



Riesgos y retos en el desarrollo y ejecución de plantas FV en tejado. Retos para el O&M en Chile. Mantenimiento preventivo, correctivo y predictivo



NAMA Facility



Por encargo de:



Ministerio Federal
de Medio Ambiente, Protección de la Naturaleza,
Obras Públicas y Seguridad Nuclear



Dipl. Ing. Asier Ukar

Agenda

0. Introducción

1. Riesgos y retos en el desarrollo y ejecución de plantas FV
2. Objetivos y requerimientos para una correcta ejecución del O&M
3. Mantenimiento preventivo
4. Mantenimiento correctivo
5. Mantenimiento predictivo

- El O&M puede ser muy bueno pero por sí solo no puede asegurar un performance alto.
- El performance final depende del diseño y de la instalación.
- No sirve de nada tener un buen O&M si la planta (i) no tiene componentes de calidad, (ii) los componentes no están ajustados a las peculiaridades del lugar y (iii) hay fallos de instalación.
- Las fallas durante la fase de O&M pueden por tanto producirse por 4 factores:
 1. Fallos de calidad inherentes al producto
 2. Fallos por falta de idoneidad respecto a las condiciones ambientales
 3. Fallos por instalación inadecuada
 4. Fuerza mayor

Agenda

- 0. Introducción
- 1. Riesgos y retos en el desarrollo y ejecución de plantas FV
- 2. Objetivos y requerimientos para una correcta ejecución del O&M
- 3. Mantenimiento preventivo
- 4. Mantenimiento correctivo
- 5. Mantenimiento predictivo

Ubicación de plantas en altura, un arma de doble filo

- ↓ Disminución de la capacidad aislante del aire obliga a disminuir la tensión de CD a la entrada del inversor para evitar arcos eléctricos
- ↓ Disminución de la potencia a la salida del inversor debido a una evacuación de calor más costosa (baja densidad de aire)
- ↑ La temperatura ambiente disminuye con la altitud
- ↑ Mayor radiación neta sobre la superficie fotovoltaica



Fuente: Arapahoe Basin Ski Area

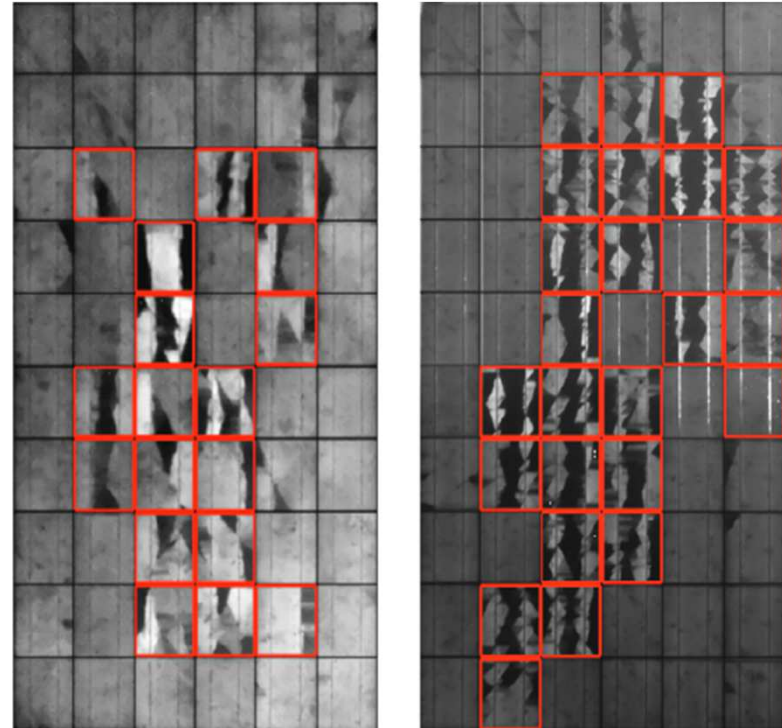
Refrigeración de inversores y transformadores en altura

- Se requiere un mayor consumo energético para evacuar el calor de la sala de inversores
- El espacio entre inversores aumenta, al igual que el espacio entre inversores y paredes
- Se precisa de casetas con más volumen de alojamiento, lo cual implica más costes

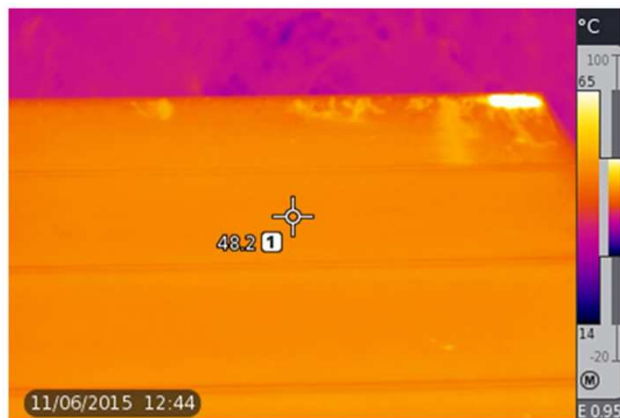


Daños en los módulos durante el transporte

- En ocasiones accesos difíciles a tejados
- Daños en los módulos debido a la falta de preparación de los accesos
- Pérdidas de disponibilidad debido a tiempos de reacción altos



- Las altas temperaturas de operación de los módulos cercanas a los 70°C, convierten el riesgo de *Hot Spots* en un tema central.



Envejecimiento prematuro debido a la combinación de factores climáticos



$\Delta T > 60K$

Salinidad



Abrasión



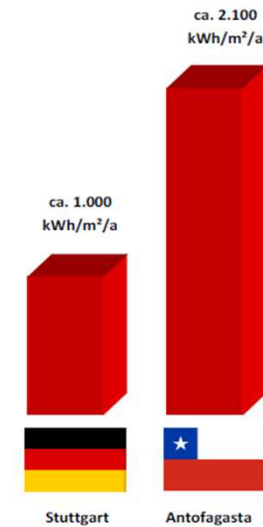
Gradientes térmicos elevados



Radiación alta

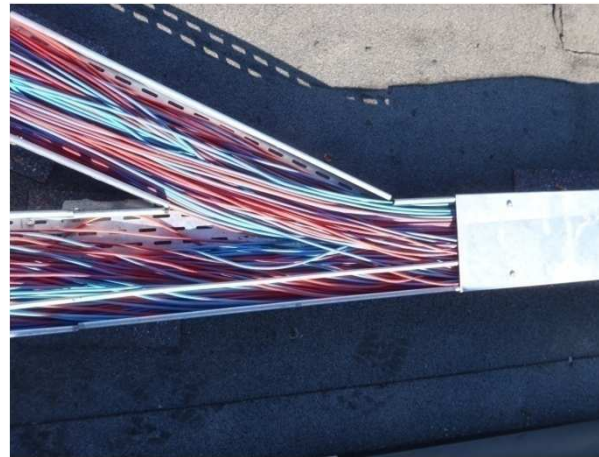


Degradación prematura



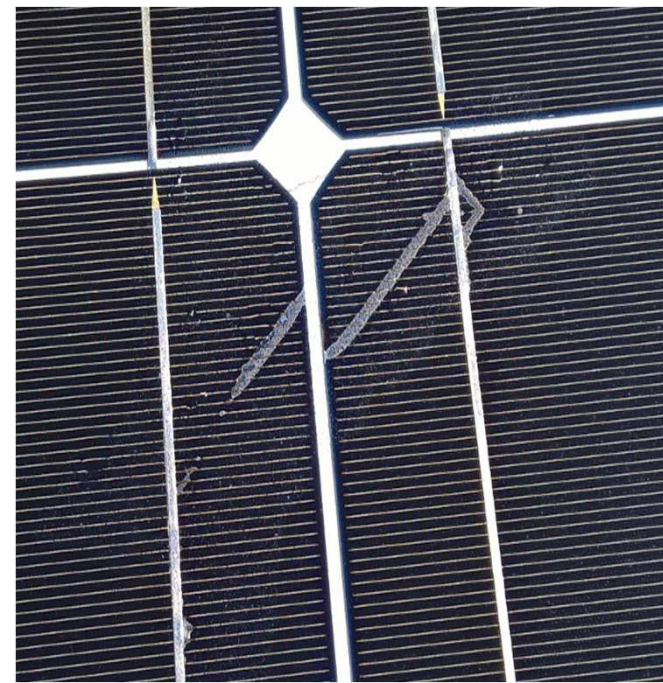
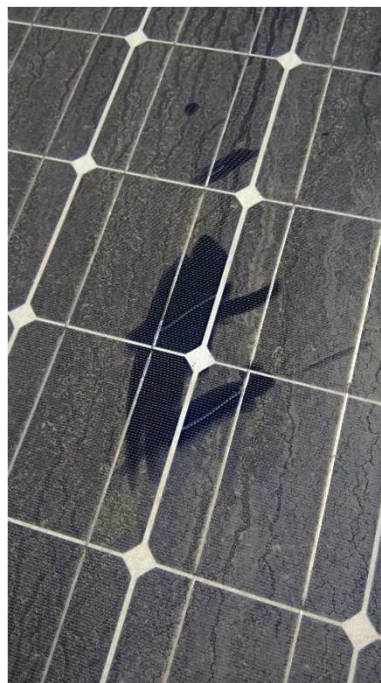
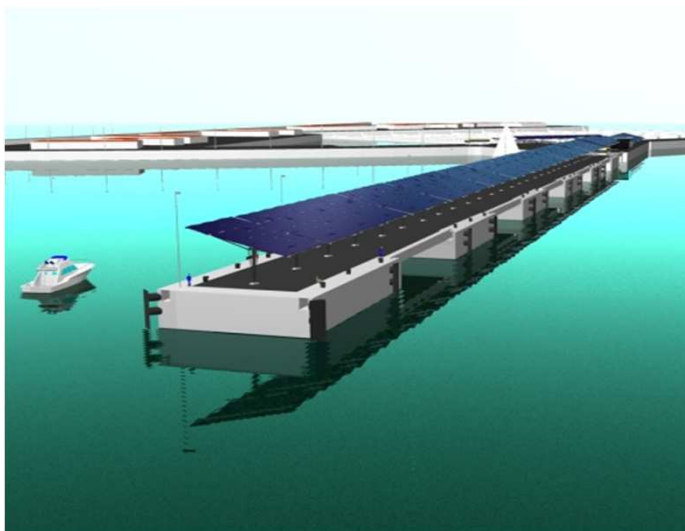
Reducción de la ampacidad

- Debe facilitarse la evacuación de calor procedente de los cables tanto en rejillas de acometida como en cuadros de distribución
- Una carga térmica elevada entre cables disminuye la corriente e incrementa las pérdidas en la conducción



Pérdida de aislamiento en zonas salinas

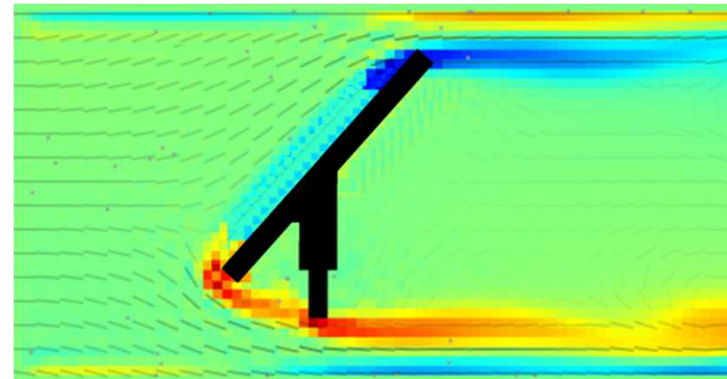
- La salinidad ioniza el aire y aumenta el riesgo de arco eléctrico.



- „Chusca“
- Taponamiento de filtros de refrigeración en las casetas de inversores
- Incremento del rozamiento y desgaste en los engranajes de los sistemas de seguimiento



- Vientos ascendentes
- Drenaje
- Incremento de cargas estáticas y dinámicas

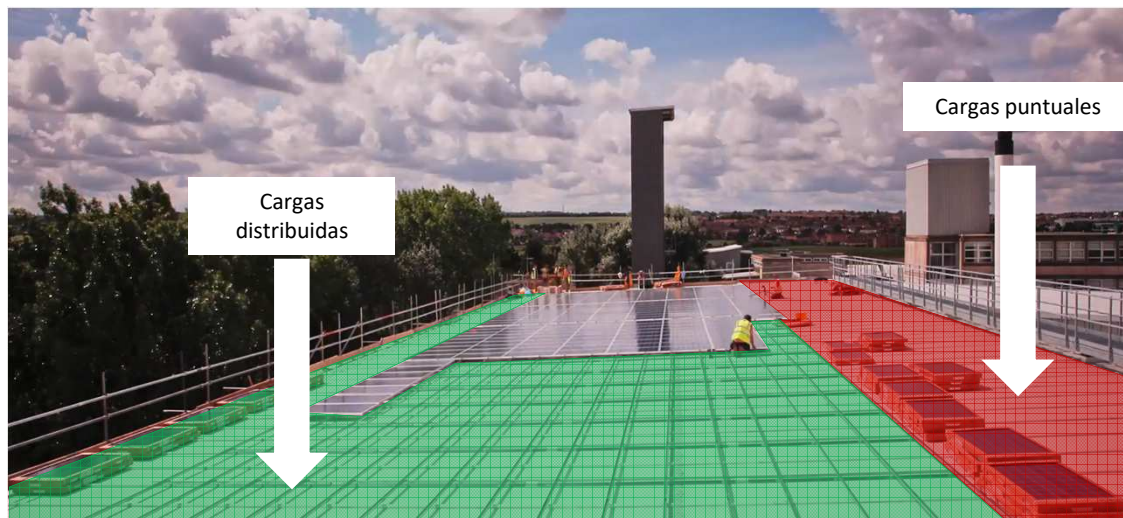


Daños en el tejado durante el O&M

- **Daños en el tejado durante la fase de mantenimiento**, incluyendo daños causados por el tránsito del personal, herramientas u objetos cortantes.



- Debe llevarse a cabo un estudio estático para determinar que las cargas puntuales transitorias no amenazan la integridad estructural del tejado. Esto es particularmente relevante al almacenar pallets de módulos durante campañas de sustitución.

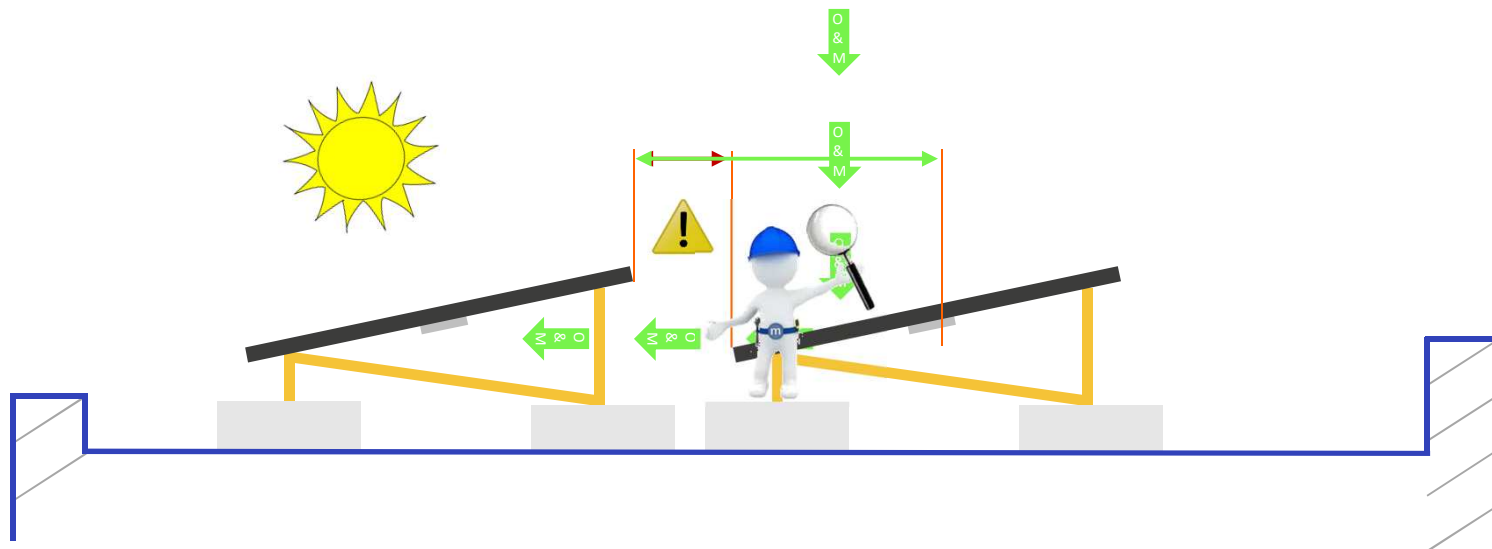


Difícil acceso al tejado

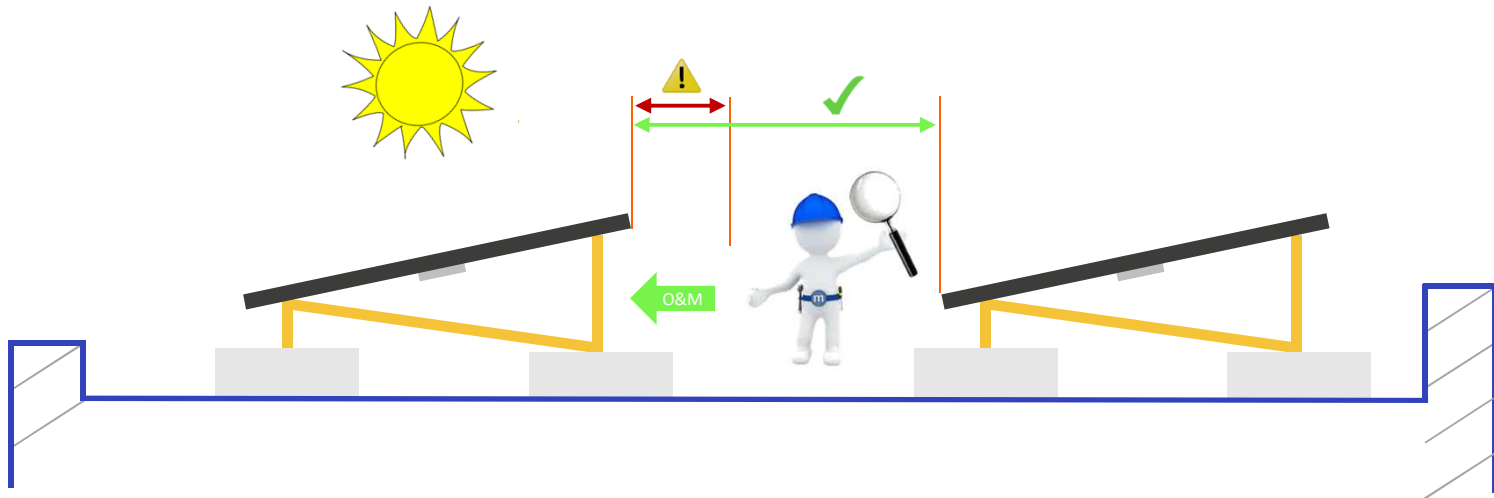
- **Difícil acceso** a los módulos fotovoltaicos durante el O&M



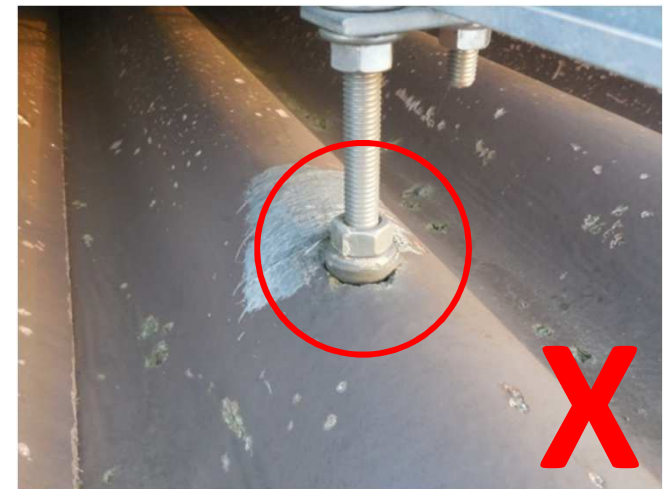
- **Difícil acceso entre las filas de módulos**



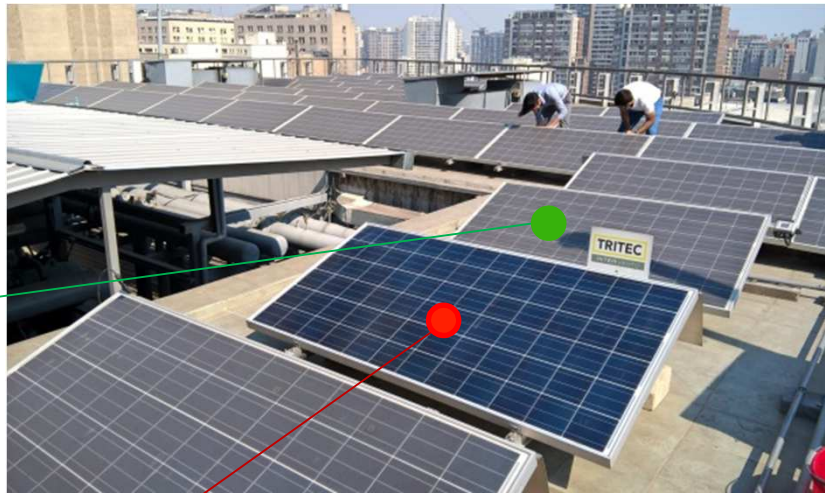
- **Difícil acceso entre las filas de módulos**



- El **sellado incorrecto** del techo después de la penetración es común
- Puede comprometer la impermeabilidad del edificio.



Limpio



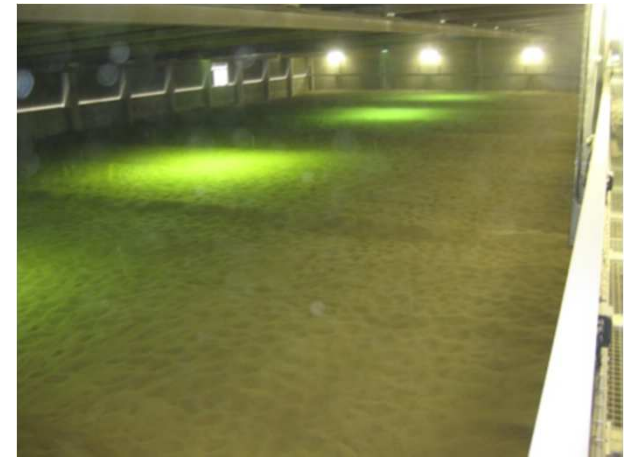
Pérdidas de suciedad del 12%

- **Riesgo de caídas durante O&M**



Envejecimiento prematuro debido a condiciones ambientales agresivas

- Fábricas de productos químicos
- Granjas avícolas, ganadería bovina y porcina

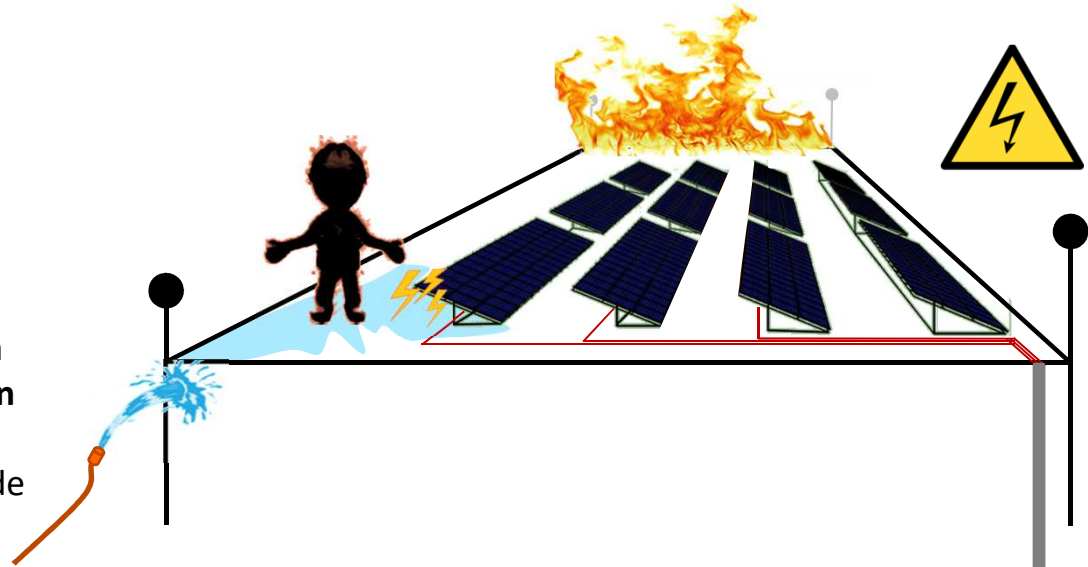


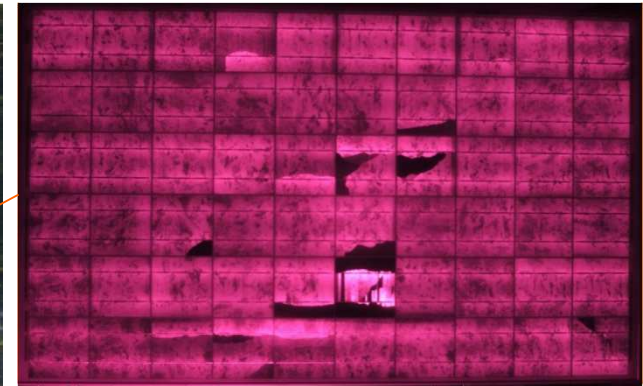
- Formación de arcos eléctricos
- Hojas secas acumuladas bajo los módulos
- El sistema de extinción de incendios no se extiende al tejado
- El riesgo de colapso del techo es mayor debido al debilitamiento estructural con la carga adicional generada por los paneles



Source: Lucas Sadler

- ⚠ La combinación de agua, electricidad y fuego puede resultar letal.
- ⚠ Los planos de diseño de la planta FV deben ser **revisados y aprobados por el departamento local anti-incendios**.
- ⚠ Idealmente, el **diseño** de la planta FV se realizará **en cooperación con el departamento local anti-incendios** para integrar medidas de seguridad

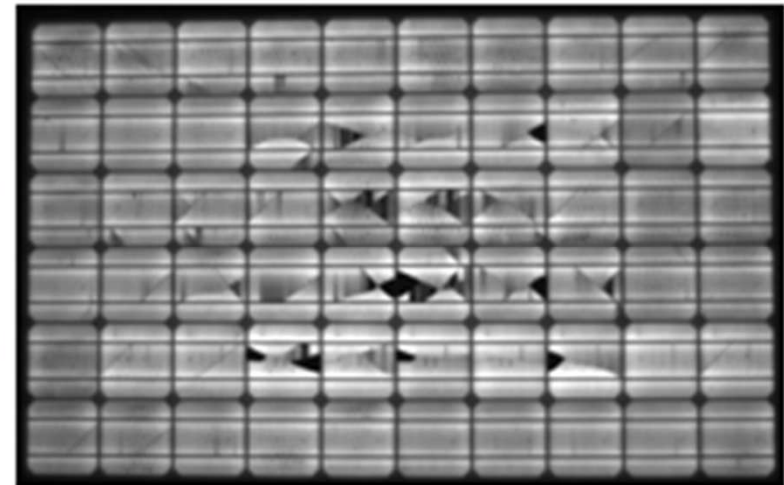




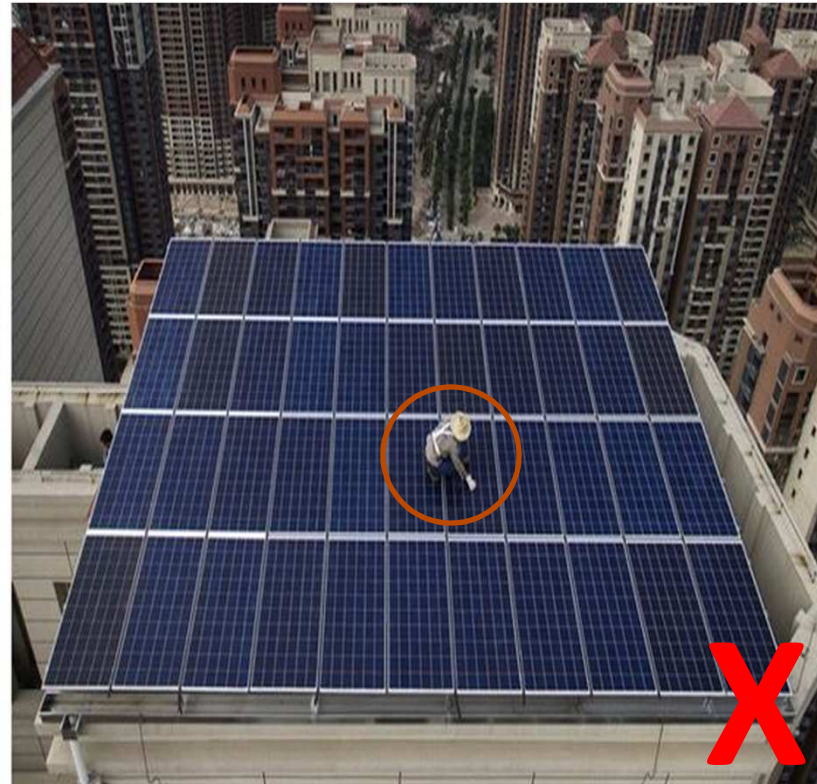
- El maltrato de módulos se da frecuentemente en tejados con difícil acceso



Source: PV Magazine



Maltrato de paneles



Source: NYtimes.com

Dipl. Ing. Asier Ukarr

Maltrato de paneles



Agenda

0. Introducción
1. Riesgos y retos en el desarrollo y ejecución de plantas FV
2. **Objetivos y requerimientos para una correcta ejecución del O&M**
3. Mantenimiento preventivo
4. Mantenimiento correctivo
5. Mantenimiento predictivo

- Los tres propósitos de un plan de O&M se pueden resumir de la siguiente forma:
- Resolución rápida de problemas
- Minimización de fallas
- Informes transparentes y detallados

Requerimientos para un servicio adecuado de O&M: conocimientos y habilidades

1. Seguridad, salud y medio ambiente:

Competencias en los procedimientos de seguridad de la central eléctrica, salud y las regulaciones ambientales

2. Experiencia operativa técnica:

Paneles solares e inversores, sistemas SCADA, sistemas de protección eléctrica, equipos de interrupción eléctricos, transformadores de alta tensión, relés y equipos de prueba

3. Habilidades de supervisión y management :

Planificación del mantenimiento, seguimiento financiero (costos adicionales vs. presupuesto, repuestos), experiencia en la gestión de subcontratos, administración de contratos de mantenimiento, experiencia en la redacción de informes, gran capacidad para centralizar y procesar información importante procedente de varias fuentes

Requerimientos para un servicio adecuado de O&M: conocimientos y habilidades

4. Habilidades de comunicación:

Bien organizada y sensible a todos los modos de comunicación, incluyendo correos electrónicos claros y compactos. Debe mantener relaciones satisfactorias con individuos o grupos de la comunidad, así como con otros miembros de O&M

5. Formación e instrucción:

- a. Ingeniería eléctrica (o equivalente)
- b. Mínimo 5 años de experiencia en la operación y mantenimiento de plantas solares.
- c. Idealmente debe contar con un certificado oficial de competencia
- d. El operador debe ser capaz y tener las facultades para operar cualquier equipo eléctrico necesario en planta.

6. Otros:

- a. Estar preparado para viajar a otros sitios, si la situación lo requiere (también destinos internacionales)
- b. Experiencia en Auto-CAD
- c. Conocimiento de las regulaciones legales, requisitos y directrices que afectan a las actividades llevadas a cabo en el campo solar

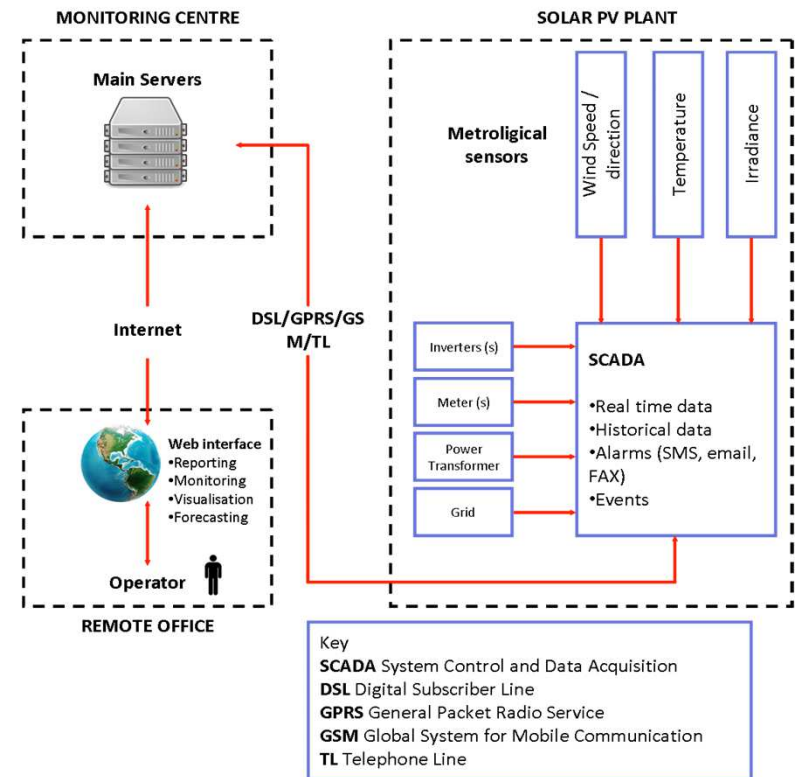
Requerimientos para un servicio adecuado de O&M: equipos

1. Instrumento de medición de curva característica IV para módulos y cadenas
2. Cámara de **infrarrojos** para la detección rápida de fallos en módulos y celdas
3. Equipo de **electroluminiscen** para análisis mas profundo a nivel de celda
4. Multímetro, pinza amperimétrica, etc.



Requerimientos para un servicio adecuado de O&M: SCADA

- Intervalos de medición y archivo de datos: medición cada 5s y archivo en valores medios cada 15 min.
- La disponibilidad del SCADA debe ser superior al 99%



Agenda

0. Introducción
1. Riesgos y retos en el desarrollo y ejecución de plantas FV
2. Objetivos y requerimientos para una correcta ejecución del O&M
3. Mantenimiento preventivo
4. Mantenimiento correctivo
5. Mantenimiento predictivo

- Centrado en todos los subsistemas:
 - Módulos (visual, IR, EL, degradación)
 - Estructura de sujeción
 - Estado del tejado
 - Cables
 - Inversores
 - Transformador
 - Limpieza de paneles
 - Inspección electromecánica de subsistemas (aislamiento, continuidad, respuesta ante fallas, etc.)
- Intervalos y actividades definidas en el contrato de O&M
- Suele ir ajustándose en base a las peculiaridades del lugar



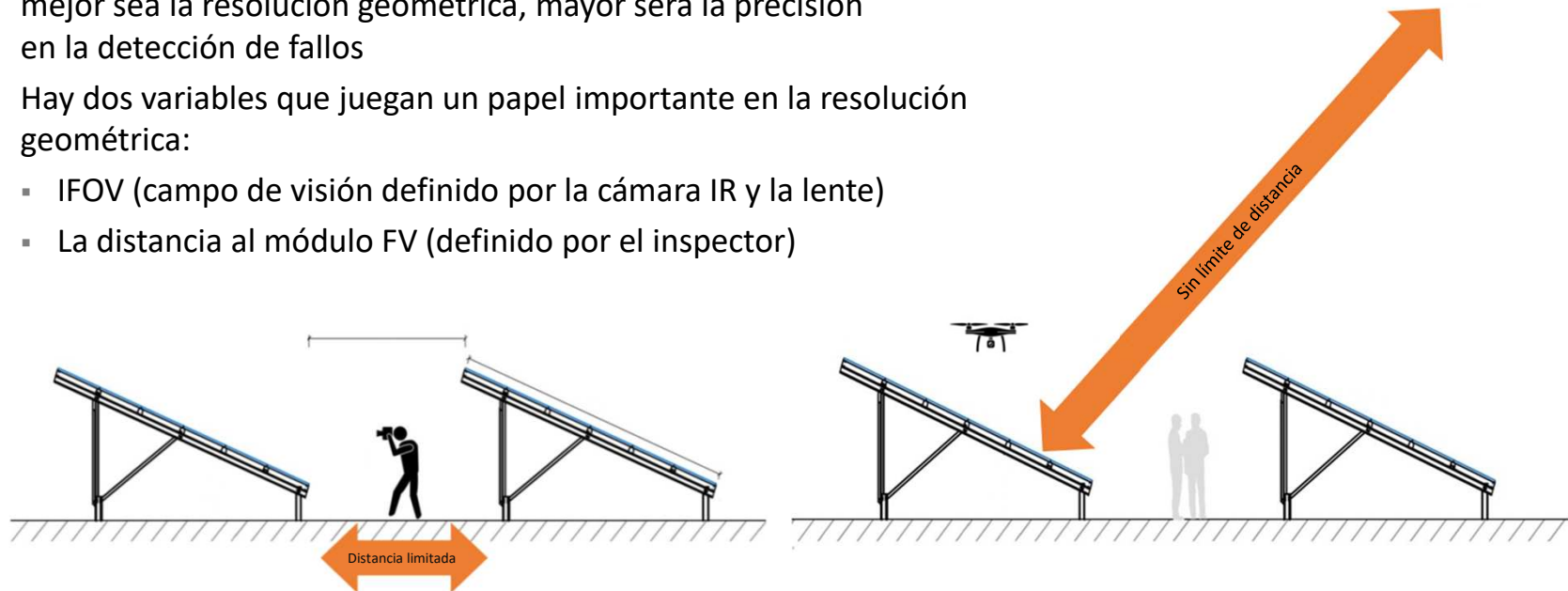


Análisis de infrarrojos

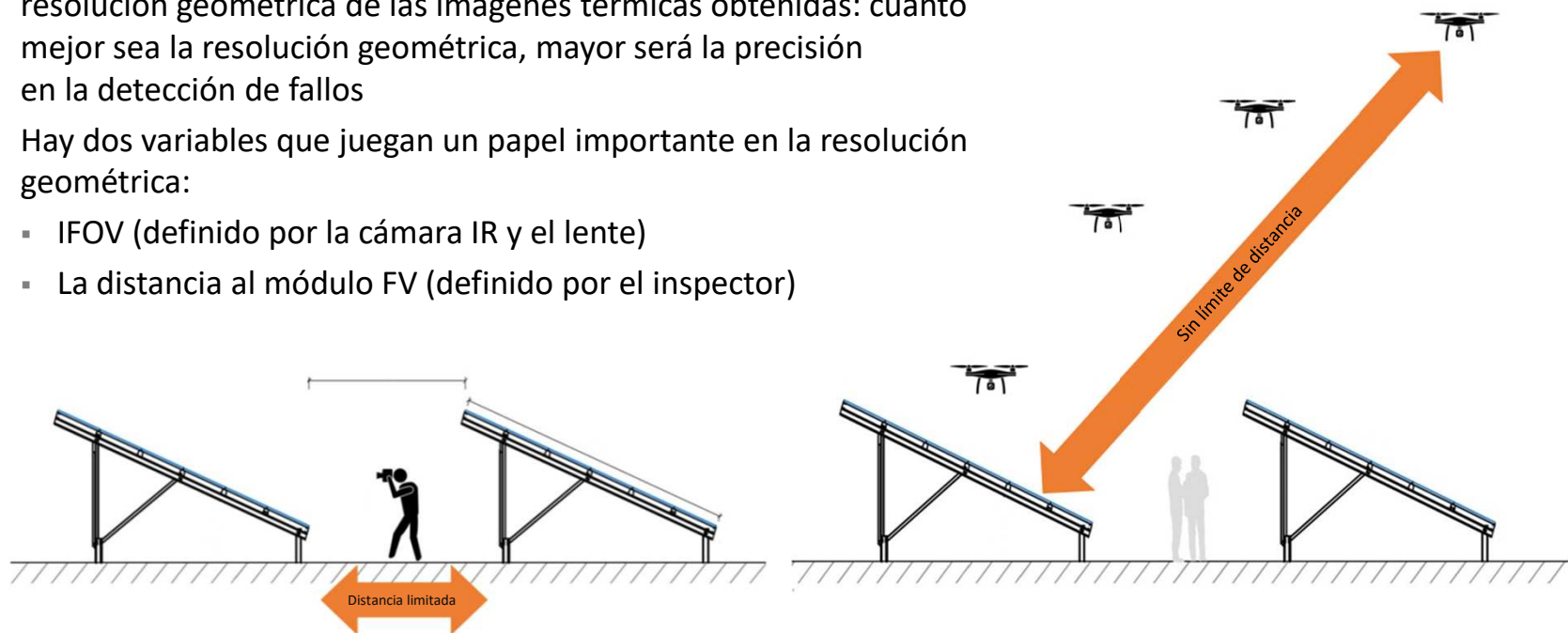
- Inspección manual a nivel del suelo o aérea con aviones no tripulados
- **Motivación:** El difícil acceso y la seguridad de los operarios son dos factores que favorecen el uso de drones.



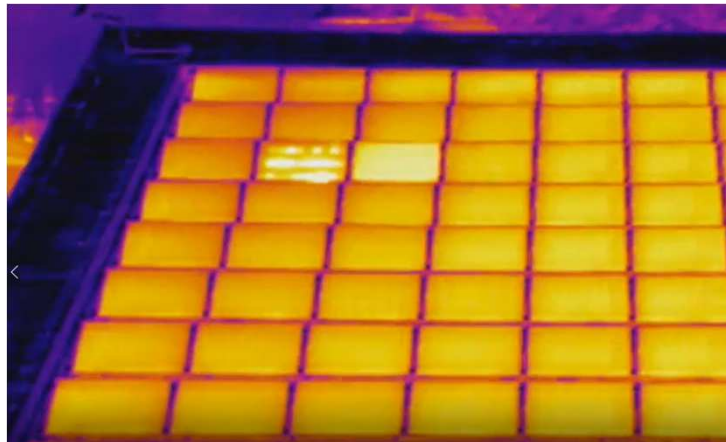
- La precisión en la detección de fallos está directamente relacionada a la resolución geométrica de las imágenes térmicas obtenidas: cuanto mejor sea la resolución geométrica, mayor será la precisión en la detección de fallos
- Hay dos variables que juegan un papel importante en la resolución geométrica:
 - IFOV (campo de visión definido por la cámara IR y la lente)
 - La distancia al módulo FV (definido por el inspector)



- La precisión en la detección de fallos está directamente relacionada a la resolución geométrica de las imágenes térmicas obtenidas: cuanto mejor sea la resolución geométrica, mayor será la precisión en la detección de fallos
- Hay dos variables que juegan un papel importante en la resolución geométrica:
 - IFOV (definido por la cámara IR y el lente)
 - La distancia al módulo FV (definido por el inspector)



- Altura máxima de vuelo sobre los módulos FV con el fin de obtener imágenes térmicas con una resolución de al menos **5x5 píxeles** por celda, con cámara IR Optris PI400/450:



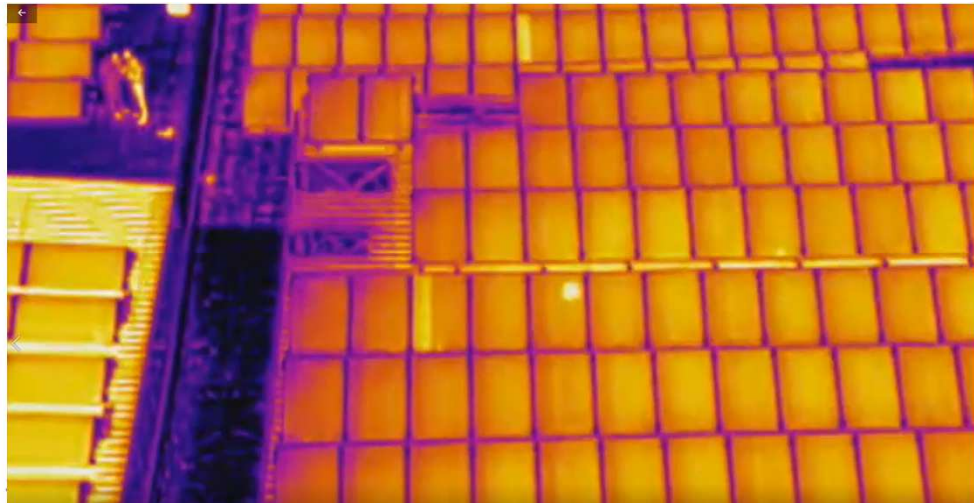
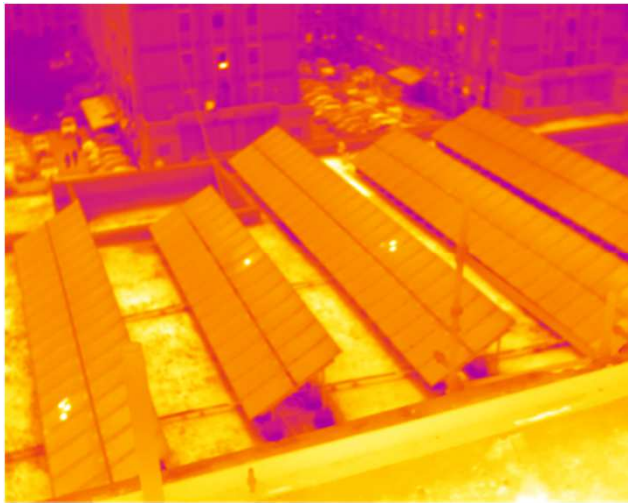
Lente de la cámara IR	Altura máxima de vuelo sobre los módulos FV
13° x 10° FOV / f = 41 mm	49.11 m
38° x 29° FOV / f = 15 mm	16.53 m
62° x 49° FOV / f = 8 mm	9.55 m

Ideal para estructuras de montaje especiales

- Tejados
- FV integrada en edificios (BIPV)
- Marquesinas
- Segunda fachada

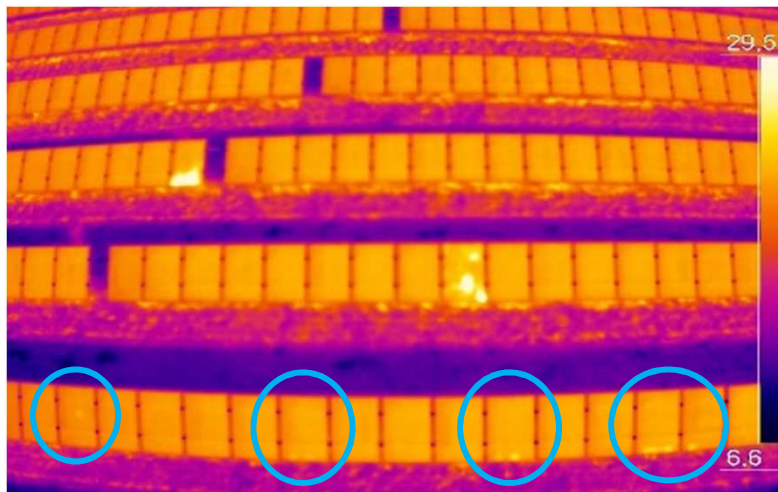


- Algunos fallos en los módulos FV son fáciles de detectar incluso a una altura de vuelo de 30 m
 - Puntos calientes (hot spots)
 - Módulos desconectados
 - Fallos en los diodos

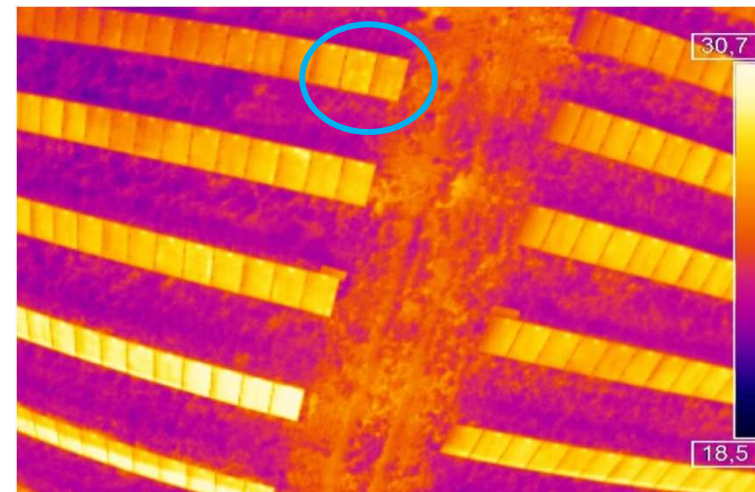


- Otros fallos en los módulos FV son difíciles de detectar si el dron vuela demasiado alto y el gradiente térmico es bajo

Celdas calientes aisladas ($\Delta_T = 3^\circ\text{C}$)

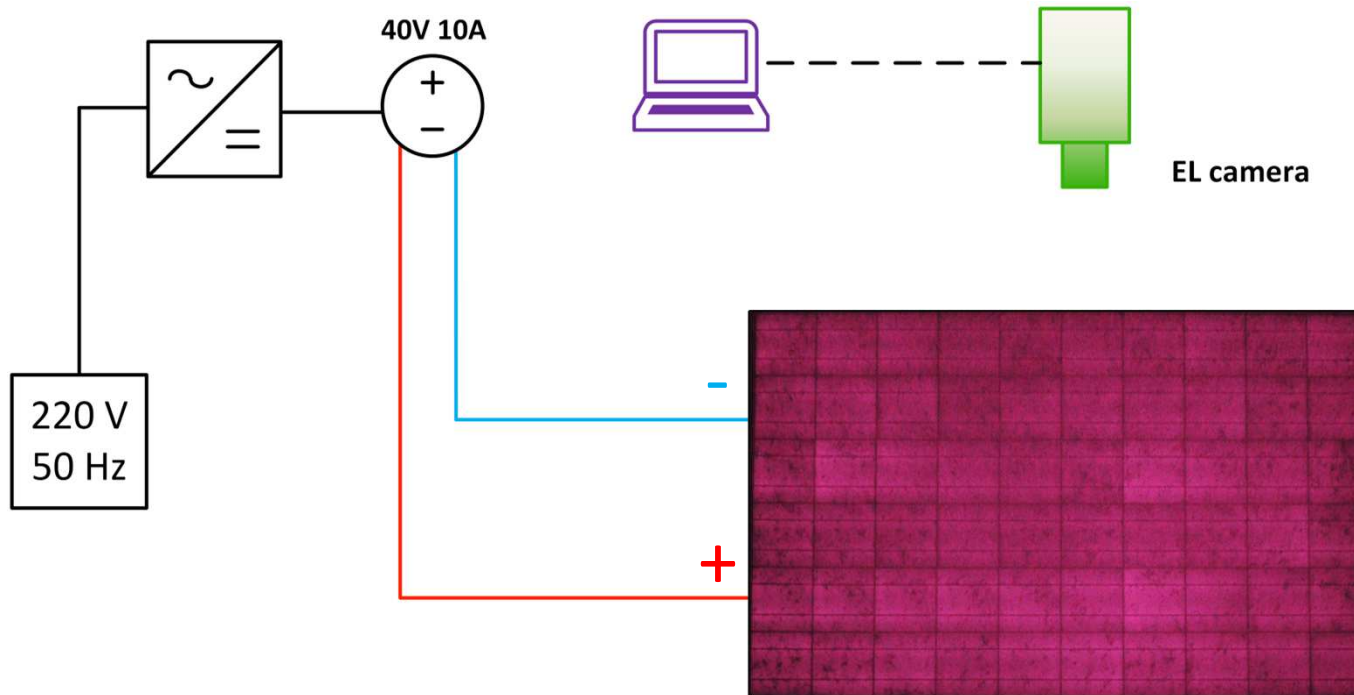


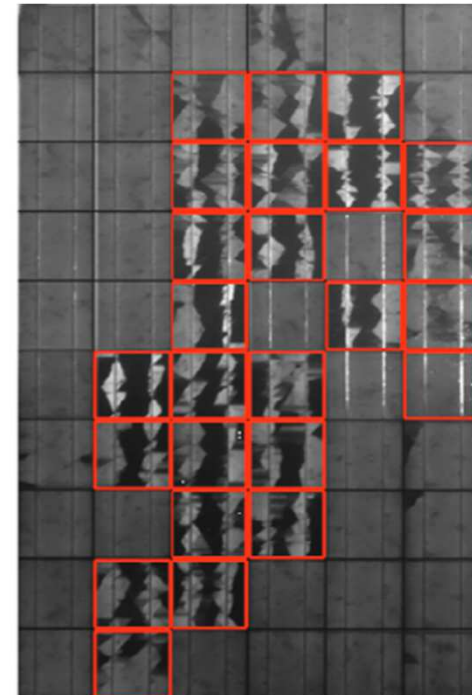
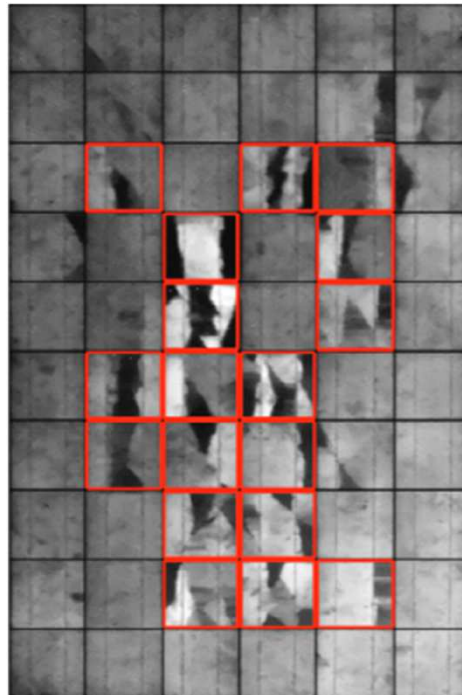
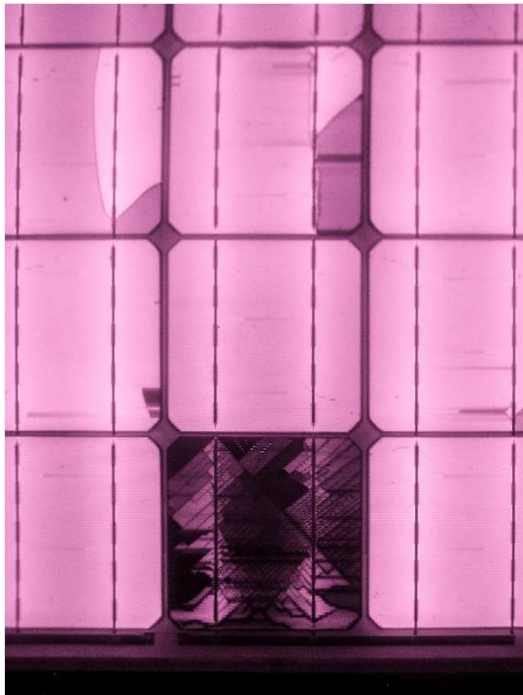
PID



Electroluminiscencia

¿Cómo se utiliza un equipo de EL?





- Evaluación de roturas y microrroturas
- PID
- Strings de celdas inactivos
- Soldadura defectuosa
- Etc.



Agenda

0. Introducción
1. Riesgos y retos en el desarrollo y ejecución de plantas FV
2. Objetivos y requerimientos para una correcta ejecución del O&M
3. Mantenimiento preventivo
4. **Mantenimiento correctivo**
5. Mantenimiento predictivo

- Diagnóstico de fallas o *troubleshooting*
- Sustitución del componente defectuoso
- Restitución de la funcionalidad del sistema o subsistema afectado
- Documentación de la falla
- Seguimiento y monitorización de la falla



1. Localización y delimitación dentro del tiempo establecido por contrato diferenciando entre días laborables y fines de semana
2. Análisis de fallas y empleo de soluciones: Análisis de los datos registrados, prueba de plausibilidad, procesamiento de la historia de la planta
3. Uso de piezas de repuesto



4. Reemplazo / reparación
5. Control y supervisión de las medidas de reparación / sustitución
6. Documentación y seguimiento





Niveles de intervención

- Este nivel de intervención **no requiere la sustitución del componente para restaurar la funcionalidad del sistema afectado.**
- En general, esta medida de mantenimiento correctivo **sólo implica costes de mano** de obra pero no de hardware.
- El dueño asumirá los costes sólo **si la labor correctiva no está incluida en los servicios de O&M** y es necesaria la intervención de un técnico subcontratado.

*Ejemplo: Fallo en el
anemómetro de la estación
meteorológica debido a un
tornillo suelto*

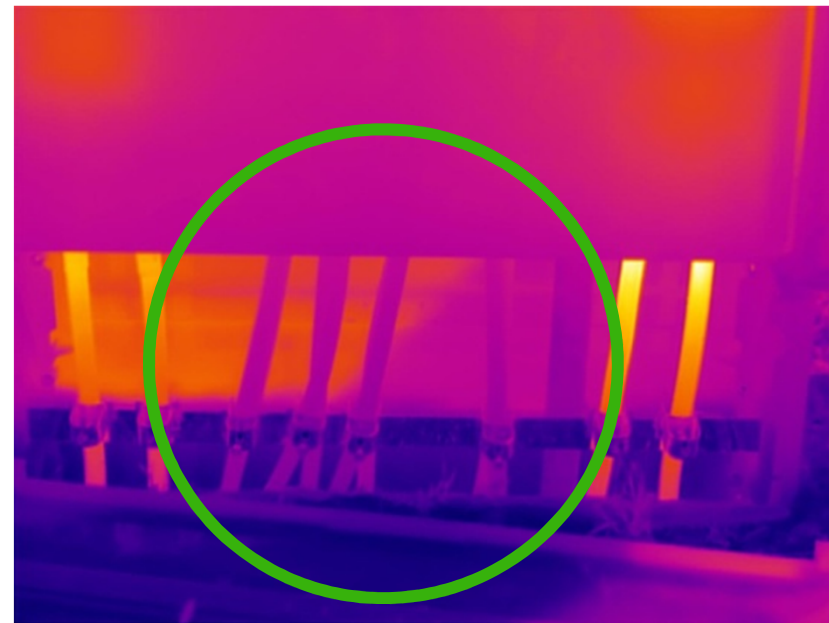
- Este nivel de intervención **requiere la sustitución del componente para restaurar la funcionalidad del sistema afectado.**
- En general, esta medida de mantenimiento correctivo **implica costes de mano de obra y de hardware.**
- El dueño asumirá los costes sólo **si la labor correctiva no está incluida en los servicios de O&M** y es necesaria la intervención de un técnico subcontratado.

Ejemplo: fallo en el inversor debido a un ventilador defectuoso. En el marco del mantenimiento correctivo se sustituirá el ventilador para restaurar la funcionalidad del inversor.

- Este nivel de intervención **requiere la manipulación del software del componente para restaurar la funcionalidad del sistema afectado.**
- En general, esta medida de mantenimiento correctivo **implica costes de hardware y costes de mano de obra.**
- El dueño asumirá los costes sólo si **la labor correctiva no está incluida en los servicios de O&M** y es necesaria la intervención de un técnico subcontratado.

Ejemplo: fallo en el inversor debido a errores en el software debido a problemas de compatibilidad con otros components del sistema

- La velocidad de actuación dependerá de las garantías definidas por contrato.
- Los fallos se clasifican en función de su impacto en la seguridad y rendimiento del sistema.
 - **Clase I:** fallo en el transformador → < 4 h
 - **Clase II:** fallo en una cadena → < 24 h
 - **Clase III:** módulo roto → siguiente visita





Uso y gestión de repuestos

Tipo y cantidad de repuestos. Consideraciones comerciales

- En general, **no se considera económico almacenar piezas de repuesto para todo tipo de fallos** posibles.
- Por ello, antes de comenzar la fase de operación, la empresa de O&M y el dueño de la planta **acordarán un stock mínimo de piezas** de repuesto basado en un análisis costo-efectivo.
- Como regla general, si un componente tiene una frecuencia de fallo **igual o superior a 1 evento por año** y los costes debido a las pérdidas energéticas asociadas son **superiores al coste del propio componente**, entonces se incluirá dicha pieza en el stock.



Tipo y cantidad de repuestos. Consideraciones comerciales

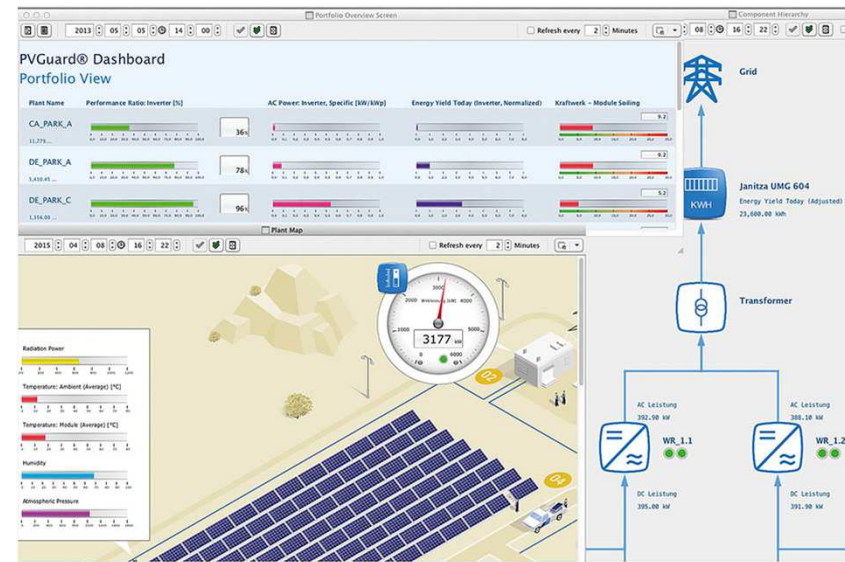
- En general **el dueño de la planta es el encargado de reponer las piezas** cuando éstas se consumen. El O&Mista sólo las gestiona.
- O&Mistas que **han realizado previamente el EPC** en el mismo proyecto o que son los suministradores de los inversores suelen **acceder más fácilmente** a firmar un contrato que incluya los costes de las piezas de repuesto (Schneider Electric, Siemens, etc.)
- Esta situación se da especialmente en aquellos casos en los cuales el EPC confía en la calidad constructiva de la planta y el fabricante de inversores **confía plenamente en la calidad de su producto**.



Agenda

0. Introducción
1. Riesgos y retos en el desarrollo y ejecución de plantas FV
2. Objetivos y requerimientos para una correcta ejecución del O&M
3. Mantenimiento preventivo
4. Mantenimiento correctivo
5. **Mantenimiento predictivo**

- El mantenimiento predictivo se lleva a cabo mediante un algoritmo de predicción **basado en el análisis y evaluación de todos los parámetros significativos** de los sensores instalados
- Los componentes instalados en planta deben proporcionar información sobre su estado de manera que el O&Mista **pueda evaluar tendencias o eventos que apunten hacia una deterioración** del rendimiento de dicho componente.
- Para ello se evaluarán datos históricos desde el comienzo de la operación de la planta.



- Los **fabricantes de inversores están comenzando a integrar** sistemas de adquisición de datos en sus productos.
- Mediante el SCADA clásico, se está llevando a cabo un proceso de adquisición y almacenamiento de datos que constituye una buena base para implementar **sistemas *big data* orientados al mantenimiento predictivo.**
- Se espera que en pocos años **el mantenimiento predictivo sea parte de los contratos de O&M.**
- Se requieren generalmente **al menos 6** meses de datos históricos para poder llevar a cabo un mantenimiento predictivo de un componente específico

Ejemplos de aplicación

Ejemplo 1:

Fallo en los paneles FV por acumulación de calor. Para ello se monitorearán en paralelo las filas más y menos expuestas a una variación térmica y se intervendrá en el caso en el que los valores de temperatura se acerquen a los valores límite.



Ejemplos de aplicación

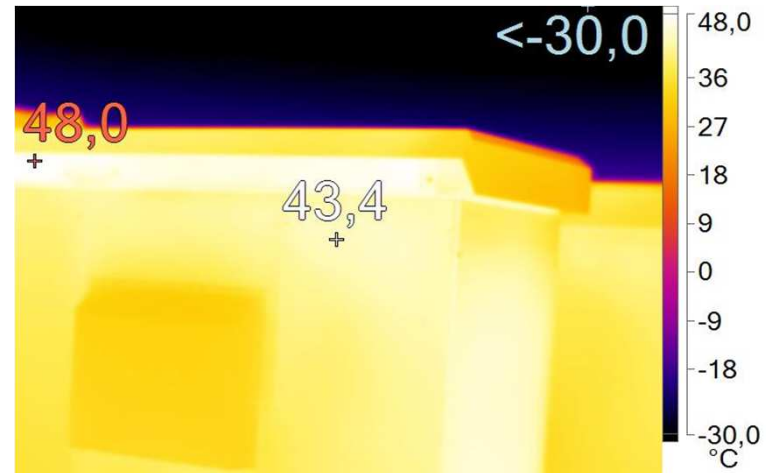
Ejemplo 2:

Monitorización de la temperatura en el transformador e intervención antes de que dicha temperatura alcance los valores límite del fabricante. Para ello se monitorearán y compararán las temperaturas de todos los transformadores y se fijará un valor límite para la intervención inferior al valor límite del fabricante. Este sistema es particularmente efectivo para transformadores en seco instalados en cubículos mal ventilados y ubicados en zonas áridas con gran acumulación de polvo.



Ejemplo 3:

Inspección del caudal de entrada/salida de la sala de inversores y sustitución de los ventiladores y filtros antes de que la mala ventilación desemboque en un fallo de sobretemperatura.



- **Optimización de la seguridad y funcionalidad** de los equipos y subsistemas a lo largo del ciclo vital de la planta.
- **Anticipación de actividades de mantenimiento** (tanto correctivas como preventivas)
- **Retraso, eliminación y/o optimización de ciertas labores** de mantenimiento
- **Reducción de tiempos de sustitución**
- **Reducción de costes** de sustitución (piezas de repuesto)
- **Aumento de la disponibilidad**, rendimiento y producción de la planta
- **Reducción de emergencias** y actividades no contempladas



NAMA Facility



Por encargo de:



Ministerio Federal
de Medio Ambiente, Protección de la Naturaleza,
Obras Públicas y Seguridad Nuclear

de la República Federal de Alemania

giz Deutsche Gesellschaft
für Internationale
Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Gracias por su atención.

Dipl.-Ing. Asier Ukar
Senior Consultant

PI Photovoltaik-Institut Berlin AG
Wrangelstr. 100
10997 Berlin, Germany

phone: +49 (30) 8145264-402
cell-phone: +49 1777 44 7551
fax: +49 (30) 8145264-101
email: ukar@pi-berlin.com
web: www.pi-berlin.com

