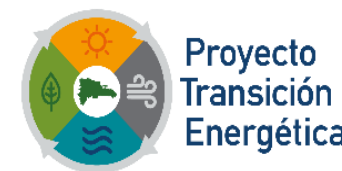


Por encargo de:
 Ministerio Federal
 de Medio Ambiente, Protección de la Naturaleza
 y Seguridad Nuclear
 de la República Federal de Alemania



SOLUCIONES FOTOVOLTAICAS RESILIENTES AL CLIMA

Rocío de la Luz Santos Magdaleno, José Ortega
Cruz y Aarón Sánchez Juárez

Expositor

Aarón Sánchez Juárez

Laboratorio de Evaluación Fotovoltaica

Instituto de Energías Renovables

Universidad Nacional Autónoma de México

Santo Domingo, Rep Dominicana

21-24 de mayo 2019



Generalidades Energéticas en el Caribe

- La mayor parte de la electricidad que se consume en las Islas Caribeñas es generada mediante plantas termoeléctricas y distribuída mediante líneas aéreas
- Dada la climatología de la zona (huracanes), la distribución de la electricidad mediante líneas aéreas hacen que el Sistema Eléctrico sea muy vulnerable durante la temporada de ciclones, tal y como aconteció en el 2017 (*tres ciclones devastadores: Harvey, Irma, María*)
- Actualmente, los SFV están ganando popularidad como una manera de diversificar la matriz energética en las Islas Caribeñas.
- Es común encontrar SFV instalados sobre techos de casas, comercios, en naves industriales, patios, etc; y plantas FV de gran potencia que pertenecen a las empresas que proveen el servicio eléctrico a la población



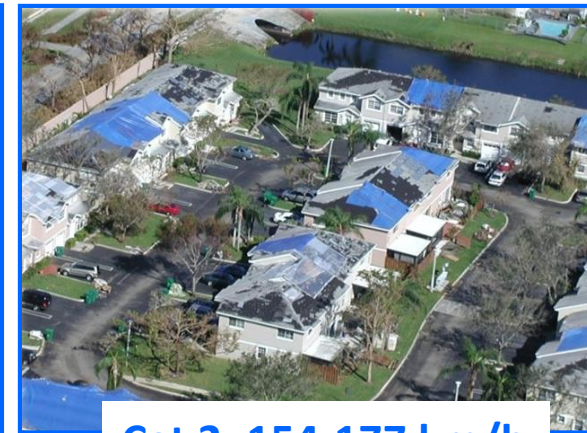
Categorías de Huracanes/Ciclones



Cat 1: 119-153 km/h
P=1,140 Pa



Escala Saffir-Simpson



Cat 2: 154-177 km/h
P=1,510 Pa



Cat 3: 178-208 km/h
P=2,090 Pa

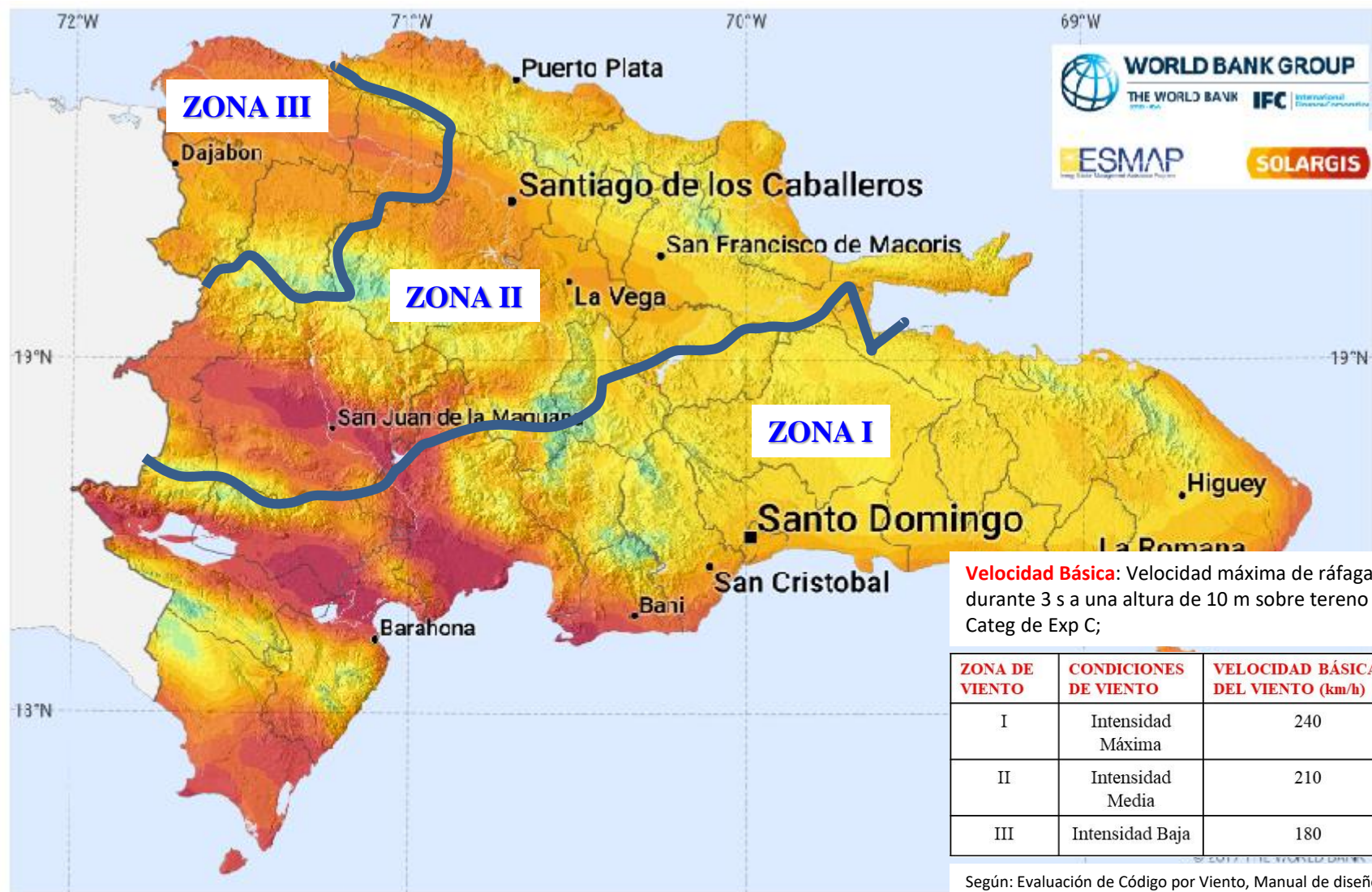
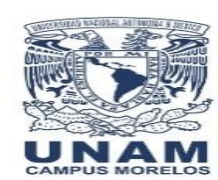


Cat 4: 209-251 km/h
P=3,010 Pa



Cat 5: Mayor de 252 km/h
P>3010 Pa

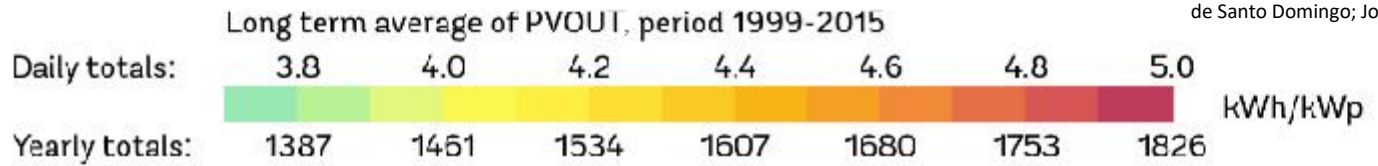
POTENCIAL FOTOVOLTAICO DE LA REPÚBLICA DOMINICANA



Velocidad Básica: Velocidad máxima de ráfaga durante 3 s a una altura de 10 m sobre terreno Categ de Exp C;

ZONA DE VIENTO	CONDICIONES DE VIENTO	VELOCIDAD BÁSICA DEL VIENTO (km/h)
I	Intensidad Máxima	240
II	Intensidad Media	210
III	Intensidad Baja	180

Según: Evaluación de Código por Viento, Manual de diseño contra viento, República Dominicana; Instituto Tecnológico de Santo Domingo; Jorge Gutierrez



Preguntas... Si el Caribe es zona de Ciclones,...

¿Que se ha hecho para mitigar sus efectos sobre el Sistema Eléctrico?

Para el caso de los Sistemas Fotovoltaicos,...

¿Cuales son los riesgos que se presentan en caso de huracanes?

¿Que características técnicas deben tener para mitigar los efectos de la climatología del sitio?

¿Que requerimientos se deben tomar en consideración relacionados con el diseño eléctrico, civil, mecánico?

¿Existe alguna normatividad que pueda aplicarse para su diseño structural?



Fuente de Fotos: Rocky Mountain Institute; "Solar Under Storm: Select best practices for resilient ground mount PV systems with hurricane exposure"

1. Conceptos Resiliencia-Vulnerabilidad en sistemas de energía

Vulnerabilidad.- Sensibilidad a perturbaciones o tensiones externas. Exposición a las perturbaciones

Susceptibilidad del sistema energético o componente del mismo a daños debidos a un desastre natural, resultando en la pérdida de funciones clave o un impacto negativo significativo en la sostenibilidad

Resiliencia.- La cantidad de cambio que el sistema puede experimentar y aún retener los mismos controles en la función y la estructura.

La capacidad de un sistema de energía o componente del mismo de soportar daños debidos a una desastre natural, tener un impacto benigno o insignificante en la sostenibilidad en caso de daño o pérdida, y contribuir de manera positiva a la recuperación de la sociedad después del desastre ".

Fuente: Resilience, Sustainability and Risk Management: A Focus on Energy; B. McLellan *, Qi Zhang, H.Farzaneh, N. A Utama and K N. Ishihara; *Challenges* 2012, 3, 153-182; doi:10.3390/challe3020153

Sistemas Fotovoltaicos

Evaluación de Riesgos

- Sistema energético
SOLAR FOTOVOLTAICO



- Operación
EFECTO FV EN CELDAS
SOLARES/Conversión a
potencia eléctrica en
paneles FV

- Fuente de Energía
(entrada)
LUZ SOLAR



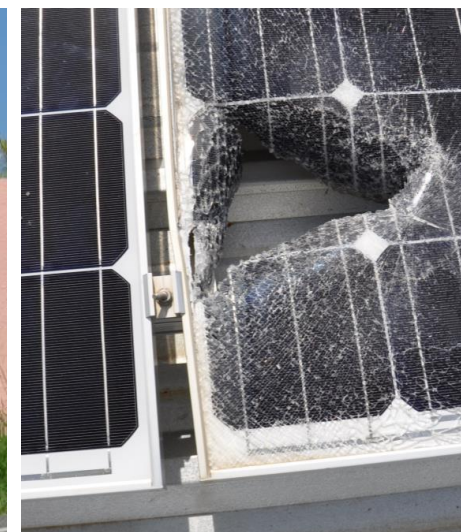
- Producto (salida)
ELECTRICIDAD

Vulnerabilidad y Resiliencia en las Componentes del Sistema

COMPONENTE	VULNERABILIDAD	RESILENCIA
Luz solar	Energía solar vulnerable a condiciones ambientales, sobre todo en días lluviosos o huracanes;	Normalmente, las tormentas y huracanes son temporales, así que pasado el evento, se recupera la Fuente de energía; sin embargo, el diseño eléctrico-mecánico debe hacerse para soportar vientos huracanados Cat 5
Generador Fotovoltaico	Paneles vulnerables al granizo, fuertes vientos, impactos de objetos, inundación en cajas y ductos; etc.	
Electricidad foto- generada	Redes de transmisión o distribución, Cajas abiertas, Inundaciones, cables expuestos, son vulnerables a inundaciones y vientos fuertes. Una RED dañada es peligrosa para la salud y el equipamiento	Redes locales en SGD deben diseñarse e instalarse de tal manera que subsistan despues del evento

Principales riesgos de impacto de desastres naturales sobre el sistema de energía solar

DESASTRE	HUMANO	SOCIAL	ECONÓMICO
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Inundaciones ➤ Marejadas ➤ Vientos Fuertes ➤ Huracanes 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Riesgo de choque eléctrico ▪ Riesgo de golpes por caída de módulos 	Impacto menor asociado con la pérdida de electricidad	<p>Impacto menor asociado con la pérdida de electricidad.</p> <p>Costo de reparación es proporcional al daño y a la cadena de proveduría.</p> <p>Costo de reinstalación es proporcional al daño</p>

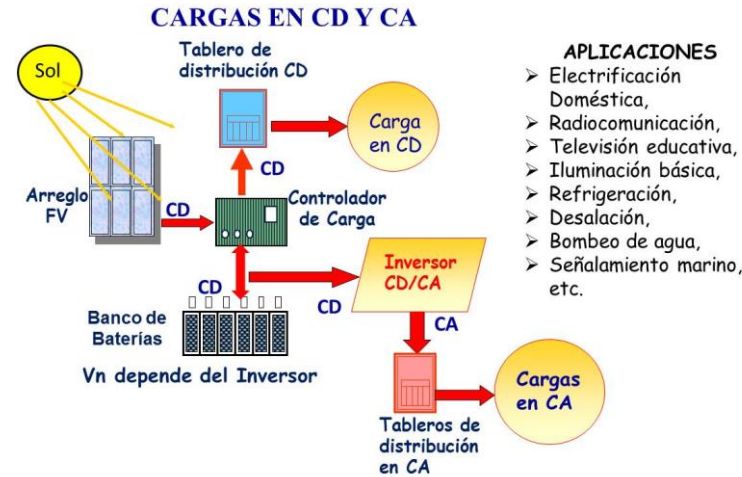


Fuente de Fotos:
Rooftop Solar Panel Attachment:
Design, Installation, and
Maintenance; USVI-RA5/August
2018 FEMA

2. Sistemas Fotovoltaicos

Integración

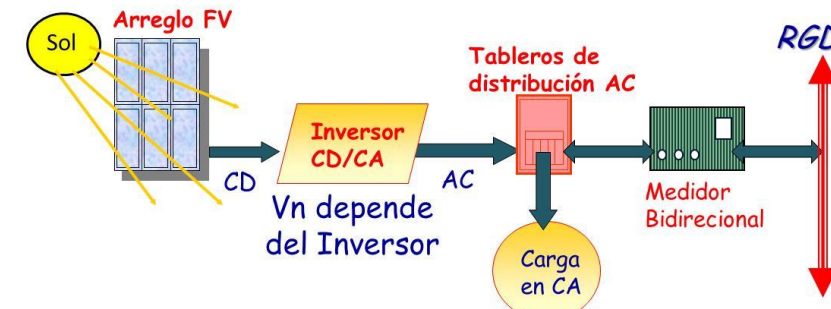
SISTEMAS FV'S AUTÓNOMOS



ASPECTOS TÉCNICOS

- Son generadores de electricidad
- Presentan potencial de riesgo para la salud
- Están regidos por estándares nacionales e internacionales
- Las instalaciones eléctricas deben satisfacer las regulaciones locales y nacionales

SISTEMAS FV'S INTERCONECTADOS A RGD



SISTEMAS DISTRIBUIDOS PEQUEÑA ESCALA ≤50.0 kW

- Residencias,
- Oficinas,
- Edificios públicos, industriales,
- Comercios

SISTEMAS DISTRIBUIDOS PEQUEÑA Y MEDIANA ESCALA

- Unidades habitacionales
- Plantas de mediana potencia hasta 500 kW
- Plantas de Gran Potencia mayores de 500.0 kW

Componentes principales de los SFV

EQUIPOS

Módulos Fotovoltaicos
Acondicionadores de Potencia

- Inversores
- Controladores de carga,
- Seguidores de Max Pot,
- Baterías

PARTES Y COMPONENTES

Cableado; Canalizaciones;
Dispositivos de seguridad;
Sistema de Tierras;
Cajas de Combinación,
Conexión, Gabinetes;
Estructuras-Herrajes-Anclaje

*Dimensionamiento, Diseño,
Instalación, Puesta en
Operación*

Certificación de producto

Certificación de producto

INSPECCIÓN-
VERIFICACIÓN

Personal calificado

¿Qué se requiere de los Sistemas FV's?

Equipos, partes y componentes

Tecnología Fotovoltaica con desempeño eléctrico:
Durable, Confiable y Segura
(certificación)

Inversores con desempeño eléctrico: Durable, Confiable y Seguros **(certificación)**

Integrados con partes y componentes de calidad reconocida **(certificados)**

¡Empresas comercializadoras integradoras con Sistema de Gestión de Calidad Certificado!

Competencias laborales certificadas

Dimensionados de acuerdo al requerimiento del usuario

Diseñados cumpliendo las Normas y Especificaciones Eléctricas Vigentes

Instalación eléctrica FV realizada de manera profesional, sin vicios ocultos, respetando y aplicando las regulaciones existentes

Diseño mecánico-estructural cumpliendo la normatividad correspondiente que garantice larga duración (resilente al clima)

Buenas prácticas...Diseño resiliente

Un **SFV** integrado por equipo, partes y componentes de reconocida calidad (**certificados**) es garantía de que será durable, confiable y seguro.

Un **SFV** diseñado aplicando las regulaciones normativas pertinentes (normas y especificaciones: selección de equipos, partes y componentes), es un sistema que tendrá las características de ser confiable, seguro y de gran durabilidad.

Un **SFV** instalado con los estándares exigidos y en operación, será seguro, confiable y durable; y en consecuencia, es una herramienta de promoción y difusión de buen ejemplo, que de manera indirecta fortalece la comercialización de ellos y crea un mercado sostenible.

3. Causas de falla en SFV bajo huracanes



Fenómenos climáticos que afectan a un SFV

- **Viento: Huracanes, tornados, tormentas**
- **Sismos**
- **Inundaciones**
- **Atmósferas salina**
- **Granizadas**
- **Atmósferas amonicales**



Origenes de las causa de falla

Proceso de diseño, instalación y puesta en operación

Materiales: Tipo de metal, Recubrimientos, Certificación.

Equipo: MFV, Tiempo de vida, Pruebas de desempeño, Garantías, Certificación.

Proceso de Instalación: Documentos, Capacitación, Metodología, Supervisión (calidad).

Personal: Ingeniero de proyecto, Desarrollador, Inspector local, labor de instalación (supervisión)

Ambiente: Viento (velocidad, dirección, ráfagas); Erosión y ensuciamiento; topografía; corrosión, nieve, granizo.

Diseño: Memoria de cálculo eléctrica, memoria de cálculo estructural, espaciamiento, orientación, fijo/seguimiento

Normas: Certificación de productos, Código diseño estructural; Código de edificaciones; código eléctrico

4. Fallas típicas

- Desprendimiento de celdas
- Desprendimiento del laminado del marco
- Daño en el laminado por impacto
- Fallas en los agujeros del marco del MFV
- Tuercas sueltas
- Fallas en las conexiones mecánicas
- Fallas en cascada de los clamps
- Torsión de las estructuras
- Fallas en la estructura debido a resonancia
- Desprendimiento de anclajes
- Fallas en la cimentación
- Erosión
- Corrosión,
- Desprendimiento de cables
- Introducción de agua en las Cajas Combinadoras
- ...

5. Peligros de una instalación FV en techos

En éste tipo de aplicaciones el diseño debe hacerse tal que la instalación no dañe ni debilite el techo

Cuando se trata de la prevención de pérdidas de propiedad, se deben considerar varios factores de riesgo importantes al evaluar este tipo de aplicaciones, tales como:

- Elevación
- Protección contra viento
- Carga del techo
- Resistencia al granizo
- Resistencia a la combustibilidad



Estandares para aplicaciones FV sobre techos

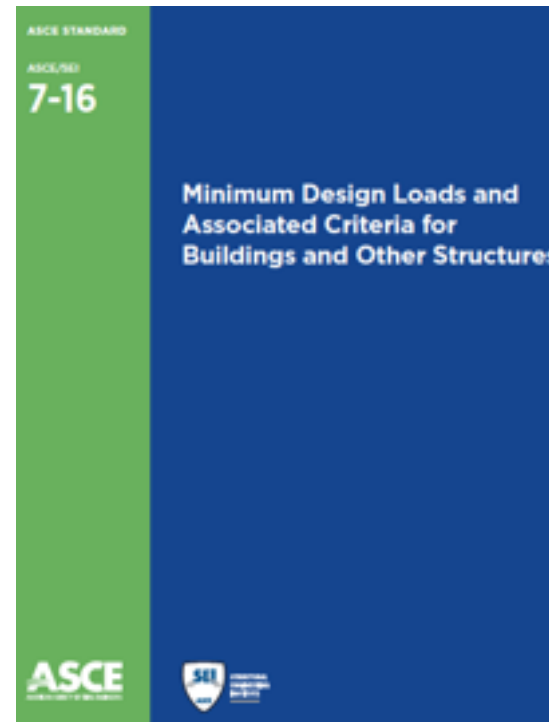
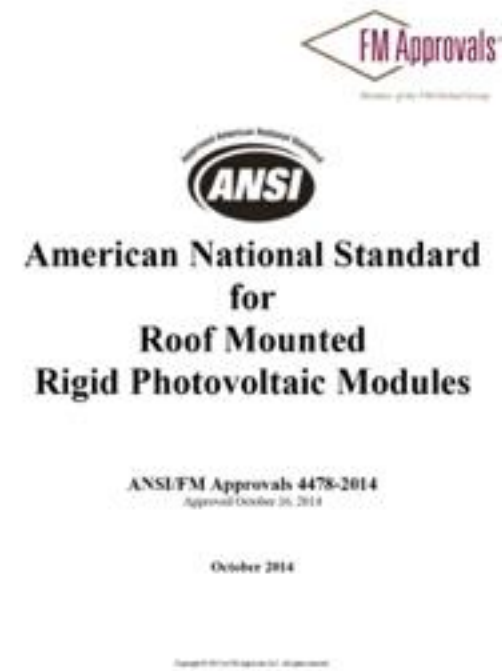
La FM APPROVED ha desarrollado estándares para módulos fotovoltaicos que se usarán en techos.

- Approval Standard 4476 Approval Standard for Flexible Photovoltaic Modules
- Approval Standard 4478, Approval Standard for Rigid Photovoltaic Modules

Las pruebas que deben aprobar los módulos son:

- Combustibility from above the roof deck (ASTM E108)
- Wind uplift resistance
- Hail damage resistance (Approval Standard 4470 y 44473)
- Electrical safety (IEC 617320-2, IEC 61215)
- Seismic resistance
- Windborne debris resistance

Estandar de Referencias



Consideraciones de diseño de SFV para soportar vientos

- El diseño debe cumplir con las normas y códigos eléctricos del país.
- Evaluación de vulnerabilidad a impactos de viento del sitio de instalación.
- Calcular las cargas de viento que debe soportar el arreglo fotovoltaico.
- Calcular y especificar el tipo de cimentación

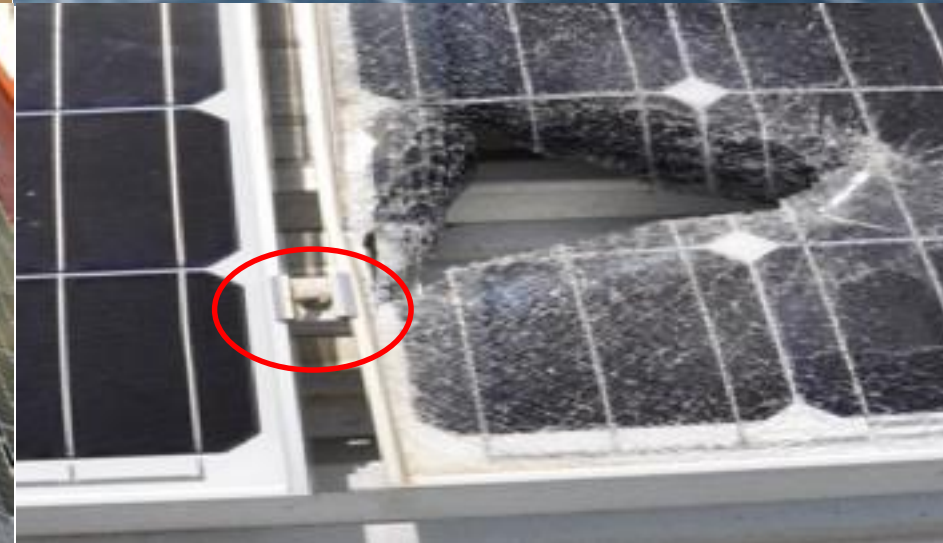


Acciones preventivas y correctivas ante tornados, huracanes

- **Preventivas**
 - Retire los escombros de los desagües del techo, los desagües y las canaletas
 - Retire los objetos sueltos, como cubos, madera y chapas metálicas, del techo y las áreas circundantes
 - Si hay suficiente tiempo, verifique la estanqueidad de las conexiones atornilladas del generador fotovoltaico con una llave dinamométrica.
- **Correctivas**
 - Revise el conjunto fotovoltaico en busca de daños
 - Retire, reemplace o fije temporalmente los paneles sueltos.
 - Revise la cubierta del techo en busca de daños causados por paneles fotovoltaicos transportados por el viento u otros residuos.

NOTA: Se recomienda que estas acciones se han realizadas por personal calificado.

Daños por viento



Riesgos de inundaciones



6. Recomendaciones para el diseño de SFV resilientes

a) Selección del MFV y montaje

- Especifique módulos fotovoltaicos certificados con cargas de viento de 2,400 Pa basados en cálculos estructurales (Estandar ASTM E1830-15)

MÓDULO	CARGA MINIMA (Pa)	CARGA MÍNIMA (psi)
Carga Frontal (Empuje)	5,400	113
Carga tracera (Estiramiento)	2,400	65



Principales características



Resultados con baja irradiación lumínica:

El avanzado cristal y el texturizado de la superficie de la célula fotovoltaica permiten un resultado excelente en condiciones de baja irradiación lumínica.



Resistencia en condiciones climatológicas adversas:

Certificada para soportar rachas de viento (2.400 Pascal) y cargas de nieve (5.400 Pascal)



Resistencia en condiciones ambientales extremas:

Alta resistencia a la brisa marina y al amoníaco, certificado por TÜV NORD.

En regiones propensas a huracanes, se recomienda que los diseñadores especifiquen paneles solares que tengan un índice de daño de “VSH” (granizo muy severo) por FM 4478.

- Especifique el atornillado de los módulos en lugar de las abrazaderas de arriba hacia abajo o en T, o si se requiere una sujeción superior, use abrazaderas que sujeten los módulos de forma individual o independiente.
- Seleccione MFV con marcos de aluminio que proven el medio de sujeción con 4 tornillos y Especifique el proceso de apriete de la tornillería –torca- usando herramienta calibrada.-Este es un problema de mano de obra y supervisión. Estandar aplicable DIN 65151
- Especifique la manera de bloqueo para el juego tornillo, arandela y tuerca.

b) Selección de la estructura de montaje

- Requiera ingeniería estructural de acuerdo con la norma ASCE 7 (específicamente ASCE 7-16) y las condiciones del sitio, con cálculos precisos de las fuerzas del viento, las reacciones y el diseño de los accesorios (base de montaje en tierra).
- Requerir a un ingeniero estructural que revise las cargas laterales debidas a estructuras y los accesorios eléctricos

- Evite el uso de perfiles tipo “C” o tipo “sombbrero” ya que tienen bajas resistencias y con vientos fuertes tienden a doblarse y torcerse.
- Use elementos metálicos anticorrosivos. Prefiera el uso de acero inoxidable o aluminio en lugar del acero al carbon. Este requiere de tratamientos especiales y mantenimiento periódico contra la corrosion.
- Especifique tornilleria de acero inoxidable grado marino del tipo 316
- No recomiende rastreadores para proyectos en Categoría 4 o zonas de viento superiores.
- Especifique que todo el hardware tenga un tamaño basado en 25 años (o vida útil del proyecto) de corrosión.
- No recomiende ningún tornillo autorroscante. Use siempre tornillo, arandela y tuerca.
- Especifique montajes de suelo de doble inclinación con postes fijos, que reducen significativamente el riesgo de fallas en la cimentación.

c) Diseño de drenajes

- Evite inundaciones de los equipos del BOS instalándolos en la parte más alta de la estructura.
- Permita el desague de azoteas limpiando los drenajes periódicamente
- Las cajas que contengan los dispositivos de seguridad o cajas de paso deben tener hermeticidad NEMA 4R o IP67 o mejor.
- Revise la hermeticidad de las Cajas antes de la presencia de tormentas.
- especifique montajes de suelo de doble inclinación con postes fijos, que reducen significativamente el riesgo de fallas en la cimentación.

d) Barreras contra viento

- Es posible minimizar los efectos de turbulencia que se crean en los perímetros de una instalación FV mediante el uso de barreras o cercas contra el viento. Además, este tipo de protección también sirve de barrera contra los escombros que puede arrastrar y levantar los vientos fuertes

7. Sugerencias que pueden garantizar la resiliencia en un SFV

Antes de la Tormenta/huracán

- Realice un ajuste en el apriete de la tornillería: MFV, estructura, etc.
- Minutos antes del evento climatológico: apague el Sistema (abra todos los interruptores desde “rio arriba” hasta la Caja de Combinación).
- Remueva escombros de los alrededores y amarre fijamente todos los objetos que pueden ser arrastrados y llevados por el viento.

Despues de la Tormenta/huracán

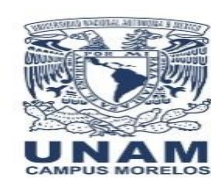
- Seque y limpie todo el Sistema eléctrico
- Reapriete toda la tornillería en MFV y estructura
- Lleve a cabo una prueba electrica de fallas a tierra
- Reemplace las partes dañadas y si no es posible reemplazarlas, aislelas antes de poner en operación el Sistema

8. Referencias

- “Rooftop Solar Panel Attachment: Design, Installation, and Maintenance”; USVI-RA5/August 2018 FEMA
- “Determinación de la Carga por Viento Extremo en Naves con Cubiertas a Dos Aguas”; Pedro A Hernández Delgado y Alejandro Gómez Terciado; *Revista de Arquitectura e Ingeniería. 2015, Vol.9 No.1 ISSN 1990-8830 / RNPS 2125*
- “Solar Under Storm: Select best practices for resilient ground mount PV systems with hurricane exposure”; C. Burges and J Goodman, (2108) Rocky Mountain Institute;
- “Evaluación de Código por Viento, Manual de diseño contra viento, República Dominicana”; Jorge Gutierrez, (2000) Instituto Tecnológico de Santo Domingo;
- “Resilience, Sustainability and Risk Management: A Focus on Energy”; B. McLellan, Qi Zhang, H.Farzaneh, N. A Utama and K N. Ishihara; *Challenges* 2012, 3, 153-182; doi:10.3390/challe3020153
- “Solar Photovoltaic Systems in Hurricanes and Other Severe Weather”; U.S. Department of Energy: Office of ENERGY EFFICIENCY AND RENEWABLE ENERGY; August 2018

NOTA:

Las Fotografías en esta presentación fueron obtenidas de las referencias anteriores, por lo que se agradece a sus autores la disponibilidad libre de ellas en los medios electrónicos.



¡GRACIAS POR SU ATENCIÓN! UNIDAD DE ASISTENCIA FOTOVOLTAICA



Dr. Aarón Sánchez Juárez; M en I Rocío de la Luz Santos
Magdaleno
Investigador Titular C
asj@ier.unam.mx
(+52) 55 5622 9843



