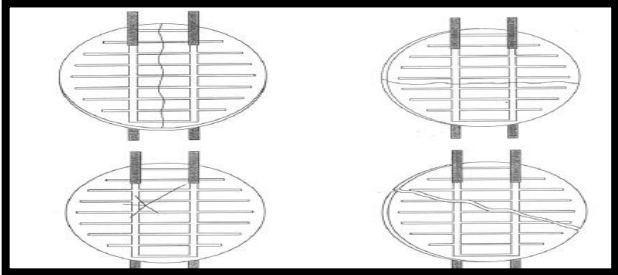
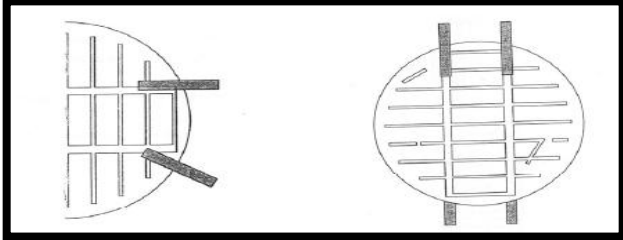
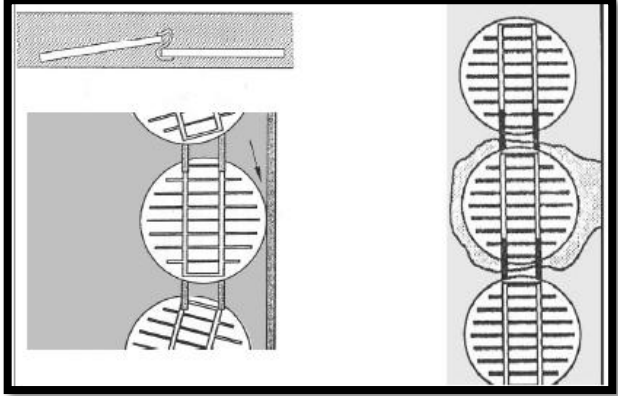
<p><b>Universidad de El Salvador</b> <b>Facultad de Ingeniería y</b> <b>Arquitectura</b></p>	<p><b>Escuela de</b> <b>Ingeniería</b> <b>Eléctrica</b></p> 	<p>Generalidades del panel en estudio</p>																			
<p><b>“Laboratorio de aplicaciones fotovoltaicas”</b></p>		<p>Fabricante: MONTELEC</p>	<p>N° de serie: 201208290086</p>																		
<p><b>ENSAYO DE INSPECCION VISUAL</b></p>		<p>País del fabricante:</p>	<p>Tipo de tecnología: MONOCRISTALINO</p>																		
<p>ENSAYO PREVIO: _____ <u>ENSAYO DE RESISTENCIA AL IMPACTO DE GOLPES</u> _____</p> <p>DESCRIPCION:</p> <p>Este ensayo pretende detectar visualmente todas aquellas alteraciones que pudieran existir en los diferentes elementos que componen el panel solar, considerándose principalmente rajaduras, roturas, interconexiones entre celdas y defectos en grillas de conexión (Ver figura E1.1), por ser los que poseen mayor frecuencia de aparición en paneles solares.</p> <p>PARTES A INSPECCIONAR:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cubierta superior externa.</li> <li>• Marco.</li> <li>• Celdas Solares.</li> <li>• Plancha base.</li> <li>• Caja de terminales.</li> </ul> <p>EQUIPO:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Lupa portable o empotrada (Ver anexo general I).</li> <li>• Mesa de trabajo con iluminación de 1000 Lux (Ver anexo general I).</li> <li>• Cámara fotográfica (Opcional).</li> </ul> <p>PROCEDIMIENTO:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Documentar los datos de placa del panel fotovoltaico.</li> </ol> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 60%;">Max-Potencia Pm(W)</td> <td style="text-align: right; border-bottom: 1px solid black;">185 W</td> </tr> <tr> <td>Voltaje máximo Vm(V)</td> <td style="text-align: right; border-bottom: 1px solid black;">37.8 V</td> </tr> <tr> <td>Corriente máxima Im(A)</td> <td style="text-align: right; border-bottom: 1px solid black;">4.9 A</td> </tr> <tr> <td>Voltaje de circuito abierto Voc(V)</td> <td style="text-align: right; border-bottom: 1px solid black;">45 V</td> </tr> <tr> <td>Corriente de cortocircuito Isc(A)</td> <td style="text-align: right; border-bottom: 1px solid black;">5.4 A</td> </tr> <tr> <td>Máximo voltaje del sistema VDC(V)</td> <td style="text-align: right; border-bottom: 1px solid black;">1000 V</td> </tr> <tr> <td>Dimensión</td> <td style="text-align: right; border-bottom: 1px solid black;">1580 x 808 x 35 mm</td> </tr> <tr> <td>Peso</td> <td style="text-align: right; border-bottom: 1px solid black;">15 Kg</td> </tr> <tr> <td>Condiciones de test</td> <td style="text-align: right; border-bottom: 1px solid black;">1000 W/m<sup>2</sup>, AM 1.5, 25° C</td> </tr> </table>				Max-Potencia Pm(W)	185 W	Voltaje máximo Vm(V)	37.8 V	Corriente máxima Im(A)	4.9 A	Voltaje de circuito abierto Voc(V)	45 V	Corriente de cortocircuito Isc(A)	5.4 A	Máximo voltaje del sistema VDC(V)	1000 V	Dimensión	1580 x 808 x 35 mm	Peso	15 Kg	Condiciones de test	1000 W/m <sup>2</sup> , AM 1.5, 25° C
Max-Potencia Pm(W)	185 W																				
Voltaje máximo Vm(V)	37.8 V																				
Corriente máxima Im(A)	4.9 A																				
Voltaje de circuito abierto Voc(V)	45 V																				
Corriente de cortocircuito Isc(A)	5.4 A																				
Máximo voltaje del sistema VDC(V)	1000 V																				
Dimensión	1580 x 808 x 35 mm																				
Peso	15 Kg																				
Condiciones de test	1000 W/m <sup>2</sup> , AM 1.5, 25° C																				

Ensayos en módulos fotovoltaicos bajo normas IEC y ASTM

<p><b>Universidad de El Salvador</b> <b>Facultad de Ingeniería y</b> <b>Arquitectura</b></p>	<p><b>Escuela de</b> <b>Ingeniería</b> <b>Eléctrica</b></p> 	<p>Generalidades del panel en estudio</p>	
<p><b>“Laboratorio de aplicaciones fotovoltaicas”</b></p>		<p>Fabricante:</p>	<p>N° de serie:</p>
<p><b>ENSAYO DE INSPECCION VISUAL</b></p>		<p><i>País del</i> <i>fabricante:</i></p>	<p><i>Tipo de</i> <i>tecnología:</i></p>
<p>2. Colocar el panel solar a inspeccionar sobre la mesa de trabajo en la que se tenga una iluminación de 1000 Lux (Ver anexo general I).</p> <p>3. Inspeccionar la cubierta Superior externa (Ver figura E1.2).</p> <p>Se encontraron rajaduras: SI ___ NO <u>X</u></p> <p>Se encontraron roturas: SI ___ NO <u>X</u></p> <p>Se encontraron delaminaciones: SI ___ NO <u>X</u></p> <p>Se encontraron empañamientos: SI ___ NO <u>X</u></p> <p>Se encontraron astilladuras: SI ___ NO <u>X</u></p> <p>Otros, especifique: _____</p> <p>4. Inspeccionar la plancha base (Ver figura E1.2).</p> <p>Se encontraron rajaduras: SI ___ NO <u>X</u></p> <p>Se encontraron roturas: SI ___ NO <u>X</u></p> <p>Otros, especifique: _____</p> <p>5. Inspeccionar el marco (Ver figura E1.2).</p> <p>Se encontraron rajaduras: SI ___ NO <u>X</u></p> <p>Especifique N° de marco: _____</p> <p>Se encontraron abolladuras: SI ___ NO <u>X</u></p> <p>Especifique N° de marco: _____</p> <p>Se encontraron dobleces: SI ___ NO <u>X</u></p> <p>Especifique N° de marco: _____</p> <p>Se encontraron falta de material: SI ___ NO <u>X</u></p> <p>Especifique N° de marco: _____</p> <p>Otros, especifique: _____</p> <p>Especifique N° de marco: _____</p>			

<p><b>Universidad de El Salvador</b> <b>Facultad de Ingeniería y</b> <b>Arquitectura</b></p>	<p><b>Escuela de</b> <b>Ingeniería</b> <b>Eléctrica</b></p> 	<p>Generalidades del panel en estudio</p>	
<p><b>“Laboratorio de aplicaciones fotovoltaicas”</b></p>		<p>Fabricante:</p>	<p>N° de serie:</p>
<p><b>ENSAYO DE INSPECCION VISUAL</b></p>		<p>País del fabricante:</p>	<p>Tipo de tecnología:</p>
<p>6. Inspeccionar la caja de terminales (Ver figura E1.2).</p> <p>Se encontraron rajaduras: SI ___ NO <u>X</u></p> <p>Se encontraron quebraduras: SI ___ NO <u>X</u></p> <p>Se encontraron daños en la bornera: SI ___ NO <u>X</u></p> <p>Especifique: _____</p> <p>Se encontraron daños en los cables de conexión: SI ___ NO <u>X</u></p> <p>Especifique: _____</p> <p>Cuenta con diodos de protección: SI ___ NO <u>X</u></p> <p>Especifique cantidad: _____</p> <p>Se encontró juego: SI ___ NO <u>X</u></p> <p>Otros, especifique: _____</p> <p>7. Inspeccionar las celdas solares si se trata de un panel de Silicio Monocristalino o Policristalino (Ver figura E1.2).</p> <p>Realizar la numeración de las celdas basándose en la figura E1.3.</p> <p>Se encontraron rajaduras: SI ___ NO <u>X</u></p> <p>Especifique N° de las celdas: _____</p> <p>Se encontraron roturas: SI ___ NO <u>X</u></p> <p>Especifique N° de las celdas: _____</p> <p>Se encontraron defectos en Interconexión de celdas: SI ___ NO <u>X</u></p> <p>Especifique N° de las celdas: _____</p> <p>Se encontraron defectos en grilla de conexión: SI ___ NO <u>X</u></p> <p>Especifique N° de las celdas: _____</p> <p>Se encontraron contactos entre celdas: SI ___ NO <u>X</u></p> <p>Especifique N° de las celdas: _____</p> <p>Se encontraron contacto entre Celda y marco: SI ___ NO <u>X</u></p> <p>Especifique N° de las celdas: _____</p> <p>Se encontraron burbujas de Camino continuo: SI ___ NO <u>X</u></p> <p>Especifique N° de las celdas: _____</p> <p>Otros, especifique: _____</p> <p>Especifique N° de las celdas: _____</p>			



<p><b>Universidad de El Salvador</b>  <b>Facultad de Ingeniería y</b>  <b>Arquitectura</b></p>	<p><b>Escuela de</b>  <b>Ingeniería</b>  <b>Eléctrica</b></p> 	<p>Generalidades del panel en estudio</p>	
<p><b>"Laboratorio de aplicaciones fotovoltaicas"</b></p>		<p>Fabricante:</p>	<p>N° de serie:</p>
<p><b>ENSAYO DE INSPECCION VISUAL</b></p>		<p>País del fabricante:</p>	<p>Tipo de tecnología:</p>
<p style="text-align: center;"><i>FIGURA E1.1. Alteraciones comunes en paneles solares.</i></p> <div style="text-align: center;">  <p><i>E1.1 a) Ejemplos típicos de rajadura y rotura de celdas.</i></p> </div> <div style="text-align: center;">  <p><i>E1.1 b) Ejemplos típicos de defectos en la interconexión entre celdas (Izquierda) y defectos en la grilla de conexión (Derecha).</i></p> </div> <div style="text-align: center;">  <p><i>E1.1 c) Ejemplos típicos de defectos por contacto entre celdas (Superior izquierda), contacto entre celdas y marco (Inferior izquierda) y burbujas formando un camino continuo entre cualquier parte del circuito y el marco (Derecha).</i></p> </div>			


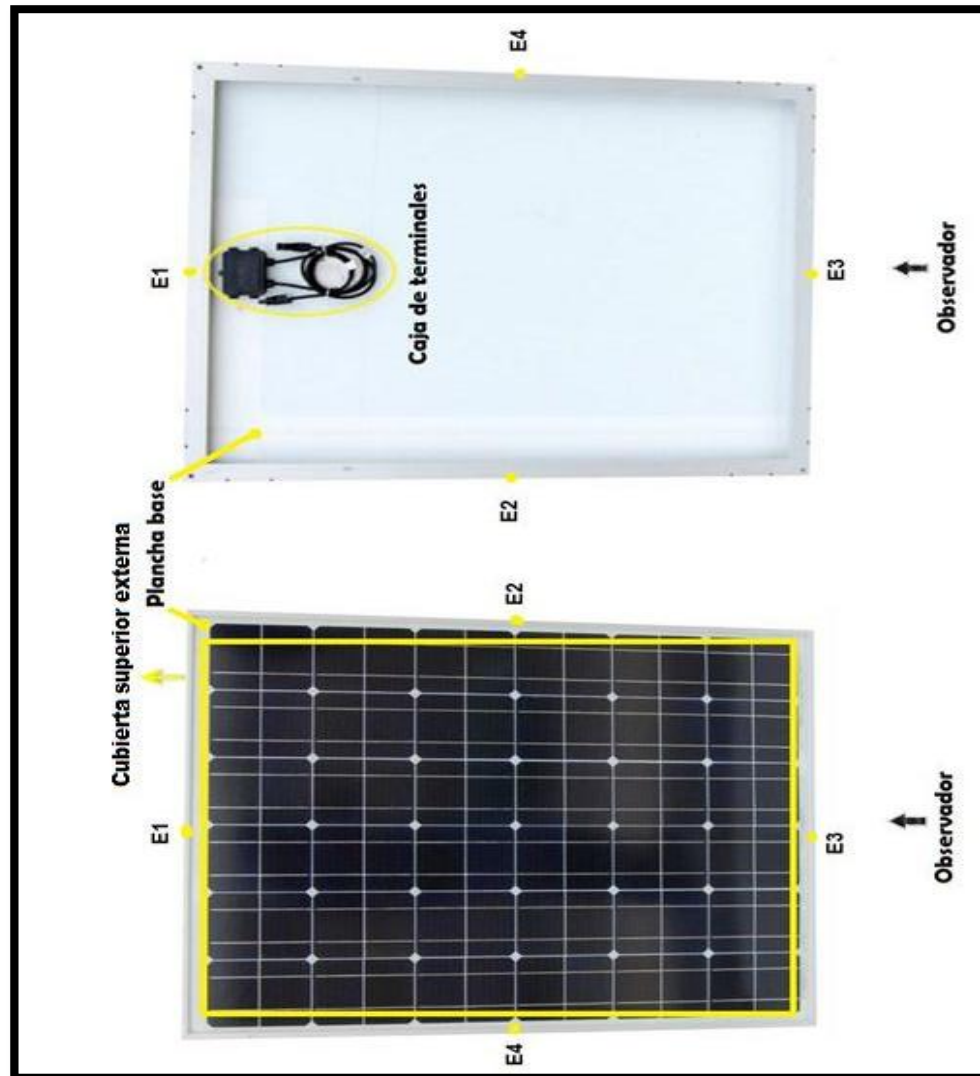
<p>Universidad de El Salvador Facultad de Ingeniería y Arquitectura</p>	<p>Escuela de Ingeniería Eléctrica</p> 	<p>Generalidades del panel en estudio</p>	
<p>"Laboratorio de aplicaciones fotovoltaicas"</p>		<p>Fabricante:</p>	<p>N° de serie:</p>
<p>ENSAYO DE INSPECCION VISUAL</p>		<p>País del fabricante:</p>	<p>Tipo de tecnología:</p>

FIGURA E1.2. Identificación de partes en el panel fotovoltaico.




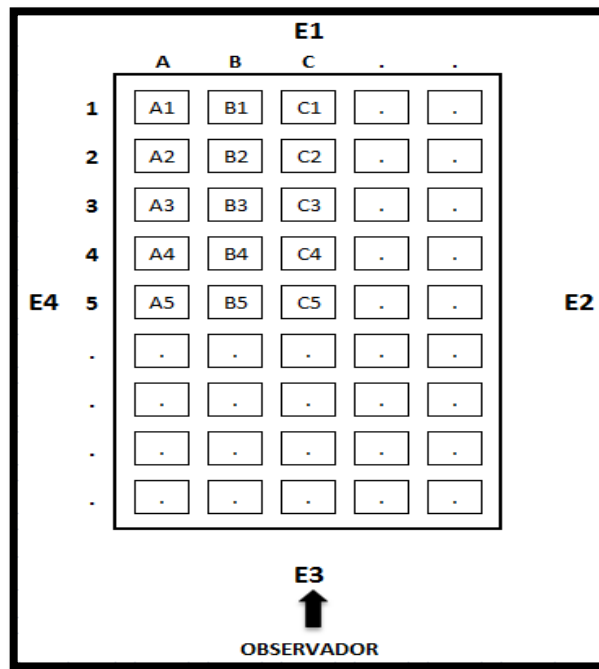

<p><b>Universidad de El Salvador</b>  <b>Facultad de Ingeniería y</b>  <b>Arquitectura</b></p>	<p><b>Escuela de</b>  <b>Ingeniería</b>  <b>Eléctrica</b></p> 	<p><i>Generalidades del panel en estudio</i></p>	
<p><i>“Laboratorio de aplicaciones fotovoltaicas”</i></p>		<p><i>Fabricante:</i></p>	<p><i>N° de serie:</i></p>
<p><b>ENSAYO DE INSPECCION VISUAL</b></p>		<p><i>País del fabricante:</i></p>	<p><i>Tipo de tecnología:</i></p>


FIGURA E1.3. Identificación de las celdas solares.





Ensayos en módulos fotovoltaicos bajo normas IEC y ASTM

<p><b>Universidad de El Salvador</b> <b>Facultad de Ingeniería y</b> <b>Arquitectura</b></p>	<p><b>Escuela de</b> <b>Ingeniería</b> <b>Eléctrica</b></p> 	<p>Generalidades del panel en estudio</p>																			
<p><b>“Laboratorio de aplicaciones fotovoltaicas”</b></p>		<p>Fabricante: MONTELEC</p>	<p>N° de serie: 201208290086</p>																		
<p><b>ENSAYO DE AISLACION ELECTRICA</b></p>		<p>País del fabricante:</p>	<p>Tipo de tecnología: MONOCRISTALINO</p>																		
<p>ENSAYO PREVIO: _____ <u>ENSAYO DE RESISTENCIA AL IMPACTO DE GOLPES</u> _____</p> <p>DESCRIPCION:</p> <p>Este ensayo verifica si el modulo fotovoltaico esta lo suficiente aislado eléctricamente mediante la comprobación de la rigidez dieléctrica y la medición de la resistencia de aislación.</p> <p>EQUIPO:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Butaca de altura regulable (optativo).</li> <li>• Mesa de trabajo (Ver anexo general I).</li> <li>• Megohmetro o medidor de aislación (Ver anexo general I).</li> <li>• Fuente de Voltaje regulable (Ver anexo general I).</li> </ul> <p>PROCEDIMIENTO:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Documentar los datos de placa del panel fotovoltaico.</li> </ol> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 60%;">Max-Potencia Pm(W)</td> <td style="text-align: right; border-bottom: 1px solid black;">185 W</td> </tr> <tr> <td>Voltaje máximo Vm(V)</td> <td style="text-align: right; border-bottom: 1px solid black;">37.8 V</td> </tr> <tr> <td>Corriente máxima Im(A)</td> <td style="text-align: right; border-bottom: 1px solid black;">4.9 A</td> </tr> <tr> <td>Voltaje de circuito abierto Voc(V)</td> <td style="text-align: right; border-bottom: 1px solid black;">45 V</td> </tr> <tr> <td>Corriente de cortocircuito Isc(A)</td> <td style="text-align: right; border-bottom: 1px solid black;">5.4 A</td> </tr> <tr> <td>Máximo voltaje del sistema VDC(V)</td> <td style="text-align: right; border-bottom: 1px solid black;">1000 V</td> </tr> <tr> <td>Dimensión</td> <td style="text-align: right; border-bottom: 1px solid black;">1580 x 808 x 35 mm</td> </tr> <tr> <td>Peso</td> <td style="text-align: right; border-bottom: 1px solid black;">15 Kg</td> </tr> <tr> <td>Condiciones de test</td> <td style="text-align: right; border-bottom: 1px solid black;">1000 W/m<sup>2</sup>, AM 1.5, 25° C</td> </tr> </table> <ol style="list-style-type: none"> <li>2. Colocar el panel solar a ensayar sobre la mesa de trabajo.</li> <li>3. Si el voltaje de circuito abierto es menor que 50V aplicar una tensión de 500V, luego mantenerse durante un minuto, entre el marco y el circuito eléctrico del módulo.</li> </ol> <p>Se produjeron descargas: SI _____ NO <u>X</u> _____</p> <p>Se produjo discontinuidad dieléctrica: SI _____ NO <u>X</u> _____</p> <p>Otros, especifique: _____</p>				Max-Potencia Pm(W)	185 W	Voltaje máximo Vm(V)	37.8 V	Corriente máxima Im(A)	4.9 A	Voltaje de circuito abierto Voc(V)	45 V	Corriente de cortocircuito Isc(A)	5.4 A	Máximo voltaje del sistema VDC(V)	1000 V	Dimensión	1580 x 808 x 35 mm	Peso	15 Kg	Condiciones de test	1000 W/m <sup>2</sup> , AM 1.5, 25° C
Max-Potencia Pm(W)	185 W																				
Voltaje máximo Vm(V)	37.8 V																				
Corriente máxima Im(A)	4.9 A																				
Voltaje de circuito abierto Voc(V)	45 V																				
Corriente de cortocircuito Isc(A)	5.4 A																				
Máximo voltaje del sistema VDC(V)	1000 V																				
Dimensión	1580 x 808 x 35 mm																				
Peso	15 Kg																				
Condiciones de test	1000 W/m <sup>2</sup> , AM 1.5, 25° C																				

<p><b>Universidad de El Salvador</b> <b>Facultad de Ingeniería y</b> <b>Arquitectura</b></p>	<p><b>Escuela de</b> <b>Ingeniería</b> <b>Eléctrica</b></p> 	<p>Generalidades del panel en estudio</p>	
<p><b>"Laboratorio de aplicaciones fotovoltaicas"</b></p>		<p>Fabricante:</p>	<p>N° de serie:</p>
<p><b>ENSAYO DE AISLACION ELECTRICA</b></p>		<p>País del fabricante:</p>	<p>Tipo de tecnología:</p>
<p>4. Si el voltaje de circuito abierto es mayor que 50V aplicar una tensión de 1000V más el doble de la tensión de circuito abierto a una razón máxima de 500V/s, luego mantenerse durante un minuto, entre el marco y el circuito eléctrico del módulo.</p> <p>Se produjeron descargas: <span style="float: right;">SI ___ NO ___</span>                  Se produjo discontinuidad dieléctrica: <span style="float: right;">SI ___ NO ___</span>                  Otros, especifique: _____</p> <p>5. Aplicar una tensión de 500V entre el marco y el circuito eléctrico y medir la resistencia de aislamiento corroborando que esta sea mayor a 50MΩ.</p> <p>Valor de resistencia de aislamiento: <span style="float: right;"><u>699MΩ</u></span>                  Es el valor de la resistencia de aislamiento: <span style="float: right;">SI ___ NO <u>X</u></span></p> <p>6. Ingresar en la base de Access los resultados obtenidos anteriormente (Ver anexo general II).</p> <p>7. Se han obtenido resultados satisfactorios en todas las pruebas realizadas <span style="float: right;">SI <u>X</u> NO ___</span></p>			

### **RECOMENDACIONES.**

- Ensayo de Inspección visual: Para la ejecución de este ensayo se recomienda la adquisición de una cámara fotográfica (Ver anexo IV) para documentar los daños encontrados y tener una base de datos de diferentes imperfecciones encontradas.
- Ensayo de características eléctricas en condiciones normalizadas: se recomienda el uso de los equipos Resistencia variable AGILENT N3300A y Adquisitor de datos AGILENT 34972A cuando este ensayo se realice en condiciones normalizadas dentro del laboratorio y la adquisición de una cámara de irradiación que alcance los valores establecidos por la norma, y el uso del equipo trazador de curvas cuando se realicen los ensayos fuera del laboratorio bajo iluminación natural.
- Ensayo Aislación eléctrica: Se recomienda el uso del terminal G (Tierra) del Megóhmetro debido a que el fabricante lo recomienda al medir resistencias de aislación mayores de 50 M $\Omega$ . Para efectuar ensayos en PFV con Voc mayor de 50 V es necesario emplear un Megóhmetro con pasos de 100 V en el ensayo con más de 1000 V
- Ensayo de torsión: Se recomienda el uso de Guantes de hule para aplicar la torsión o el uso de pesos sobre el vértice para aplicar la torsión si el panel se inclina más de lo pedido por la fórmula del cálculo de h se recomienda el uso de un soporte debajo del panel para llevarlo a la altura h requerida.

- Ensayo de carga mecánica: se recomienda la adquisición de un estanque de 2 X 1.5 m de dimensión para la ejecución del ensayo.
- Ensayo de exposición a la radiación ultravioleta (UV): por el alto tiempo de 72 meses para realizarse este ensayo se recomienda aplicarle los ensayos posteriores a un panel que tenga desgaste por uso para analizar el envejecimiento del PFV. Además se hace necesario la adquisición de una cámara de irradiación UVA-UVB para efectuar este ensayo de forma práctica y por lo tanto brindar un análisis en menor tiempo.
- Ensayo de resistencia al impacto de granizo: se recomienda el desarrollo de un lanzador de bolas de hielo para que cumpla con las velocidades requeridas en este ensayo.
- Ensayo de ciclado térmico y Ensayo de calentamiento húmedo: Se recomienda la adquisición de una cámara de ciclado que cumpla las características que se describen en este documento (Ver anexo IV).
- Ensayo de corrosión por ambiente salino: se recomienda adquirir una cámara que pueda mantener una temperatura ambiente de 40<sup>0</sup>C. se pudiera utilizar la cámara propuesta para el ensayo de ciclado térmico.

## **CONCLUSIONES**

- Se considera factible la realización de los siguientes ensayos: Inspección visual, características eléctricas en condiciones normalizadas, Aislación eléctrica, torsión, impacto de golpes y corrosión por ambiente salino con las siguientes limitaciones:
  - Inspección Visual: No existe limitación se cumple con la norma *ASTM E 1799*.
  - Características eléctricas en condiciones normalizadas: Existe limitación en la dependencia climática siendo aptos para una óptima realización los días en que no exista nubosidades en un cono de 30° alrededor del sol y limita a irradiancias mayores a 500 W/m<sup>2</sup> por lo cual no se puede especificar una fecha de realización del ensayo dado a esta dependencia climática. Además según la norma IEC 60891 se necesita de una constante calibración de los equipos utilizados según el fabricante lo especifique. Se cumple la norma IEC 60904 específicamente el método #1 de traslación de curvas.
  - Aislación eléctrica: Cumple con la norma *ASTM E 1462* hasta PFV con voltajes de circuito abierto menores de 50 V, existiendo un error despreciable por limitación de equipo para voltajes mayores de 50 V.

- Torsión: Cumple con la norma *ASTM E 1830* al momento de aplicar la torsión, teniendo limitación de equipo para la medición de aislamiento para voltajes de circuito abierto mayores de 50V.
  - Impacto de golpes: Ensayo adaptado tomando como referencia la norma *ASTM E 1038* ya que no es usual estas condiciones climáticas en El Salvador y que no se cuenta con el propulsor de bolas de hielo.
  - Corrosión por ambiente salino: No se cumple completamente con la norma *ASTM E 1524* por no contarse con la cámara de temperatura constante a 40 °C. adaptándose para realizarse a temperatura ambiente.
- Las guías de trabajo elaboradas constituyen una herramienta eficiente que facilita el desarrollar paso a paso, sistemáticamente cada ensayo. Se incluyen las de carga mecánica, exposición a la radiación ultravioleta (UV), ciclado térmico y calentamiento húmedo los cuales se dejan de referencia para el momento en que se adquiera el equipamiento necesario.
    - Carga mecánica: Aunque en El Salvador no existen condiciones climáticas de nieve, la carga de viento si es importante. Se considera importante adquirir el equipamiento requerido.
    - Exposición a la radiación ultravioleta (UV): Debido a que no se cuenta con la cámara de irradiación ultravioleta y que el método alternativo tiene un lapso de duración de 72 meses. se estima conveniente la adquisición del equipamiento.

- Ciclado térmico y calentamiento húmedo: al no contarse con la cámara que cumpla con las temperaturas especificadas por el ensayo, se estima conveniente la adquisición del equipamiento.
  
- En la norma IEC61215 se encuentran incluidas las diversas normas ASTM (E 1799, E 1462, E 1830, E 1596, E 1038, E 1171 y E 1524) las cuales son concluyentemente similares en su ejecución ya que ambas normas van dirigidas a la certificación de módulos en sus características eléctricas y mecánicas. Para la obtención de curvas características la norma ASTM E 1036 se limita la utilización de cámaras de irradiancia para la obtención de las características por lo que la norma IEC IEC 60904 nos permite la utilización de la luz solar como fuente de irradiación por medio de un método de corrección de curvas el cual se describe en la norma IEC 60891.
  
- A través del estudio de las normas ASTM e IEC se obtuvieron las herramientas necesarias para el desarrollo de capacidades en la certificación PFV tales como la implementación de guías de trabajo elaboradas de una manera sistemática por medio de pasos de trabajo las cuales describen la metodología a utilizar en el desarrollo del ensayo. Además se descubrieron limitantes de equipamiento los cuales sería necesaria la adquisición de estos para lograr implementar por completo el método de certificación.

## **GLOSARIO**

**ASTM:** American Society for Testing and Materials.

**IEC:** International Electrotechnical Commission.

**CEN:** Condiciones de Ensayo Normalizadas.

**WGS:** Grupo de Energía Solar.

**ISO:** International Organization for Standardization.

**PFV:** Panel fotovoltaico

**Energía renovable:** Se denomina energía renovable a la energía que se obtiene de fuentes naturales virtualmente inagotables, ya sea por la inmensa cantidad de energía que contienen, o porque son capaces de regenerarse por medios naturales.

**Energía solar fotovoltaica:** La energía solar fotovoltaica es una fuente de energía que produce electricidad de origen renovable, obtenida directamente a partir de la radiación solar mediante un dispositivo semiconductor denominado célula fotovoltaica, o bien mediante una deposición de metales sobre un sustrato denominada célula solar de película fina.

**Irradiancia:** Es la magnitud utilizada para describir la potencia incidente por unidad de superficie de todo tipo de radiación electromagnética.

**Radiación electromagnética:** es un tipo de campo electromagnético variable, es decir, una combinación de campos eléctricos y magnéticos oscilantes, que se propagan a través del espacio transportando energía de un lugar a otro.



**Aislamiento eléctrico:** se produce cuando se cubre un elemento de una instalación eléctrica con un material que no es conductor de la electricidad, es decir, un material que resiste el paso de la corriente a través del elemento que alberga y lo mantiene en su desplazamiento a lo largo del semiconductor. Dicho material se denomina aislante eléctrico.

**Radiación ultravioleta (UV):** la radiación electromagnética cuya longitud de onda está comprendida aproximadamente entre los 400 nm ( $4 \times 10^{-7}$  m) y los 15 nm ( $1,5 \times 10^{-8}$  m).

**Pyranómetro:** Instrumento meteorológico utilizado para medir la radiación solar

**Megohmetro:** Es un instrumento para la medida del aislamiento eléctrico en alta tensión.

**Lux:** es la unidad derivada del Sistema Internacional de Unidades para la iluminancia o nivel de iluminación

**Respuesta espectral absoluta:** De un dispositivo fotovoltaico, es la densidad de corriente de cortocircuito por unidad de irradiancia en una longitud de onda dada.

**Temperatura de celda:** Es la temperatura del semiconductor de unión de una celda fotovoltaica.

**Eficiencia:** De un dispositivo fotovoltaico, es la razón de la potencia producida por un dispositivo fotovoltaico operado en su punto de máxima potencia para la potencia de irradiación incidente.

**Factor de llenado:** De un dispositivo fotovoltaico, es la relación de la máxima potencia del producto del voltaje de circuito abierto y la corriente de cortocircuito.

**Irradiación solar normal global:** Irradiación solar desde un campo de vista de  $2\pi$  esteradianes sobre una superficie que es perpendicular al eje de un ángulo sólido definido por el disco del Sol.

**Potencia máxima:** De un dispositivo fotovoltaico, es la salida eléctrica cuando se opera en un punto donde el producto de la corriente por el voltaje es máximo.

**Voltaje de circuito abierto:** De un dispositivo fotovoltaico, es el potencial de voltaje a través de los terminales positivo y negativo bajo radiación cuando no fluye corriente dentro o fuera de esas terminales.

**Arreglo fotovoltaico:** es un ensamble de paneles o módulos, entre sí con una estructura de soporte y otros componentes (si son usados), para formar una unidad completa de generación dc.

**Celda fotovoltaica:** Definido como el dispositivo básico que genera electricidad por el efecto fotovoltaico cuando es expuesto a energía radiante, como la energía solar.

**Área de celda fotovoltaica:** El área frontal total de una celda incluyendo el área cubierta por la rejilla y los contactos.

**Dispositivo fotovoltaico:** Cualquier celda fotovoltaica o conjunto de celdas (módulo, panel o arreglo) bajo consideración.

**Módulo fotovoltaico:** Es un paquete simple que contiene dos o más celdas fotovoltaicas interconectadas entre sí, incluyendo un marco o puntos de montaje integrados, y los medios para una conexión eléctrica; que los haga adecuados para su instalación en campo sin modificaciones adicionales.

**Área del módulo fotovoltaico:** Es el área rectangular que toca el extremo de los ejes externos del modulo.

**Panel fotovoltaico:** Son un numero de módulos que están eléctricamente conectados e integrados mecánicamente, y diseñados para proporcionar una unidad instalable en campo.

**Celda de referencia fotovoltaica:** Una celda fotovoltaica cuya corriente de cortocircuito es calibrada contra el total de irradiancia de una distribución de irradiancia espectral de referencia.

**Celda de referencia fotovoltaica primaria:** Es una celda fotovoltaica de referencia calibrada bajo la luz del sol.

**Celda de referencia fotovoltaica secundaria:** Es una celda fotovoltaica de referencia calibrada en contra de una celda de referencia fotovoltaica primaria.

**Corriente de cortocircuito:** De un dispositivo fotovoltaico, Es la corriente fluyendo entre los terminales positivos y negativos bajo iluminación cuando un voltaje de cero voltios aparece entre estos terminales.

**Irradiancia total:** Es la integral de la irradiancia solar espectral.

## **BIBLIOGRAFIA**

- ASTM E 1171 (12.02) Photovoltaic Modules in cyclic Temperature and Humidity Environments, Test Method for.
- ASTM E 1040 (12.02) Physical Characteristics of Non concentrator Terrestrial photovoltaic Reference Cells. Specification for.
- ASTM E 1328 (12.02) Relating to Photovoltaic Solar Energy Conversion, Terminology.
- ASTM E 1524 (12.02) Saltwater Immersion and Corrosion Testing of Photovoltaic Modules for Marine Environments. Test Method for.
- ASTM E 1597 (12.02) Saltwater Pressure Immersion and Temperature Testing of Photovoltaic Modules for Marine Environments. Test Method for.
- ASTM E 1596 (12.02) Solar Radiation Weathering of Photovoltaic Modules. Test Methods for.
- ASTM E 1799 (12.02) Visual Inspections of Photovoltaic Modules. Practice for.
- ASTM E 2047 (12.02) Wet Insulation Integrity Testing of Photovoltaic Arrays. Test Method for.
- ASTM E 1802 (12.02) Wet Insulation Integrity Testing of Photovoltaic Modules, Test Methods for.
- ASTM E 1040 (12.02) Physical Characteristics of Non-concentrator terrestrial Photovoltaic Reference Cells, Specification for .
- ASTM E 927 (12.02) Solar simulation for terrestrial photovoltaic testing.

- ASTM E 1462-(12.02) Insulation integrity and ground path continuity of photovoltaic modules.
- IEC 60891 - Procedures for temperature and irradiance corrections to measured I-V characteristics of crystalline silicon photovoltaic devices
- IEC 60904 - Photovoltaic devices Part 1: Measurement of photovoltaic current-voltage characteristics
- IEC 61646 - Thin-film terrestrial photovoltaic (PV) modules –Design qualification and type approval
- IEC 61215 –Crystalline silicon terrestrial photovoltaic (PV) modules –Design qualification and type approval
- [http://es.wikipedia.org/wiki/Energ%C3%ADa\\_solar](http://es.wikipedia.org/wiki/Energ%C3%ADa_solar)
- [http://es.wikipedia.org/wiki/Energ%C3%ADa\\_renovable](http://es.wikipedia.org/wiki/Energ%C3%ADa_renovable)
- <http://es.wikipedia.org/wiki/Irradiancia>
- [http://es.wikipedia.org/wiki/Radiaci%C3%B3n\\_electromagn%C3%A9tica](http://es.wikipedia.org/wiki/Radiaci%C3%B3n_electromagn%C3%A9tica)
- [http://es.wikipedia.org/wiki/C%C3%A9lula\\_fotoel%C3%A9ctrica](http://es.wikipedia.org/wiki/C%C3%A9lula_fotoel%C3%A9ctrica)
- [http://es.wikipedia.org/wiki/Aislamiento\\_el%C3%A9ctrico](http://es.wikipedia.org/wiki/Aislamiento_el%C3%A9ctrico)
- [http://es.wikipedia.org/wiki/Radiaci%C3%B3n\\_ultravioleta](http://es.wikipedia.org/wiki/Radiaci%C3%B3n_ultravioleta)
- [http://ul-energy.com/uploads/media/UL-PV\\_Brochure\\_spanish.pdf](http://ul-energy.com/uploads/media/UL-PV_Brochure_spanish.pdf)

# **Anexos**

**Anexo I. Equipo requerido en la ejecución de los ensayos fotovoltaicos**

Equipo disponible

- Lupa portable o de mesa: esta lupa se utiliza para poder observar con mayor detalle los defectos que el panel pueda tener y así poder realizar un mejor análisis.



- Luxómetro: este equipo se utiliza para realizar la medición de la intensidad luminosa sobre el plano de trabajo para llevar a cabo los ensayos de inspección visual.



- Mesa de trabajo con iluminación de 1000 lux: se contaba con esta mesa de trabajo, la cual fue restaurada y adecuada para cumplir los requerimientos para realizar los ensayos, quedando con las dimensiones de 90.0 cm x 200.5 cm y una altura de 82.5 cm.





- Cámara fotográfica: utilizada para captar cada uno de los defectos que puedan encontrarse en los paneles durante los ensayos de inspección visual. Esta tendrá que proporcionarla la persona que realiza el ensayo.



- Mesa para colocación del equipo: se realizó la compra de una mesa con dimensiones de 49 cm x 76 cm y una altura de 66 cm, la cual es utilizada para colocar el equipo requerido en cada uno de los diferentes ensayos.



- Resistencia variable: de especificaciones, marca AGILENT N3300A, sistema DC carga electrónica con una carga, modelo N3304A 60 V/60 A, 300 W.



- Adquisitor de datos: LXI ADQUISITOR DE DATOS / UNIDAD INTERRUPTORA, marca AGILENT, modelo 34972A.



- Megóhmetro o Medidor de aislación: modelo 5060, marca AEMC INSTRUMENTS.



- Base de soporte horizontal: diseñada con piezas de ángulo para rack que se ensamblan unas con otras, de tal manera que se disponga de versatilidad al momento de colocar paneles de distinto tamaño y en diferentes posiciones.



- Multímetro digital: se utiliza el que se encuentra en el laboratorio de la Escuela de Energía Eléctrica.



- Dispositivo de medición: se fabricó un instrumento a partir de una base de madera y un metro, que permitiera medir la distancia requerida en el ensayo de torsión.



- Cinta métrica: empleada para realizar las mediciones requeridas en el ensayo de torsión.



- Dispositivo de lanzamiento (Tubo de PVC): se adquirió un tubo de PVC y se ajusto a la medida necesaria para efectuar el “Ensayo de resistencia al impacto de golpes”.



- Proyectil de lanzamiento: se adquirió una pelota que se ajustara al tamaño requerido para realizar el “Ensayo de resistencia al impacto de golpes”.



- Piranómetro: piranómetro de mano 4890.20, output 100 mV, marca FREDERIKSEN.





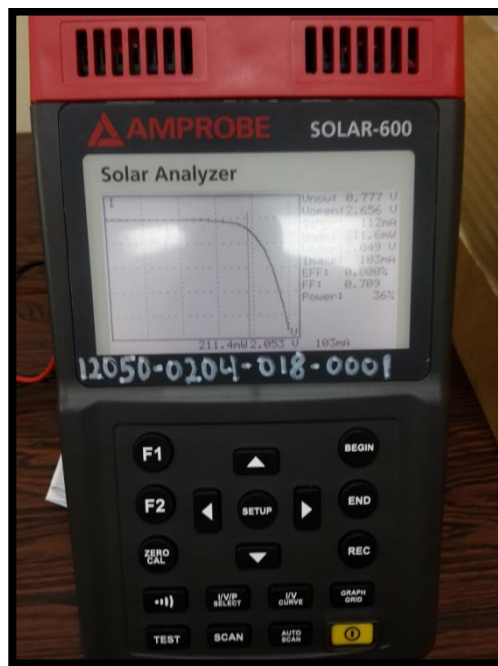
- Cámara termográfica: IR Lens  $f= 6.8$  mm, marca FLIR.



- Juego de prensas: se adquirieron 4 prensas para la sujeción del panel durante el ensayo de torsión.



- Trazador de curvas AMPROBE SOLAR-600: Para obtener los datos de potencia, corriente y voltaje y sus respectivos puntos en la curva I-V para la realización del ensayo características eléctricas en condiciones normalizadas que se realizara al exterior de las instalaciones bajo irradiación solar.





**Anexo II. Introducción de los resultados obtenidos en la base de datos.**

Para contar con un registro ordenado de todos los datos obtenidos en la realización de los diversos ensayos en paneles fotovoltaicos se construyó un formulario en Microsoft Access, ya que este programa permite contar con una interfaz gráfica amigable al mismo tiempo que posibilita exportar los datos a Microsoft Excel donde se pueden tener mayores opciones para su procesamiento.

Al abrir cada archivo aparece automáticamente el formulario para el ingreso de los datos deseados para x número de registros; sin embargo no es posible observar la totalidad de los registros ya que el propósito es únicamente el ingreso de resultados. Si se desea poder ver todos los registros o realizar alguna modificación a los mismos se debe abrir el archivo y posteriormente mantener presionada la tecla “Shift” mientras que se habilita el contenido de la macro mostrado en la parte superior de la pantalla, dando click en “Opciones”, “Habilitar este contenido” y luego en “Aceptar”. .

## Ensayos en módulos fotovoltaicos bajo normas IEC y ASTM

1.INSPECCION VISUAL : Base de datos (Access 2007) - Microsoft Access

Inicio Acrobat

Portapapeles Fuente Texto enriquecido Actualizar todo Registros

Advertencia de seguridad Se ha deshabilitado parte del contenido de la base de datos. Opciones...

ENSAYO DE INSPECCION VISUAL

ENSAYO DE INSPECCION VISUAL

N° de serie:  Pais del fabricante:   
Fabricante:  Tipo de tecnologia:

Cubierta superior externa Plancha base Marco Caja de terminales Celdas solares

Rajaduras   
Roturas   
Delaminaciones   
Empañamientos   
Astilladuras   
Otros:

1.INSPECCION VISUAL : Base de datos (Access 2007) - Microsoft Access

Inicio Acrobat

Portapapeles Fuente Texto enriquecido Actualizar todo Registros

Advertencia de seguridad Se ha deshabilitado parte del contenido de la base de datos.

ENSAYO DE INSPECCION VISUAL

ENSAYO DE INSPECCION VISUAL

N° de serie:  Pais del fabricante:   
Fabricante:  Tipo de tecnologia:

Cubierta superior externa Plancha base Marco Caja de terminales Celdas solares

Rajaduras   
Roturas   
Delaminaciones   
Empañamientos   
Astilladuras   
Otros:

Opciones de seguridad de Microsoft Office

**Alerta de seguridad**

Macro de VBA

Access ha deshabilitado el contenido potencialmente dañino en esta base de datos.

Si confía en el contenido de esta base de datos y desea habilitarlo para esta sesión únicamente, haga clic en **Habilitar este contenido**.

**Advertencia: no es posible determinar si el contenido procede de un origen de confianza. Debe dejar este contenido deshabilitado a menos que de él dependa cierta funcionalidad básica y confíe en su origen.**

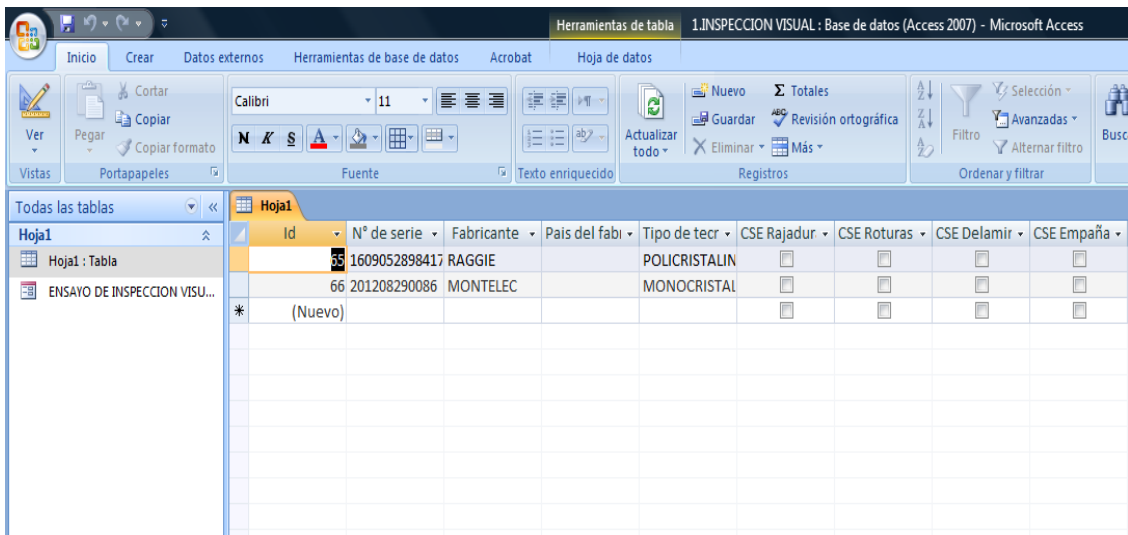
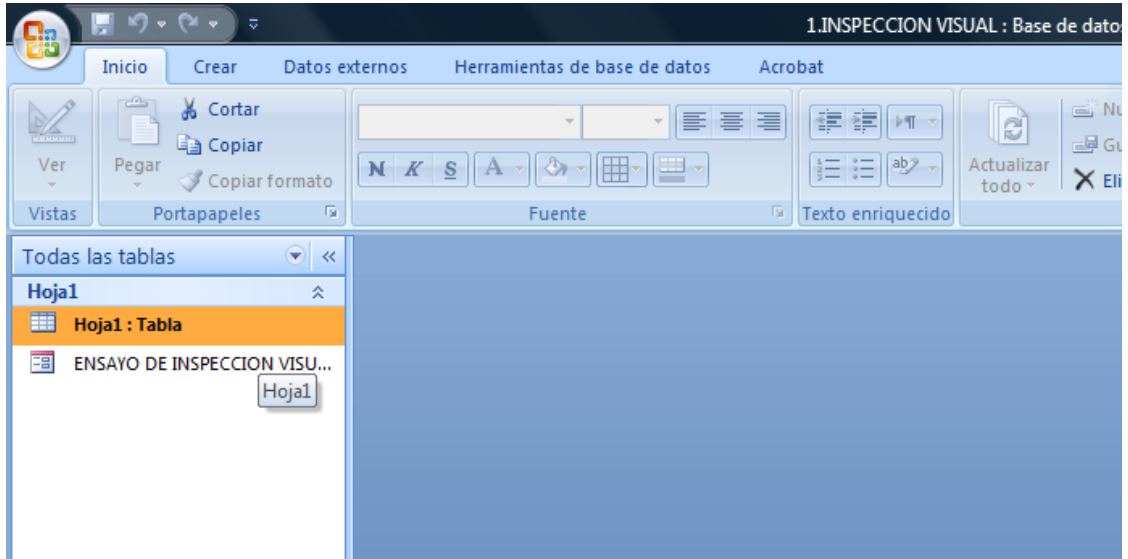
[Más información](#)

Ruta de acceso del archivo: C:\...EFENSA1\formularios\1.INSPECCION VISUAL.accd

Ayudar a protegerme contra contenido desconocido (recomendado)  
 **Habilitar este contenido**

[Abrir el Centro de confianza](#) Aceptar Cancelar

Dando click en “Hoja1: Tabla” podrán visualizarse todos los registros.

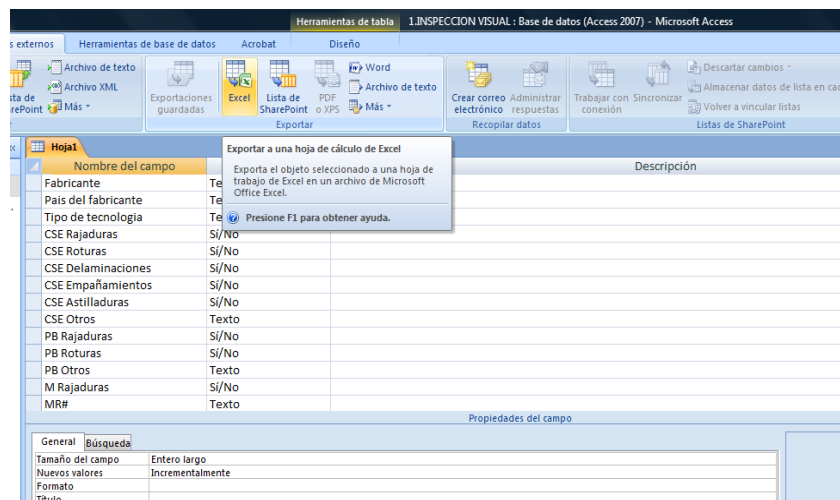


Si lo que se desea es exportar los datos a Microsoft Excel, se debe permanecer siempre en “Hoja1: Tabla” pero cambiar a la vista “Diseño” en la parte inferior derecha de la pantalla.


## Ensayos en módulos fotovoltaicos bajo normas IEC y ASTM

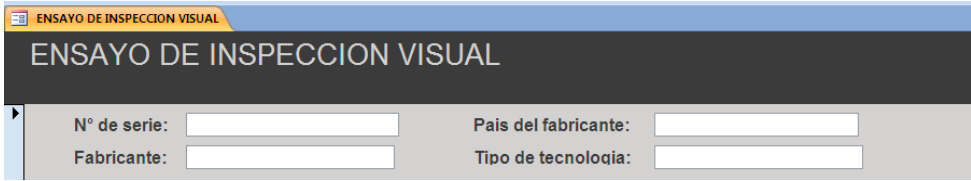
N° de serie	Fabricante	País del fabri	Tipo de tecn	CSE Rajadur	CSE Roturas	CSE Delamir	CSE Empaña	CSE Astillad	CSE Otros	PB Rajadura
1609052898417	RAGGIE		POUCRISTALIN	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
66 201208290086	MONTELEC		MONOCRISTAL	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	4 puntos de ran	<input checked="" type="checkbox"/>

Posteriormente dar click en la pestaña “Datos externos” y finalmente en “Excel”.



## ENSAYO DE INSPECCION VISUAL

1. Ejecutar el archivo “INSPECCION VISUAL”. 
2. Introducir los datos generales correspondientes al panel que ha sido evaluado, indicando en el tipo de tecnología si se trata de un panel Monocristalino, Policristalino o de Silicio amorfo.



ENSAYO DE INSPECCION VISUAL

N° de serie:  Pais del fabricante:   
Fabricante:  Tipo de tecnología:

3. Desplazarse por cada una de las pestañas del formulario llenando los datos requeridos en cada una de ellas.



ENSAYO DE INSPECCION VISUAL

N° de serie:  Pais del fabricante:   
Fabricante:  Tipo de tecnología:

Cubierta superior externa | Plancha base | Marco | Caja de terminales | Celdas solares

Rajaduras  Numero de marco:   
 Abolladuras  Numero de marco:   
 Doblecres  Numero de marco:   
 Material  Numero de marco:   
Otros:  Numero de marco:

Facultad de Ingeniería y Arquitectura, "Diseño de laboratorio de ensayos fotovoltaicos".



- Al finalizar la introducción de datos, guardar el registro e ingresar un registro nuevo si es necesario.

ENSAYO DE INSPECCION VISUAL

N° de serie:  Pais del fabricante:   
Fabricante:  Tipo de tecnologia:

Cubierta superior externa | Plancha base | Marco | Caja de terminales | **Celdas solares**

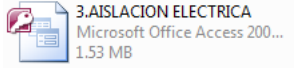
Rajaduras  Numero de celda:   
Roturas  Numero de celda:   
Interconexion de celdas  Numero de celda:   
Defectos en grilla de conexion:  Numero de celda:   
Contactos entre celdas:  Numero de celda:   
Contacto entre celda y marco:  Numero de celda:   
Burbujas de camino continuo  Numero de celda:   
Otros:  Numero de celda:

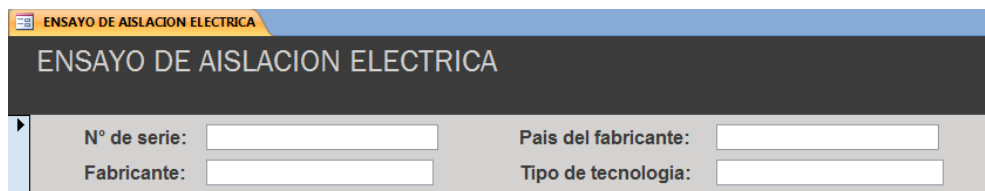
Guardar registro Nuevo registro

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
CENTRO AMERICA

Facultad de Ingenieria y Arquitectura, "Diseño de laboratorio de ensayos fotovoltaicos".

## ENSAYO DE AISLACIÓN ELÉCTRICA

1. Ejecutar el archivo “AISLACION ELECTRICA”. 
2. Introducir los datos generales correspondientes al panel que ha sido evaluado, indicando en el tipo de tecnología si se trata de un panel Monocristalino, Policristalino o de Silicio amorfo.



ENSAYO DE AISLACION ELECTRICA

ENSAYO DE AISLACION ELECTRICA

N° de serie:

Fabricante:

Pais del fabricante:

Tipo de tecnologia:

3. En la primera pestaña, introducir los datos de placa del panel fotovoltaico.



Datos de placa Resultados

Max-Potencia  $P_m(W)=$

Voltaje máximo  $V_m(V)=$

Corriente máxima  $I_m(A)=$

Voltaje de circuito abierto  $V_{oc}(V)=$

Corriente de cortocircuito  $I_{sc}(A)=$

Máximo voltaje del sistema  $V_{DC}(V)=$

Dimension:

Peso:

Condiciones de test

4. En la pestaña “Resultados” introducir los datos obtenidos. Guardar el registro e ingresar un registro nuevo si es necesario.

Datos de placa: Resultados

**Voltaje de circuito abierto <50V:**

Se produjeron descargas

Se produjo discontinuidad dielectrica

Otros:

**Voltaje de circuito abierto >50V:**

Se produjeron descargas

Se produjo discontinuidad dielectrica

Otros:

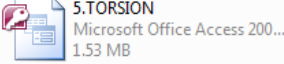
**Aplicacion de tension=500V**

Resistencia de de aislamiento=  ¿Es el valor de la resistencia de aislamiento?

Guardar registro Nuevo registro



## ENSAYO DE TORSIÓN

1. Ejecutar el archivo “TORSION”. 
2. Introducir los datos generales correspondientes al panel que ha sido evaluado, indicando en el tipo de tecnología si se trata de un panel Monocristalino, Policristalino o de Silicio amorfo.



ENSAYO DE TORSION

ENSAYO DE TORSION

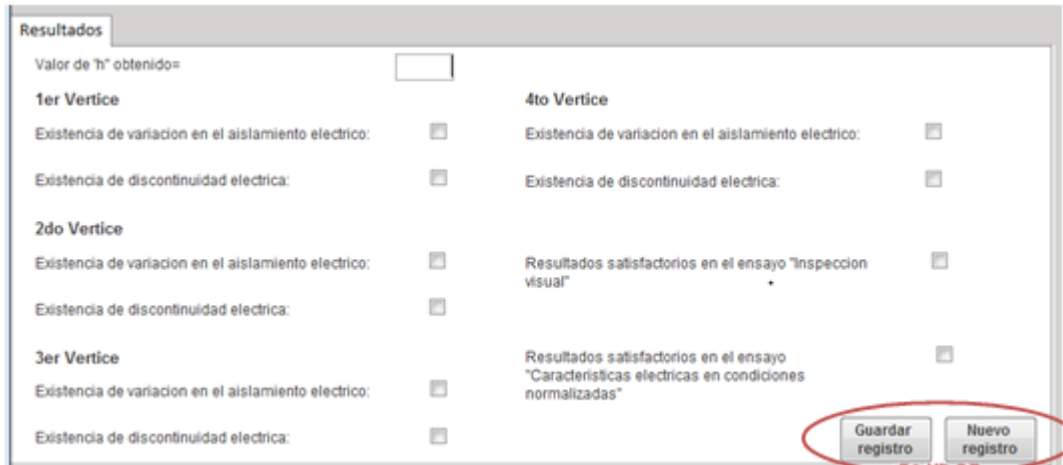
N° de serie:

Fabricante:

Pais del fabricante:

Tipo de tecnologia:

3. Introducir los datos obtenidos. Guardar el registro e ingresar un registro nuevo si es necesario.



Resultados

Valor de  $t_n$  obtenido=

**1er Vertice**

Existencia de variacion en el aislamiento electrico:

Existencia de discontinuidad electrica:

**2do Vertice**

Existencia de variacion en el aislamiento electrico:

Existencia de discontinuidad electrica:

**3er Vertice**

Existencia de variacion en el aislamiento electrico:

Existencia de discontinuidad electrica:

**4to Vertice**

Existencia de variacion en el aislamiento electrico:

Existencia de discontinuidad electrica:

Resultados satisfactorios en el ensayo "Inspeccion visual":

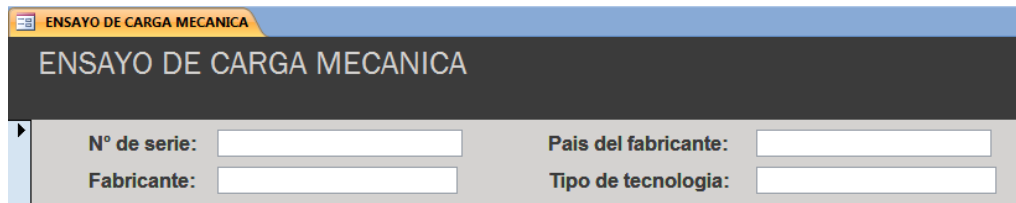
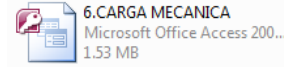
Resultados satisfactorios en el ensayo "Caracteristicas electricas en condiciones normalizadas":

Guardar registro

Nuevo registro

## ENSAYO DE CARGA MECÁNICA

1. Ejecutar el archivo “CARGA MECANICA”.
2. Introducir los datos generales correspondientes al panel que ha sido evaluado, indicando en el tipo de tecnología si se trata de un panel Monocristalino, Policristalino o de Silicio amorfo.



ENSAYO DE CARGA MECANICA

ENSAYO DE CARGA MECANICA

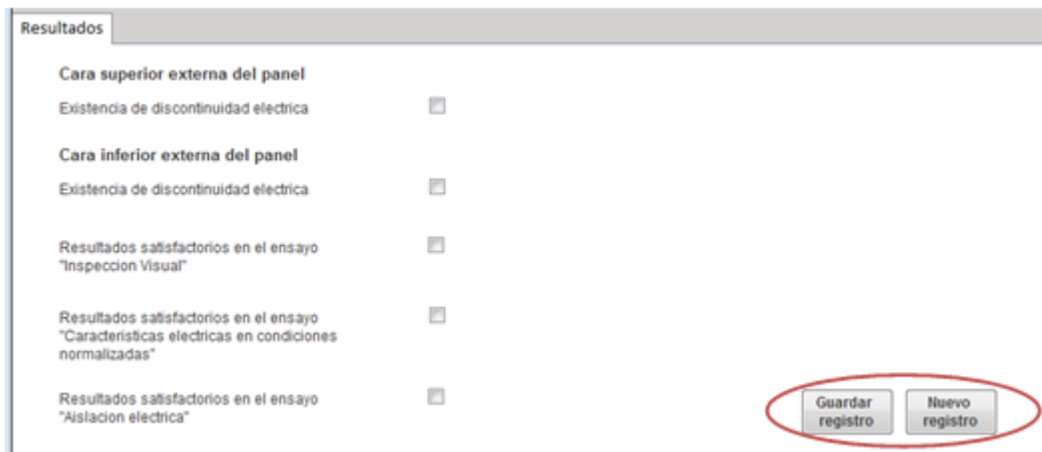
N° de serie:

Fabricante:

Pais del fabricante:

Tipo de tecnologia:

3. Introducir los datos obtenidos. Guardar el registro e ingresar un registro nuevo si es necesario.



Resultados

Cara superior externa del panel

Existencia de discontinuidad electrica

Cara inferior externa del panel

Existencia de discontinuidad electrica

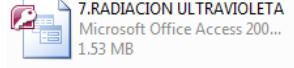
Resultados satisfactorios en el ensayo "Inspeccion Visual"

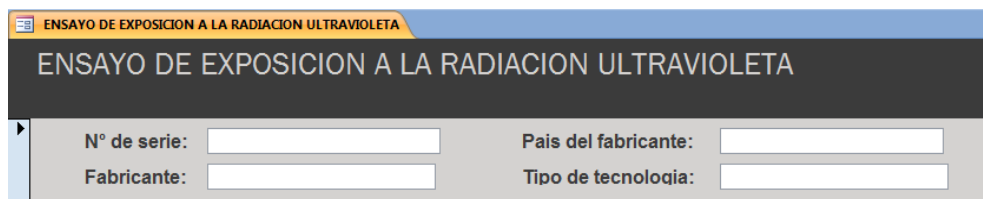
Resultados satisfactorios en el ensayo "Caracteristicas electricas en condiciones normalizadas"

Resultados satisfactorios en el ensayo "Aislacion electrica"

Guardar registro Nuevo registro

## ENSAYO DE EXPOSICIÓN A LA RADIACIÓN ULTRAVIOLETA

1. Ejecutar el archivo “RADIACION ULTRAVIOLETA”. 
2. Introducir los datos generales correspondientes al panel que ha sido evaluado, indicando en el tipo de tecnología si se trata de un panel Monocristalino, Policristalino o de Silicio amorfo.



ENSAYO DE EXPOSICION A LA RADIACION ULTRAVIOLETA

ENSAYO DE EXPOSICION A LA RADIACION ULTRAVIOLETA

N° de serie:  Pais del fabricante:

Fabricante:  Tipo de tecnologia:

3. En la primera pestaña, introducir los datos de placa del panel fotovoltaico.



Datos de placa Resultados

Max-Potencia  $P_m$ (W)=  Condiciones de test:

Voltaje máximo  $V_m$ (V)=

Corriente máxima  $I_m$ (A)=

Voltaje de circuito abierto  $V_{oc}$ (V)=

Corriente de cortocircuito  $I_{sc}$ (A)=

Máximo voltaje del sistema VDC(V)=

Dimension:

Peso:

4. En la pestaña “Resultados” introducir los datos obtenidos. Guardar el registro e ingresar un registro nuevo si es necesario.

Datos de placa | Resultados

Cantidad de años a simular:

Horas de exposicion en camara:

Resultados satisfactorios en el ensayo "Inspeccion visual"

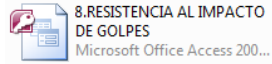
Resultados satisfactorios en el ensayo "Caracteristicas electricas en condiciones normalizadas"

Resultados satisfactorios en el ensayo "Aislamiento electrico"

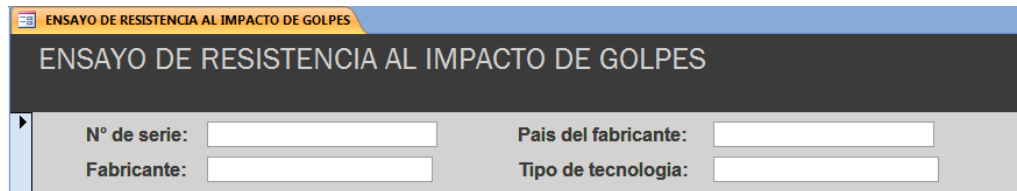
Guardar registro    Nuevo registro

## ENSAYO DE RESISTENCIA AL IMPACTO DE GOLPES

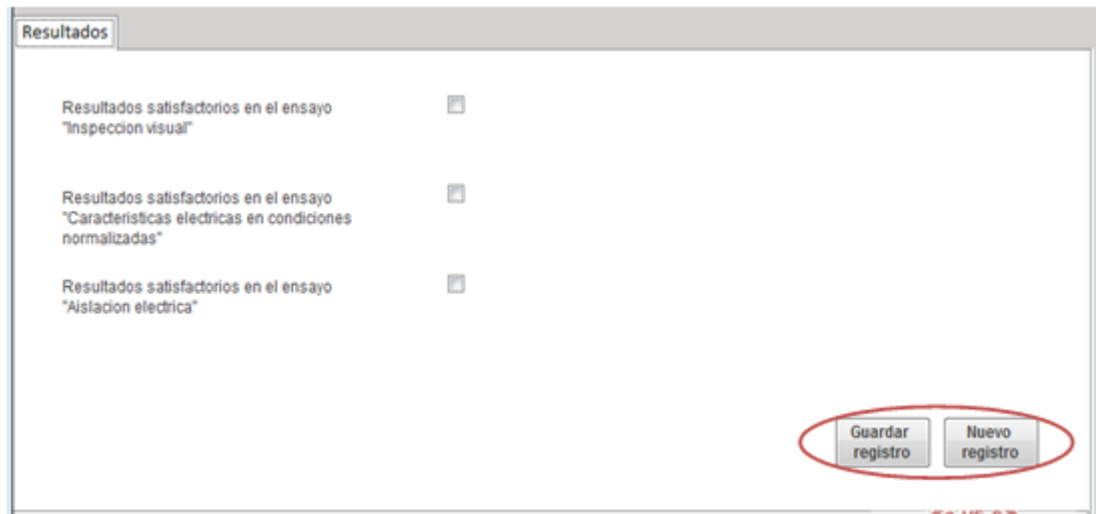
1. Ejecutar el archivo “RESISTENCIA AL IMPACTO DE GOLPES”.



2. Introducir los datos generales correspondientes al panel que ha sido evaluado, indicando en el tipo de tecnología si se trata de un panel Monocristalino, Policristalino o de Silicio amorfo.

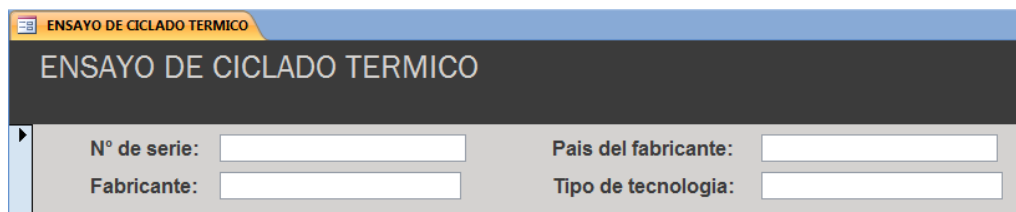
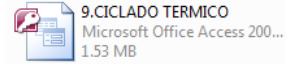


3. Introducir los datos obtenidos. Guardar el registro e ingresar un registro nuevo si es necesario.

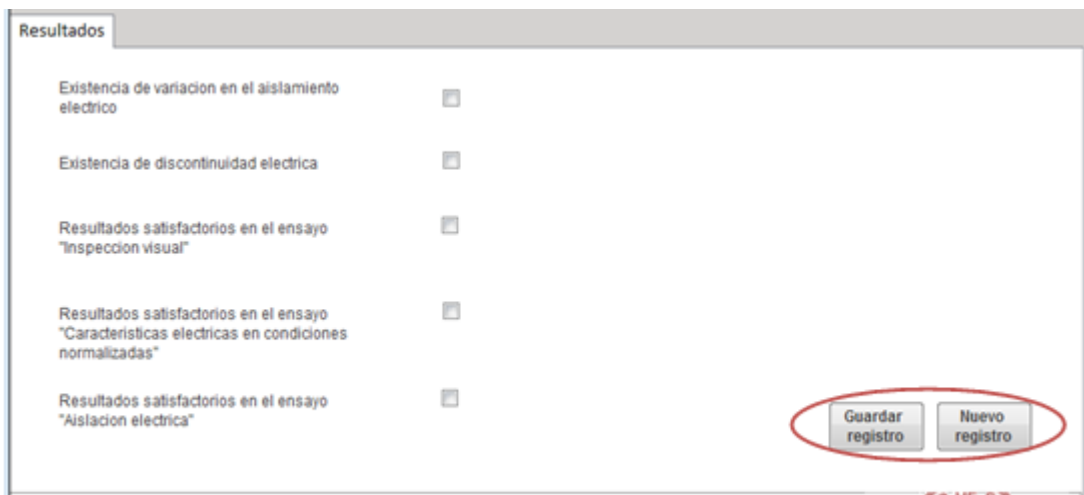


## ENSAYO DE CICLADO TÉRMICO

1. Ejecutar el archivo “CICLADO TERMICO”.
2. Introducir los datos generales correspondientes al panel que ha sido evaluado, indicando en el tipo de tecnología si se trata de un panel Monocristalino, Policristalino o de Silicio amorfo.

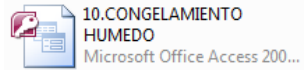


3. Introducir los datos obtenidos. Guardar el registro e ingresar un registro nuevo si es necesario.

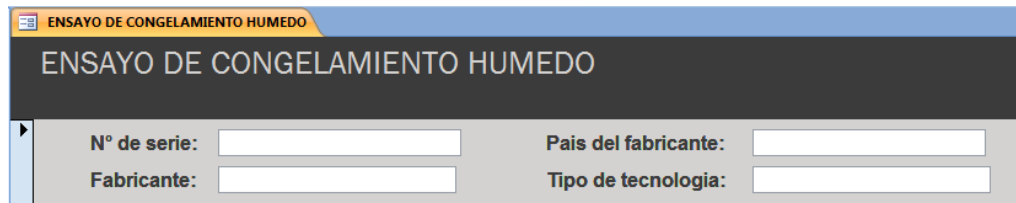


## ENSAYO DE CONGELAMIENTO HUMEDO

1. Ejecutar el archivo “CONGELAMIENTO HUMEDO”.

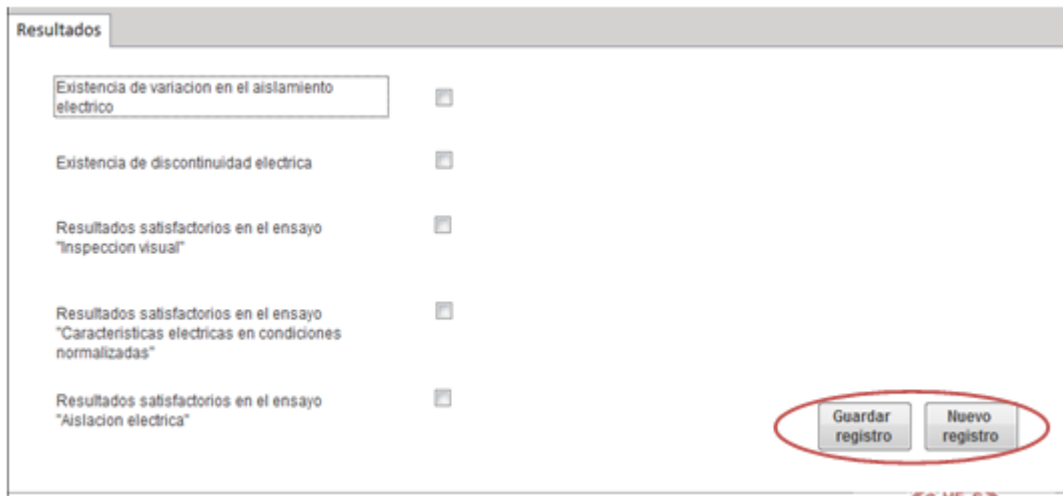


2. Introducir los datos generales correspondientes al panel que ha sido evaluado, indicando en el tipo de tecnología si se trata de un panel Monocristalino, Policristalino o de Silicio amorfo.



The screenshot shows a software window titled 'ENSAYO DE CONGELAMIENTO HUMEDO'. Below the title bar, there are four input fields for general data: 'N° de serie:', 'Fabricante:', 'Pais del fabricante:', and 'Tipo de tecnología:'.

3. Introducir los datos obtenidos. Guardar el registro e ingresar un registro nuevo si es necesario.

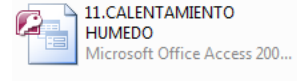


The screenshot shows the 'Resultados' section of the software. It contains five rows of checkboxes for recording test results:

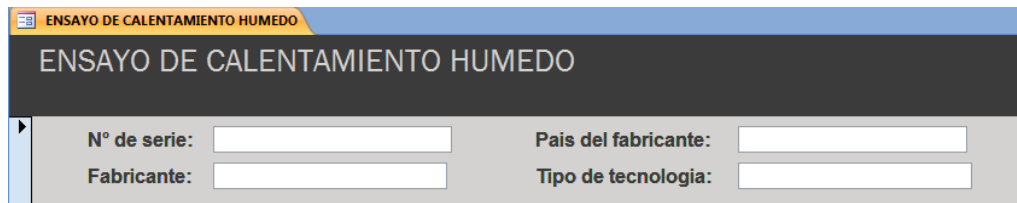
- Existencia de variación en el aislamiento eléctrico
- Existencia de discontinuidad eléctrica
- Resultados satisfactorios en el ensayo "Inspección visual"
- Resultados satisfactorios en el ensayo "Características eléctricas en condiciones normalizadas"
- Resultados satisfactorios en el ensayo "Aislación eléctrica"

At the bottom right, there are two buttons: 'Guardar registro' and 'Nuevo registro', which are circled in red.

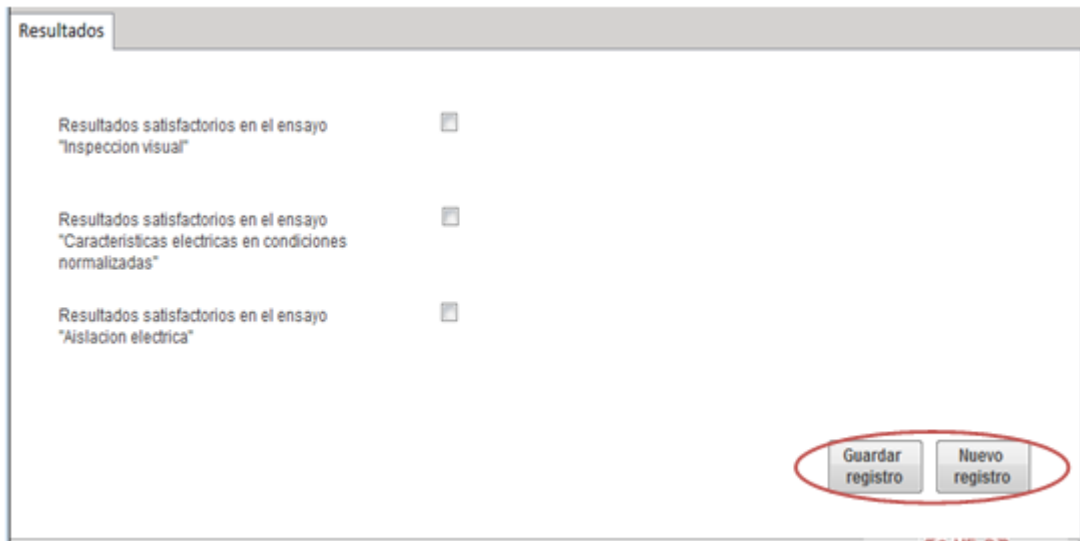
## ENSAYO DE CALENTAMIENTO HUMEDO



1. Ejecutar el archivo “CALENTAMIENTO HUMEDO”.
2. Introducir los datos generales correspondientes al panel que ha sido evaluado, indicando en el tipo de tecnología si se trata de un panel Monocristalino, Policristalino o de Silicio amorfo.



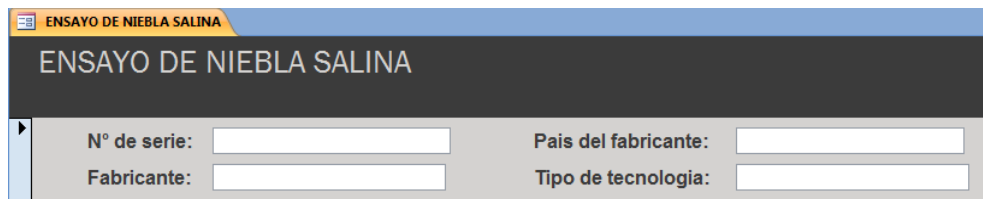
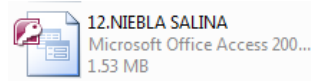
3. Introducir los datos obtenidos. Guardar el registro e ingresar un registro nuevo si es necesario.





## ENSAYO DE NIEBLA SALINA

1. Ejecutar el archivo “NIEBLA SALINA”.
2. Introducir los datos generales correspondientes al panel que ha sido evaluado, indicando en el tipo de tecnología si se trata de un panel Monocristalino, Policristalino o de Silicio amorfo.



ENSAYO DE NIEBLA SALINA

ENSAYO DE NIEBLA SALINA

N° de serie:	<input type="text"/>	Pais del fabricante:	<input type="text"/>
Fabricante:	<input type="text"/>	Tipo de tecnología:	<input type="text"/>

3. En la primera pestaña, introducir los datos de placa del panel fotovoltaico.



Datos de placa Resultados

Max-Potencia Pm(W)=	<input type="text"/>	Condiciones de test	<input type="text"/>
Voltaje máximo Vm(V)=	<input type="text"/>		
Corriente máxima Im(A)=	<input type="text"/>		
Voltaje de circuito abierto Voc(V)=	<input type="text"/>		
Corriente de cortocircuito Isc(A)=	<input type="text"/>		
Máximo voltaje del sistema VDC(V)=	<input type="text"/>		
Dimension:	<input type="text"/>		
Peso:	<input type="text"/>		

4. En la pestaña “Resultados” introducir los datos obtenidos. Guardar el registro e ingresar un registro nuevo si es necesario.

Datos de placa **Resultados**

Ensayos previos a la exposicion del panel a niebla salina	Ensayos posteriores al lavado del panel
Resultados satisfactorios en el ensayo "Inspeccion visual" <input type="checkbox"/>	Resultados satisfactorios en el ensayo "Inspeccion visual" <input type="checkbox"/>
Resultados satisfactorios en el ensayo "Características eléctricas en condiciones normalizadas" <input type="checkbox"/>	Resultados satisfactorios en el ensayo "Características eléctricas en condiciones normalizadas" <input type="checkbox"/>
Resultados satisfactorios en el ensayo "Aislamiento eléctrico" <input type="checkbox"/>	Resultados satisfactorios en el ensayo "Aislamiento eléctrico" <input type="checkbox"/>

**Ensayo inmediatamente despues de la exposicion del panel a niebla salina**

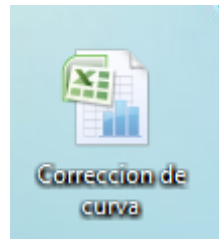
Resultados satisfactorios en el ensayo "Inspeccion visual" <input type="checkbox"/>
---

**Guardar registro** **Nuevo registro**

**Anexo III. Uso de documento de Excel "Corrección de curva".**

El documento de Excel "Corrección de curva" es utilizado en la guía #2 de trabajo "Ensayo de características eléctricas en condiciones normalizadas" para realizar la corrección de curvas y el cálculo de los parámetros requeridos en esta guía. Para hacer uso de este archivo se tienen que seguir los siguientes pasos:

- Abrir el archivo en Excel llamado "Corrección de curva".



- Al haber descargado los archivos en Excel provenientes del equipo trazador de curvas, proceder a pegar los datos obtenidos siguiendo el formato sombreado de color amarillo de la siguiente manera:

Hoja Temp1: Igual valor de irradiancia, medición a menor temperatura.

Hoja Temp2: Igual valor de irradiancia, medición a segunda menor temperatura.

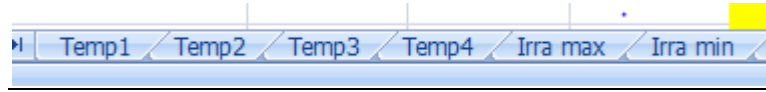
Hoja Temp3: Igual valor de irradiancia, medición a segunda mayor temperatura.

Hoja Temp2: Igual valor de irradiancia, medición a mayor temperatura.

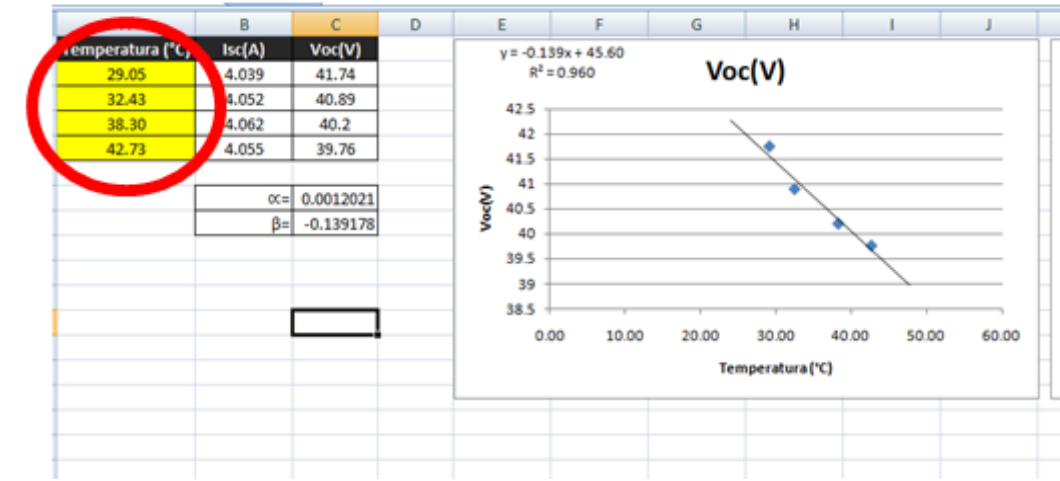
Irra Max: Temperatura constante, medición a mayor irradiancia.

Irra Min: Temperatura constante, medición a menor irradiancia.

Ensayos en módulos fotovoltaicos bajo normas IEC y ASTM



- En la hoja "Pendientes" colocar, en los cuadros marcados de color amarillo, las diferentes temperaturas partiendo de la menor a la mayor.



- En la hoja "Calculo" pegar los valores de voltaje y corriente provenientes de las hojas Temp1, Temp2, Temp3.

Temp1	Temp2	Temp3
31.732	40.157	40.852
35.71	40.13	40.817
38.30	40.09	40.71
39.654	39.99	40.6
39.53	39.9	40.64
39.494	39.926	40.612
39.46	39.892	40.581
39.422	39.856	40.545
39.392	39.823	40.512
39.355	39.788	40.478
39.321	39.753	40.444
39.284	39.714	40.411
39.253	39.683	40.376
39.225	39.644	40.339

*Ensayos en módulos fotovoltaicos bajo normas IEC y ASTM*

- En la hoja "Calculo" Variar los valores de "k variable" en pasos de 0.001 hasta que los valores de %ERROR T4, %ERROR T3, %ERROR T2 se encuentren aproximadamente en el rango de 0.5 o menor.

	K	L	M	N
<b>k variable</b>	Pmax(W)	% Error T4	% Error T3	% Error T2
0.00930	120.9	0.500769002	0.508963947	0.419652133

- En la hoja "Corrección" completar los campos en amarillos con la información de la curva a corregir y los valores de voltaje y corriente.

Correccion de curva a 1000W/m <sup>2</sup> y 25 °C			D	E
	726W/m <sup>2</sup> y 41 °C	1000W/m <sup>2</sup> y 25 °C		
Vopen (V)	39.97	42.98		
Ishort (A)	4.254	5.82		
Vmaxp (V)	31.08	34.53		
Imaxp (A)	3.831	5.27		
Pmax (W)	119.1	182.07		
Temperatura	41	25		
Irradiancia	726	1000		

V (V)	I (A)	P(W)	I (A)	V (V)
39.944	0.0282	67.57	1.61	41.86
39.91	0.0566	68.71	1.64	41.83
39.876	0.085	69.85	1.67	41.80
39.844	0.1134	70.99	1.70	41.77
39.808	0.1418	72.12	1.73	41.74
39.775	0.17	73.25	1.76	41.71
39.737	0.1984	74.37	1.78	41.67
39.703	0.2268	75.50	1.81	41.64
39.669	0.2552	76.63	1.84	41.61
39.632	0.2836	77.75	1.87	41.58
39.598	0.3118	78.87	1.90	41.55
39.563	0.3402	79.99	1.93	41.52

**Anexo III. Cotización de equipo a adquirir.**

ITEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
1	CÁMARA CON CONTROL DE TEMPERATURA Y HUMEDAD. ARALAB Fitoclíma E45 & ECP45 models 45°C to +150°C Humidity Range 10% to 98% RH 1.500 liters	1	\$35000	\$35000
2	SIMULADOR SOLAR EKO SERIE LP 156A 700W/m2 a 1200W/m2 10 a 35°C	1	\$9000	\$9000
3	CÁMARA DE RADIACIÓN ULTRAVIOLETA. UV WEATHER TEST CHAMBER, modelo Me uv-260, longitud de onda UV: 290nm~400nm, dimensiones (cm): 45*117*50	1	\$12600	\$12600
4	CÁMARA FOTOGRÁFICA. Canon Power Shot SX510 HS. Cámara portátil semi-profesional, Zoom óptico 30x, gran angular de 24 mm, en un cuerpo compacto. 60x con Zoom Plus, 12,1 mega píxeles, y DIGIC 4 para obtener impresionantes resultados incluso con poca luz, estabilizador Óptico de la Imagen con IS Inteligente para obtener fotografías nítidas y vídeos estables.	1	\$269	\$269
5	Standard for Flat-Plate Photovoltaic Modules and Panels UL Standard 1703	1	\$798	\$798