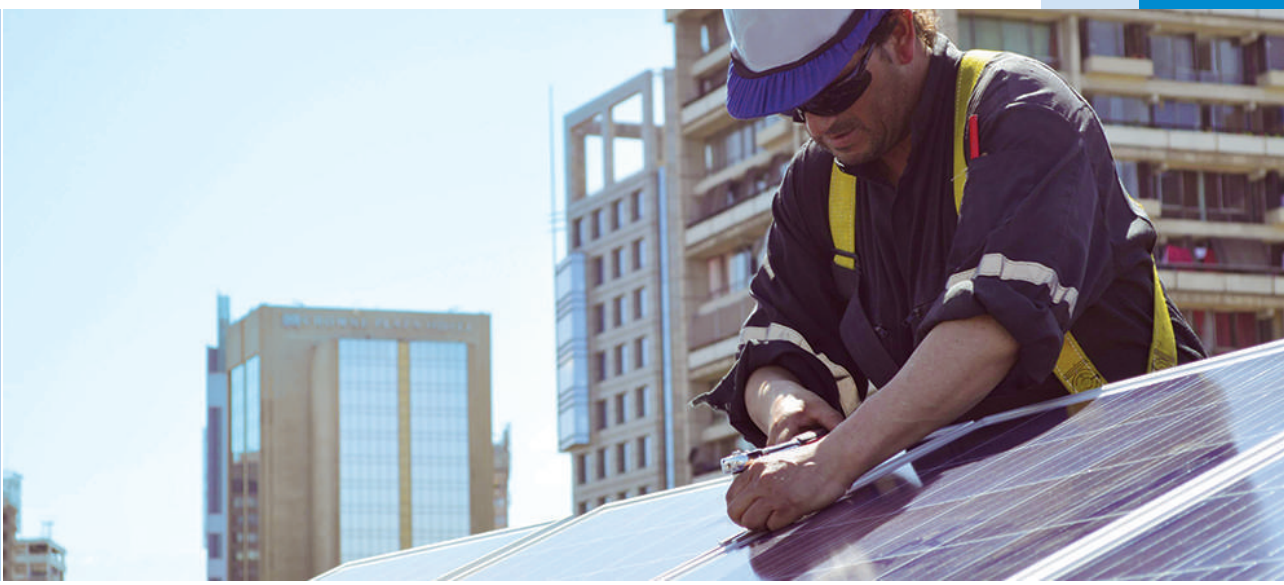
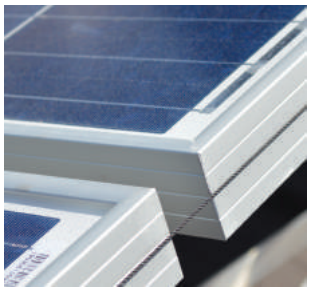
Ministerio de Energía

Gobierno de Chile

Guía de operación y mantenimiento de sistemas fotovoltaicos

PROGRAMA TECHOS SOLARES PÚBLICOS





giz Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Por encargo de:

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

de la República Federal de Alemania

Nombre del proyecto:
Proyecto Energía Solar para la Generación de Electricidad y Calor
Marchant Pereira 150
7500654 Providencia
Santiago • Chile
T +56 22 30 68 600
I www.giz.de

Responsable:
Matthias Grandel

Título:
Guía de Operación y Mantenimiento de Sistemas Fotovoltaicos

Autores:
Daniel Almarza, Asesor GIZ Chile

Javier Hernandez Venegas, Fiscalizador, División de Ingeniería Eléctrica, Superintendencia de Electricidad y Combustibles

Guillermo Soto Olea, Encargado Programa Techos Solares Públicos, División Energías Renovables, Ministerio Energía

Christian Santana Oyarzún, Jefe de División, División Energías Renovables, Ministerio Energía

Aclaración

Esta publicación ha sido preparada por encargo del proyecto "Energía Solar para la Generación de Electricidad y Calor" implementado por el Ministerio de Energía y Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH en el marco de la cooperación intergubernamental entre Chile y Alemania. El proyecto se financia a través de la Iniciativa Internacional para la Protección del Clima (IKI) del Ministerio Federal de Medio Ambiente, Protección de la Naturaleza, Obras Públicas y Seguridad Nuclear (BMUB). Sin perjuicio de ello, las conclusiones y opiniones de los autores no necesariamente reflejan la posición del Gobierno de Chile o de GIZ. Además, cualquier referencia a una empresa, producto, marca, fabricante u otro similar en ningún caso constituye una recomendación por parte del Gobierno de Chile o de GIZ.

Versión de Septiembre 2016, Santiago de Chile

01

Guía de operación y mantenimiento de sistemas fotovoltaicos

PROGRAMA TECHOS SOLARES PÚBLICOS

Septiembre 2016

02

Contenido

1. INTRODUCCIÓN 4

1.1 El Programa Techos Solares Públicos (PTSP) y la Guía Operación y Mantenimiento (O&M) 4
1.2 Objetivos 5
1.3 Componentes de Sistemas Fotovoltaicos 5
1.4 Breve Historia 8
1.5 Beneficios del Mantenimiento 9

2. PRERREQUISITOS PARA EL MANTENIMIENTO 11

2.1 ¿Planificando para el Rendimiento de la Instalación? 11
2.2 Documentación 12
2.3 Garantías 14

3. ASPECTOS DE SEGURIDAD 16

3.1 Seguridad Eléctrica 16
3.1.1 Espacios de trabajo alrededor de sistemas eléctricos 17
3.1.2 Inversores y Módulos FV 18
3.1.3 Requisitos de identificación y marcado 18
3.1.4. Riesgo eléctrico y mitigación 19
3.1.5. Falla a tierra 20

3.2 Seguridad laboral en la altura / Protección anticaídas 21
3.3 Herramientas Manuales y Eléctricas 25
3.4 Equipos de Proteccion Personal (EPP) 25

4. EL PLAN DE MANTENIMIENTO 27

4.1 Mantenimiento Preventivo 29
4.1.1 Módulos 30
4.1.2 Inversor 34
4.2 Mantenimiento Correctivo 37
4.2.1 Fallas Típicas 37
4.2.2 Inversor 38
4.2.3 Módulos FV 39
4.2.4 Cableado y conexiones 47
4.2.5 Estructura de Montaje 49
4.2.6 Diagnósticos y Pruebas 49
4.3 Mantenimiento Predictivo 51
4.3.1 Monitoreo 51
4.3.2. Ahorros y Costos en O&M 55
4.3.3. Cálculo de Ahorro a Partir de Datos Reales 55
4.3.4. Costos por Limpieza 58
4.4 Requerimientos para Contratistas 58

5. DIFUSIÓN PÚBLICA 61

5.1 Cálculo de Equivalencias en Consumo Energético 61
5.2 Cálculo de Reducción de Gases de Efecto Invernadero (GEI) 62
5.3 Formas de Difusión Pública 63

6. RECURSOS ADICIONALES 66

6.1 Energía Fotovoltaica 66
6.2 Marco Regulatorio y Normativa 66
6.3 Aspectos de Seguridad 66

7. REFERENCIAS 67

8. ANEXOS 69

8.1 Anexo A: Descripción de Actividades de Gestión Activos de O&M Sistemas FV 69
8.2 Anexo B: Descripción de Servicios y Calificación de O&M de Sistemas FV 70
8.3 Anexo C: Descripción de Actividades de Mantenimiento Preventivo 71
8.4 Anexo D: Descripción de Actividades de Mantenimiento Correctivo 74

1. Introducción

1.1 EL PROGRAMA TECHOS SOLARES PÚBLICOS (PTSP) Y LA GUÍA DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO (O&M)

El PTSP está orientado a instalar sistemas fotovoltaicos (FV) en edificios públicos con el objeto de contribuir a la maduración del mercado FV para el autoconsumo[1], en el marco de ley 20.571 para la generación distribuida.

Esta guía se ha preparado para las instituciones públicas beneficiarias del PTSP, así como a otros interesados, con el propósito de orientar y sugeririr las principales tarea y estrategias de operación y mantenimiento para asegurar una operación segura, alta disponibilidad y un alto rendimiento en las instalaciones fotovoltaicas.

Desde el punto de vista del mantenimiento, se busca maximizar la generación de energía, evitar los tiempos de inactividad, disminuir las fallas, evitar fallas más costosas y aumentar la vida útil de la planta fotovoltaica. Aunque esta funciona automáticamente, un mantenimiento regular es una tarea indispensable para los sistemas FV. Una instalación fotovoltaica puede tener buenos equipos instalados, pero sin un programa de mantenimiento regular y adecuado al sitio, no se pueden garantizar la funcionalidad de los sistemas, la seguridad y confiabilidad.

El Plan de Mantenimiento (PM) que se debe realizar a cada sistema FV depende de su contexto operacional, es decir, de las condiciones ambientales del lugar,

1
Para más información del programa puede revisar el siguiente enlace:
http://www.minenergia.cl/techossolares/

los equipos utilizados y el lugar de instalación. Es difícil proponer un PM que sea solución única para todos los proyectos que se instalen. Sin embargo, existen buenas prácticas de O&M en común que aplican a una amplia variedad de proyectos. Por esta razón, esta guía se ha elaborado en base a una recopilación de las mejores prácticas nacionales e internacionales de O&M para sistemas FV. Como tal, debe ser entendida como una ayuda que establece prácticas razonables, sugerencias y recomendaciones de O&M para proyectos entre 10 y 100 kW, y debe ser usada por personal previamente capacitado en sistemas FV conectados a la red.

Este documento se ha organizado de la siguiente manera: En la primera sección se presenta un contexto general sobre sistemas FV y una breve historia y beneficios de la O&M. En la segunda sección, se describen los principales prerrequisitos para un plan de mantenimiento exitoso. En la tercera parte, se ilustra uno de los aspectos más importantes en un plan de O&M de sistemas FV, la seguridad. En la cuarta parte, se explican en detalle los tipos de mantenimiento para un sistema FV: mantenimiento preventivo, mantenimiento correctivo y mantenimiento predictivo. Finalmente, se plantean estimaciones de costos de O&M, ahorros y algunas maneras apropiadas de difundir los resultados.

1.2 OBJETIVOS

Esta Guía de O&M de Sistemas FV está confeccionada para que el lector comprenda los siguientes aspectos críticos de la O&M de sistemas FV y pueda solucionarlos en las plantas que tiene instaladas.

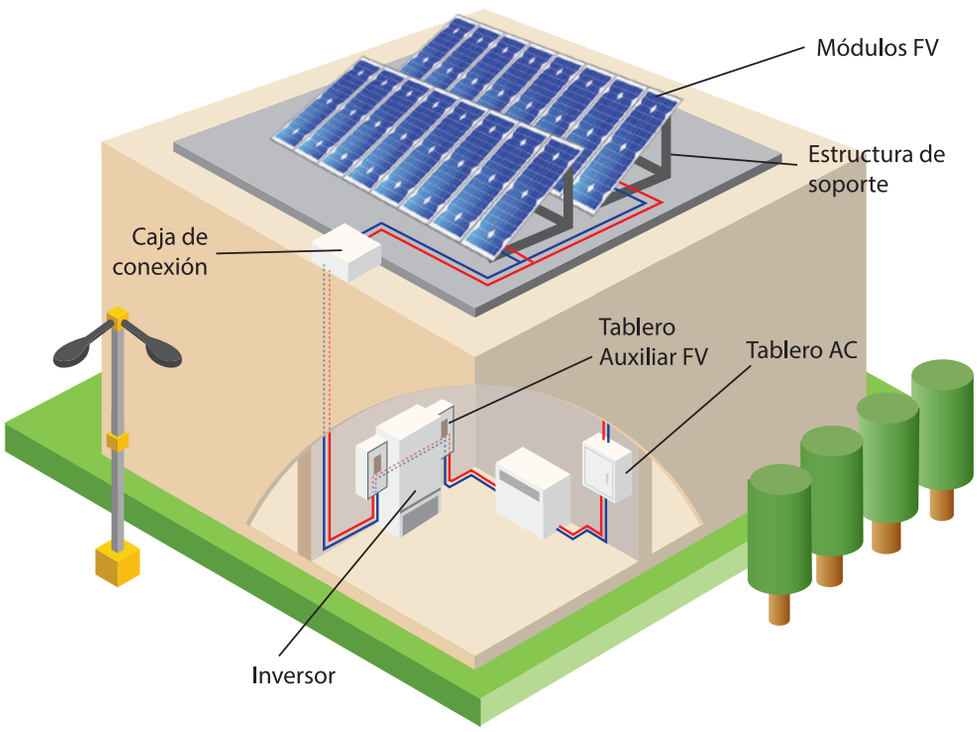
- Evaluar aspectos críticos de los equipos y componentes de los sistemas, para planificar un completo plan de O&M.
- Identificar las actividades de mantenimiento preventivo regulares y su frecuencia de ejecución.
- Identificar fallas, llevar un registro de éstas y abordarlas con un mantenimiento correctivo.
- Diagnosticar y evaluar los parámetros de funcionamiento de la planta FV en un plan de inspecciones, de manera de evitar la ocurrencia de fallas.
- Determinar y seguir prácticas de seguridad probadas en la ejecución del mantenimiento. Entender las capacidades requeridas y competencias profesionales del personal para realizar trabajos en los sistemas FV.

1.3 COMPONENTES DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Los sistemas FV conectados a la red convierten la energía solar en energía eléctrica, que puede ser utilizada para el consumo propio y, en caso de haber

excedentes, estos pueden ser inyectados a la red eléctrica. Los sistemas FV tienen tres componentes principales: los módulos FV, el inversor y la estructura de soporte de los módulos FV. A continuación, se da una breve descripción de cada uno.

Ilustración 1 Componentes de un sistema fotovoltaico
(Fuente: GIZ Chile)



Módulos fotovoltaicos: los módulos son el principal componente del sistema FV y son los encargados de transformar la energía solar, la luz, en energía eléctrica de corriente continua. Los módulos cristalinos son una tecnología madura y confiable, su vida útil puede sobrepasar los 20 años. En Chile, estos equipos

Ilustración 2 Ejemplo módulos en un sistema FV, Teletón Santiago
(Fuente: Ministerio de Energía)

deben estar autorizados por la Superintendencia de Electricidad y Combustibles (SEC) para ser instalados bajo la ley de generación distribuida. El listado del equipamiento autorizado para ser comercializado y utilizado en Chile se puede encontrar en www.sec.cl.

Inversor: Este equipo electrónico, transforma la corriente continua generada por los módulos fotovoltaicos a corriente alterna para usarlo en el edificio o inyectarlo en la red eléctrica. La calidad y la vida útil de inversores han avanzado rápidamente en cuanto a eficiencia; actualmente son capaces de transformar la energía hasta con un 98% de eficiencia.

Ilustración 3 Inversor de 33 kW (Fuente: Ministerio de Energía)

Estructura de soporte: fija de manera segura los módulos fotovoltaicos al techo del edificio en la orientación e inclinación de diseño determinado. Su diseño depende del tipo de cubierta donde está instalado el sistema. En cubiertas planas, la estructura de soporte debe ser inclinada para buscar maximizar la generación de energía y mejorar la auto limpieza de los módulos (ver ilustración 4). En cubiertas con inclinación, normalmente, la estructura es plana y se instalan los módulos paralelos a la cubierta (ver ilustración 5).

Ilustración 4 Estructura de soporte de módulos fotovoltaicos inclinados. Izquierda: Planta Fotovoltaica Edificio GAM. Derecha: Planta Fotovoltaica lastrada en Ministerio de Energía (Fuente: Ministerio de Energía)

Ilustración 5 Estructura de soporte de módulos FV paralelos al techo (Fuente: Ministerio de Energía)

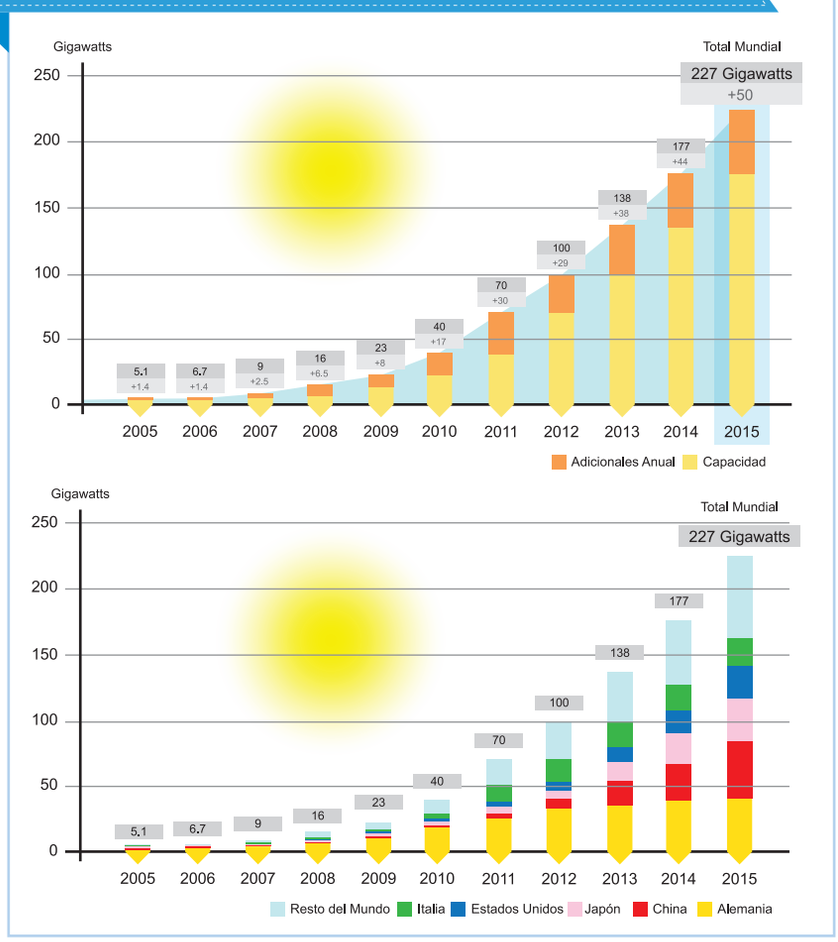
1.4 BREVE HISTORIA

Aunque el efecto fotovoltaico se conoce desde hace mucho tiempo y las primeras aplicaciones datan antes de los años setenta, la tecnología fotovoltaica puede considerarse una tecnología joven si se compara con otras fuentes de generación de energía. Recién en el año 2004 la capacidad instalada superó 1 GW [1]. Sin embargo, en los últimos 10 años, con su reducción de precio, su implementación ha ido aumentando rápidamente, masificando esta tecnología

El desarrollo rápido de esta tecnología a través de investigación, aprendizajes y estándares, ha mejorado velozmente la calidad de los equipos e instalaciones. Una medida de aprendizaje fueron los programas de incentivo "1.000 techos solares" y "100.000 techos solares" en Alemania durante la década de los 90. Con esta cantidad de instalaciones se pudo evaluar los componentes bajo condicio-

nes reales (intemperie) en gran escala. Así empezó la curva de aprendizaje, que continua con el crecimiento mundial. Estas y otras experiencias permitieron mejorar ampliamente la calidad de los componentes y su confiabilidad. Actualmente se puede decir que la mayoría de las fallas no se produce a causa de los componentes sino que están relacionadas con la planificación, diseño, instalación y la mantención [2].

Ilustración 6 Capacidad FV instalada acumulada mundial (arriba)
10 países con mayor capacidad acumulada instalada (abajo) (Fuente: GW)



1.5 BENEFICIOS DEL MANTENIMIENTO

En general los sistemas FV son muy confiables y seguros, y su vida útil puede llegar hasta los 25 años. Sin embargo con el paso del tiempo, el sistema está expuesto a la intemperie con cambios de temperatura, lluvia, tormentas, radiación UV, entre otros. Aunque todos componentes tienen que cumplir los requerimientos normativos para la intemperie, las fallas (por ejemplo, un fusible defectuoso) se pueden presentar. A veces, estas fallas pueden ser reparadas a bajo costo, de lo contrario afectan el rendimiento y los ahorros esperados en la

cuenta de electricidad de manera perceptible. Por tanto cada planta fotovoltaica necesita un mantenimiento eficaz, que puede beneficiar a su institución de tres maneras importantes:

- Mejorar el rendimiento, aumentando la cantidad de energía entregada durante su operación.
- Evitar o, como mínimo, reducir el tiempo inoperativo del sistema, maximizando la disponibilidad de la planta y la energía entregada.
- Aumentar la vida útil de la planta FV.

Por otro lado, se debe considerar que el mantenimiento de la planta fotovoltaica debe ser financiado, y dependerá de las circunstancias de cada beneficiario/-dueño de la instalación para asegurar su implementación. Algunas de las opciones que puede considerar son [3]:

- Usar personal propio capacitado para realizar el mantenimiento.
- Contratar el mantenimiento con la empresa que ejecutó la instalación.
- Contratar a un proveedor de mantenimiento externo.

La ventaja de un contrato de mantenimiento, es que personal calificado de una empresa especialista ejecuta el mantenimiento y emite un reporte del rendimiento, de las actividades realizadas, incluyendo fallas si existieran, y su corrección. Sin embargo, debe existir una contraparte técnica capacitada, capaz de validar dicho plan de mantenimiento y aprobar el trabajo. La desventaja del contrato de mantenimiento es que agrega costos y el conocimeinto no siempre es tranferido al beneficiario/dueño, pero evita el costo de capacitación de un técnico propio. Así, antes de decidir de qué manera se realizará el mantenimiento se debe tener en consideración un análisis de costos y beneficios.

2. Prerrequisitos para el mantenimiento

2.1 PLANIFICANDO PARA EL RENDIMIENTO DE LA INSTALACIÓN

La etapa de O&M no está diseñada para corregir problemas que han ocurrido en el diseño, ingeniería o instalación de un sistema FV. Fallas de este origen deben ser reparados finalmente durante la puesta en marcha. Por lo mismo, es muy importante planificar la O&M desde el diseño de la instalación. A continuación, se muestra en la Ilustración 7, a modo de ejemplo, las etapas de un sistema FV dentro del PTSP y las consideraciones que se han incorporado para un exitoso plan de O&M.

Ilustración 7 Etapas de un S FV en el PTSP (Fuente: GIZ Chile)

Tabla 1 Explicaciones de las etapas del PTSP y las consideraciones realizadas para la O&M

Etapa	Descripción
Elegibilidad	Selección de edificios que cumplan con los criterios técnicos. Estos requerimientos involucran buenas condiciones del techo existente, un área útil homogénea y libre de sombras, buena orientación de los techos, buenas condiciones en la instalación eléctrica interior, disponibilidad de información (planos, memorias) y acceso al techo del inmueble.

(Continuación Tabla 1)

Etapa	Descripción
Diseño	Se establece tamaños de planta, trazados y ubicaciones de equipos a partir de antecedentes disponibles y visitas técnicas a terreno. Se confeccionan informes de factibilidad para el edificio, determinando producción de energía, ahorros esperados y verificando que es factible instalar un sistema fotovoltaico en el inmueble desde el punto de vista eléctrico como estructural.
Licitación	Se realiza a través de un proceso de licitación, en donde se describe el estándar de calidad que deben tener todos los proyectos. Primero, que cumplan con la normativa de la SEC, y que además den garantías de fabricación y rendimiento para los equipos. Además, incluye accesos mediantes escaleras fijas y pasillos técnicos para realizar de manera segura futuras mantenciones. Se solicita que los inversores tengan servicio técnico en Chile. Por último, se solita un sistema de monitoreo independiente para todos los proyectos del PTSP.
Ingeniería	Se solicita que sólo instaladores autorizados por la SEC (Clase A o B) o personas calificadas realicen y sean los responsables de la ingeniería de detalle del proyecto. Una contraparte técnica, revisará dicha ingeniería, asegurándose del cumplimiento de la normativa vigente, verificando memorias explicativas y planos, para subsanar errores de diseño y aprobar la construcción de la planta. Esta etapa puede omitirse para proyectos pequeños y bastará con la revisón de planos y memorias explicativas por parte de la SEC. Adicionalmente, se revisa que se dejen espacios, pasillos técnicos, cuerdas de vida, para la futura mantención de la planta.
Instalación	El contratista debe respetar el plan de trabajo y la ingeniería de detalle aprobada, procurando en todo momento, seguir las instrucciones de instalación de los equipos y sus normativas aplicables. Durante este proceso, se realiza una inspección técnica de obra que permite detectar problemas de instalación.
Puesta en Marcha	Previa a la puesta en marcha, se requiere la declaración del proyecto fotovoltaico ante la SEC. Se aplican los protocolos de puesta en marcha indicados por la misma, que se basan en reconocidas mejoras prácticas internacionales. Se incluye una completa documentación de la planta, según las normas vigentes, para que la planta pueda ser fácilmente entendida por los profesionales que realizarán la mantención.

2.2 DOCUMENTACIÓN

Es muy importante para el personal que realizará el mantenimiento de la planta fotovoltaica, conocer todos los detalles de sus componentes, planificación, diseño e instalación de la misma. Así el personal de mantenimiento podrá encontrar posibles fallas y solucionarlas.

Los requerimientos mínimos de documentación de un sistema FV conectado a red de distribución eléctrica bajo la Ley 20.571, están definidos en el Instructivo técnico RGR N°1 y 2 de la SEC. El instructivo describe los documentos que se deben presentar a la Superintendencia, como también los que tienen que ser entregados al cliente final. La documentación generada por los instaladores es necesaria para el personal que realizará el mantenimiento de la planta.

A continuación un resumen de la documentación requerida según el tamaño del proyecto y que deberá permanecer disponible durante la vida útil del proyecto.

Ilustración 8 Documentación proyectos
(Fuente: GIZ Chile, a partir de RGR Nº1 SEC)

Proyectos de 1 a 10 kW

A	Planos
B	Informe de ensayos y mediciones del generador - Verificación inicial
C	Check list realizado por el instalador

Proyectos mayores de 10 kW y menores o iguales a 30 kW

A	Memoria Explicativa
B	Planos
C	Informe de ensayos y mediciones del generador - Verificación inicial
D	Check list realizado por el instalador

Proyectos mayores a0 kW

A	Memoria Explicativa
B	Memoria de cálculos de estructura
C	Planos
D	Informe de ensayos y mediciones del generador - Verificación inicial
E	Check list realizado por el instalador

Los instructivos técnicos también indican los requisitos mínimos de documentación que deberá tener la memoria explicativa, puesta en marcha e inspección. Esto tiene por objetivo asegurar que el usuario final, cliente, inspector o ingeniero de mantenimiento, tengan a disposición los antecedentes básicos del sistema fotovoltaico. Además se sugiere proporcionar al dueño de la planta la información relacionada con O&M del sistema instalado.

Según los instructivos técnicos, la Información de O&M debe incluir, al menos, los siguientes puntos:

- Procedimiento para verificar la correcta operación del sistema.
- Una lista de comprobación sobre qué hacer en caso de una falla en el sistema.
- Instrucciones de apagado de emergencia.
- Recomendaciones de mantenimiento y limpieza.
- Consideraciones para cualquier trabajo en el edificio que afecte al sistema FV (por ejemplo trabajos en la cubierta del tejado).
- Documentación de garantías de mano de obra o estanqueidad del tejado aplicable.
- Manuales de mantenimiento de los equipos y componentes utilizados.

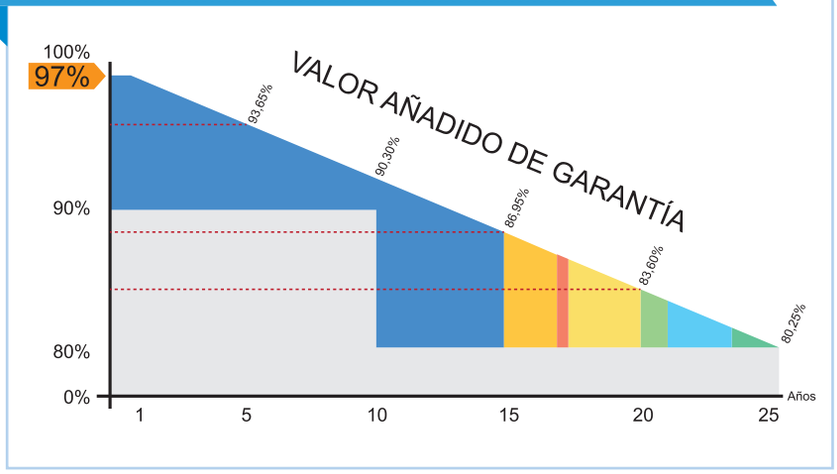
Se aconseja a las instituciones solicitar al desarrollador o ejecutor del proyecto FV la información (digital e impresa) presentada a la SEC y la información de O&M indicada.

2.3 GARANTÍAS

Cuando un sistema FV es construido, el instalador debe proveer las garantías de instalación y equipamiento a la institución mandante para que estén disponibles en caso de falla bajo garantía. Es recomendable leer las distintas garantías para saber que cubren. Si los componentes no fueron instalados según las instrucciones del fabricante o presentan deterioro por intervención de terceros, no se puede utilizar la garantía en caso de falla. A continuación se describen las principales garantías:

- **Garantía de Operación de la planta:** en el marco del Programa Techos Solares Públicos, la planta FV, tiene una garantía de un año por el buen funcionamiento. Dentro de ese plazo el proveedor deberá responder por la correcta operación de la misma.
  - **Garantía de los módulos FV:** los módulos han mejorado mucho en cuanto a su calidad y seguridad. Así, los fabricantes han sido capaces de otorgar garantías extendidas de su fabricación y rendimiento. Hay que diferenciar entre:
  - **Garantía de Fabricación:** todos los módulos que se instalan bajo el PTSP tienen una garantía mayor o igual a 10 años. Esto significa que si un módulo tiene una falla de fábrica debe ser sustituido.
- **Garantía de rendimiento:** los módulos FV cristalinos sufren una pequeña degradación en el tiempo, lo que los lleva cada año a producir un poco menos (0,2 hasta 0,5% de degradación anual), dependiendo del tipo y de la calidad

Ilustración 9 Ejemplo de Garantía de rendimiento mostrada en la hoja de datos de un módulo fotovoltaico (Fuente: GIZ Chile)



del módulo. Sin embargo, todos los módulos que se instalan bajo el PTSP tienen una garantía de potencia de salida, al año 25 después de la puesta en marcha de 80%, igual o superior a la potencia nominal del módulo. A continuación se puede observar un ejemplo de garantía de rendimiento de un módulo FV.

- **Garantía del Inversor:** todos los inversores que se instalan bajo el PTSP tienen una garantía igual o mayor a 5 años. También se recomienda revisar la declaración de garantía del fabricante para saber específicamente qué cubre, cuándo comienza la vigencia de la garantía y bajo qué circunstancia la garantía no puede hacerse efectiva.
- **Estructura:** tiene una garantía respecto de sus materiales; para el PTSP esta garantía es de mínimo 5 años. También es necesaria la información sobre las causales de garantía para cada fabricante, ya que muchos fabricantes proporcionan 10 o 20 años en garantía de materiales.

3. Aspectos de seguridad

La seguridad es una de las áreas más importantes en el mantenimiento de sistemas FV. En el caso de plantas solares en techos hay dos aspectos para tener en consideración: la seguridad eléctrica y la seguridad durante las actividades de montaje y mantenimiento en altura.

3.1 SEGURIDAD ELÉCTRICA

En cualquier tipo de instalaciones eléctricas, como es el caso de una instalación fotovoltaica, se deben tener en consideración los riesgos eléctricos al momento de efectuar las tareas propias de mantenimiento. A continuación, se presentan las principales riesgos y medidas de seguridad que se deben implementar para realizar un mantenimiento seguro.

Es importante mencionar, que no seguir la normativa vigente puede resultar en accidentes o lesiones del personal (o usuario), como también en daños a la propiedad.

Dentro de los riesgos se destacan:

- Choque eléctrico y electrocución
- Quemaduras eléctricas
- Caídas de distinto nivel a causa de un choque eléctrico

Desde el punto de vista operativo, los trabajos de mantenimiento deberán realizarse conforme a las disposiciones laborales vigentes, incluyendo lo estipulado en la Ley 16.744 (Ministerio del Trabajo y Previsión Social, el cual "Establece normas sobre accidentes del trabajo y enfermedades profesionales") y sus decretos asociados, con el fin de brindar un entorno de trabajo saludable, minimizando y controlando los riesgos derivados de las actividades relacionadas a las instalaciones fotovoltaicas. Se deberá considerar procedimientos escritos de trabajo, análisis de riesgo, procedimientos de emergencia y comunicaciones entre las partes (Dueño de las instalaciones, Empresas Eléctricas, Empresas Contratistas, Autoridad, o las que sean necesarias).

Las condiciones para realizar el mantenimiento de forma segura para sistemas FV conectados bajo la ley 20.571, están reglamentadas en el numeral 20 del RGR N°2 de la SEC, los cuales incluyen:

- Disposiciones generales de O&M
- Seguridad en las labores de O&M
- Exigencias para realizar intervenciones seguras

La instalación, reemplazo, puesta en servicio y mantenimiento de los componentes de una instalación fotovoltaica, puede significar una exposición del trabajador a un choque eléctrico, si las medidas preventivas no se llevan a cabo. Las lesiones pueden ser directas (choque eléctrico, quemaduras, electrocución), secundarias (caídas desde altura al recibir una descarga y no usar sistemas anti caídas), contusiones y daños oculares.

En un sistema FV se pueden sufrir lesiones en la parte de corriente alterna como en la de corriente continua. Cabe resaltar que un voltaje de operación bajo no implica un bajo nivel de riesgo; por ejemplo, en los sistemas de corriente continua, un contacto eléctrico puede significar quemaduras de gravedad.

3.1.1. Espacios de trabajo alrededor de sistemas eléctricos

Se deberá proveer las condiciones necesarias para trabajar en una instalación fotovoltaica, incluyendo módulos o tablero de disyuntores, las unidades de inversores y su interruptor. Se sugiere que todos los equipos y componentes estén instalados con suficiente espacio en el alrededor para moverse libremente, facilitando el acceso y las tareas propias de mantenimiento.

Se debe procurar un nivel de iluminación adecuado a las necesidades de manipulación de los dispositivos (300 lux) y autorizar el ingreso a estos sectores, previo análisis de riesgo del entorno y tomando las medidas de prevención con

el fin de no provocar alteraciones o fallas en las instalaciones existentes.

3.1.2. Inversores y Módulos FV

Las unidades o inversores representan riesgos si se manipulan o intervienen por personal no capacitado. Se debe tener presente que pueden existir niveles de voltaje alterno de 380 VAC, lo que representa un peligro de choque eléctrico (el voltaje de seguridad en lugares secos es hasta 50 VAC y en lugares mojados 24 VAC). Cada módulo FV que recibe luz natural debe considerarse en la condición "energizado" o "con energía viva". La conexión de múltiples módulos en serie significa un voltaje alto de hasta 1.000 VCC, lo que implica tomar medidas efectivas para evitar contactos con las partes energizadas. Un cortocircuito en corriente continua, puede generar un arco eléctrico permanente que se mantiene hasta que los contactos se queman o se interrumpe la energía de la fuente (campo fotovoltaico). El arco está acompañado por temperaturas altas que representan un peligro de incendio o quemaduras al personal y al equipamiento.

3.1.3. Requisitos de identificación y marcado

Las señales de marcado de una instalación fotovoltaica están reglamentadas en el RGR N°2 de la SEC según lo establece la ley 20.571. Es deber del instalador autorizado velar por que las señales estén visibles (sin deterioro) y se respeten en todo momento.

Las señaléticas mínimas que se exigen y que debieran estar siempre visibles son las siguientes:

Tabla 2 Señaléticas mínimas que se exigen en la normativa

Imagen
Ejemplo de cartel con el procedimiento de apagado de emergencia en el inversor (Fuente: Ministerio de Energía)

Procedimiento de apagado de emergencia del sistema FV ubicado en el costado del/los inversor/es.	**Numeral 20.1.1 RGR 02/2014**
Placa al costado del equipo de medida (Medidor de la instalación), indicando claramente que la propiedad cuenta con una unidad de generación fotovoltaica.	**Numeral 6.4 RGR 02/2014**

Imagen
Ejemplo señalética en caja de desconexión CC.
(Fuente: Ministerio de Energía)

Imagen
Ejemplo señalética de seguridad.
(Fuente: Ministerio de Energía)

	La/s caja/s de conexión CC, con un etiquetado de peligro indicando que las partes activas dentro de la caja están alimentadas por generador y que puede todavía estar energizadas tras su aislamiento o apagado del inversor y la red pública.	**Numeral 6.7 RGR 02/2014**
	Las unidades de generación fotovoltaica, con las respectivas señaléticas de seguridad claramente visibles indiquen: "PRECAUCIÓN: PELIGRO DE DESCARGA ELÉCTRICA - NO TOCAR - TERMINALES ENERGIZADOS EN POSICIÓN DE ABIERTO - SISTEMA FOTOVOLTAICO"	**Numeral 6.7 RGR 02/2014**
	Una placa de identificación por parte del instalador al momento de montaje de la unidad de generación, ubicada en los medios de desconexión (tableros AC), en un sitio accesible, en el cual se especifique la capacidad de la fuente fotovoltaica y que indique: a) La corriente de operación; b) La tensión de operación; c) La tensión máxima del sistema; d) Potencia máxima; e) Corriente de cortocircuito.	**Numeral 6.8 RGR 02/2014**
	Todos los equipamientos, protecciones, interruptores y terminales deben estar rotulados. Por ejemplo en el interior del tablero eléctrico FV deberán estar claramente identificadas las protecciones FV, así como sus conductores (cumplir con el código de colores del artículo 8.0.4.15 de la NCH Elec. 4/2003) y la identificación del mismo tablero (cumplir con el artículo 6.0.4 de la NCH Elec. 4/2003).	**Numeral 6.6 RGR 02/2014**

3.1.4. Riesgo eléctrico y mitigación

Se deben seguir las reglas y normas de la SEC para instalaciones eléctricas. Además en el sistema FV es especialmente importante utilizar las siguientes medidas para minimizar los riesgos eléctricos:

- Conexión de todas las parte metálicas a tierra.
- Inversores con monitoreo del aislamiento, solo funciona con conexión equipotencial.
- Usar dispositivos con protección de contacto o aislamiento, si no, procede

trabajar como en instalaciones energizadas.

- Abrir y bloquear los circuitos en la parte de trabajo (CC o CA). Esta operación se debe llevar a cabo mediante cerrojos o candados.
- Señalizar mediante tarjetas de operación ("No Operar", "Fuera de Servicio", etc.), la condición de bloqueo, ver las normas vigentes y usar las señales adecuados.
- Verificar si los componentes están desenergizados a través de instrumentos de medición adecuados.
- Partes energizadas que no pueden ser desenergizadas deben ser tapadas (para evitar contacto accidental).

Ilustración 10 Ejemplo de señalización para el bloqueo

- En caso de cables de alta tensión (ver Ilustración 11), si no es posible desenergizarlos, tapar o en mínimo cumplir la distancia de protección.
- Antes de separar los conectores de los strings apagar el inversor. Nunca se desconectan bajo carga (riesgo de arco).
- Los módulos no se pueden desenergizar durante el día, por tanto no tocar las partes que puedan llevar energía como las partes metálicas.
- Herramientas eléctricas deben ser apropiadas al trabajo (Ej. nivel de voltaje) y aisladas.

Ilustración 11 En caso de existir líneas cercanas al techo se debe cumplir con las distancias de seguridad (Fuente: DGS Berlin e. V.)

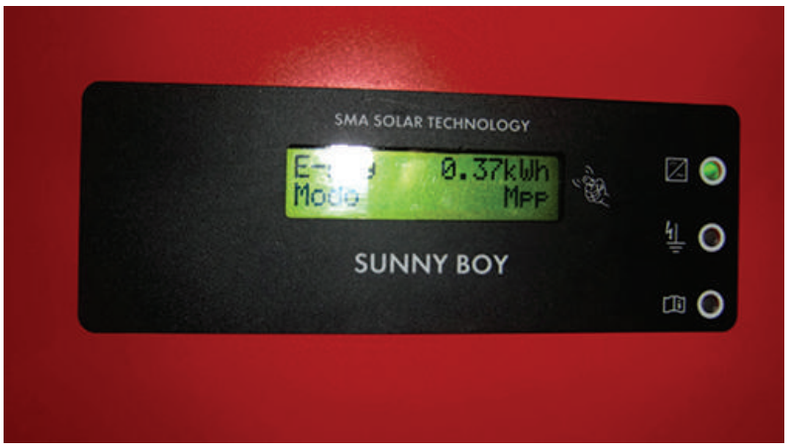
3.1.5. Falla a tierra

Bajo condiciones de operación normal la energía circula entre el lado positivo y el negativo. Sin embargo, en el caso de una falla a tierra, los componentes que normalmente no están energizados pueden energizarse, lo cual se vuelve peligroso. Por ejemplo, si se tiene un módulo con uno de sus cables cortados, expuesto y en contacto con el marco del módulo, eso puede hacer que la corriente circule por el marco del módulo, en vez de circular por el lado positivo y negativo.

En caso de falla a tierra, el inversor y el sistema de monitoreo debe mostrar la falla (generalmente es un led rojo) e interrumpir el flujo de corriente, según la instrucción técnica RGR N°2/2014.

En caso de una falla, sólo personal autorizado puede intervenir el sistema, utilizando siempre los elementos de protección personal necesarios. Es deber de un profesional con experiencia determinar el lugar de la falla y corregirla.

Ilustración 12 Ejemplo de un inversor indicando buen funcionamiento, bajo la led verde una led roja indicará una falla a tierra (Fuente: SMA)



3.2 SEGURIDAD LABORAL EN LA ALTURA / PROTECCIÓN ANTICAÍDAS

Dentro de los aspectos que se deben controlar en los trabajos relacionados a instalaciones fotovoltaicas se tiene:

- Protección anti caídas, para lo cual se deben revisar las recomendaciones de los instituciones de seguridad laboral.
- Plataformas elevadoras, andamios y escalas, deben ser usados según las especificaciones del fabricante y sus normas.
- Equipos de Protección Personal, que deben ser revisados regularmente.

Las caídas de altura son la segunda causa mundial de muerte por lesiones accidentales o no intencionales [4]. Las caídas se definen como acontecimientos involuntarios que hacen perder el equilibrio y provocan que el cuerpo impacte a tierra u otra superficie firme que lo detenga. Las lesiones relacionadas con las caídas pueden ser mortales, o incapacitantes. Para evitar caídas de la altura (techo) se deben realizar medidas anti caídas.

Ilustración 13 Ejemplo protección anti caída techo plano
(Fuente: DGS Berlin e. V.)

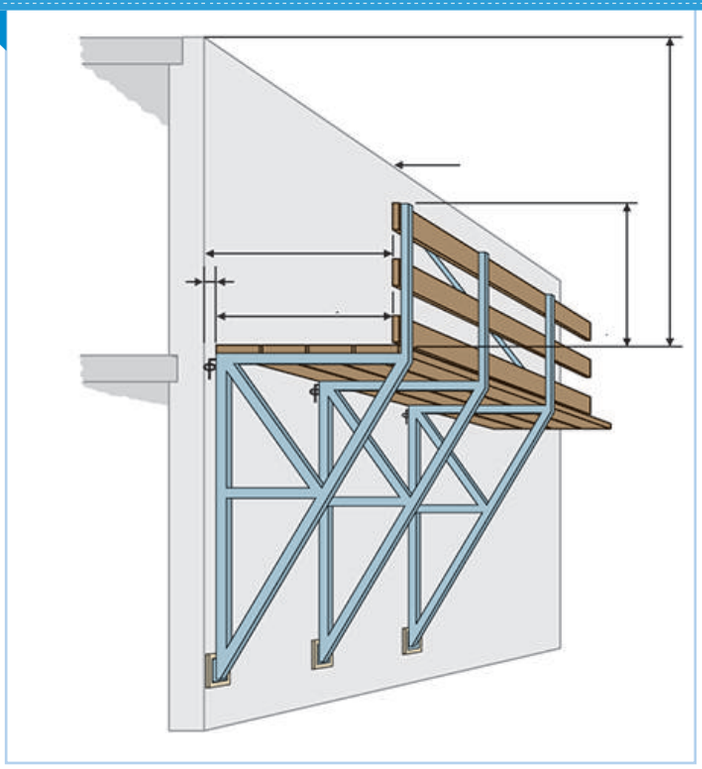
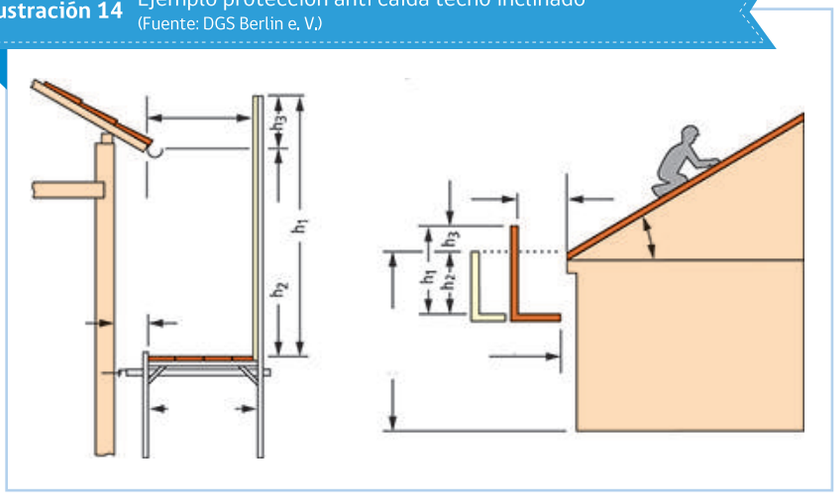


Ilustración 14 Ejemplo protección anti caída techo inclinado
(Fuente: DGS Berlin e. V.)



Especialmente si se cumplen las siguiente dos condiciones. 1) Si el lugar de trabajo tiene un nivel de más de 1,8 m. 2) Si el techo/lugar de trabajo tiene una inclinación superior a 20°.

Ilustración 15 Protección anti caída, equipo de protección personal
(Fuente: DGS Berlin e. V.)

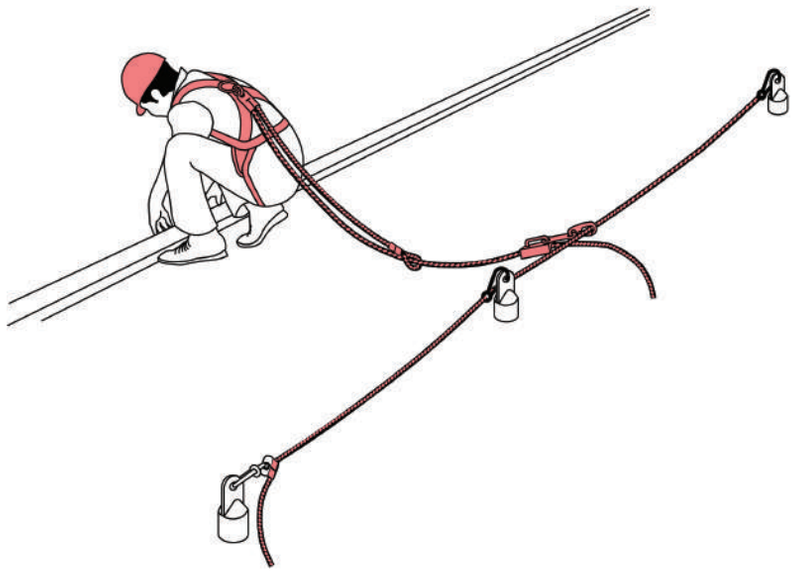
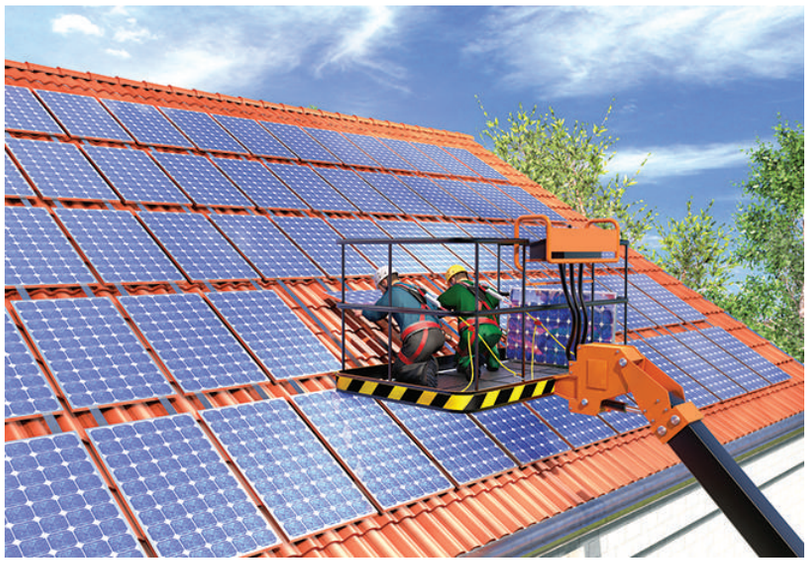


Ilustración 16 Plataforma elevadora y equipo de protección personal
(Fuente: H.ZWEI.S GmbH)



El personal de mantenimiento deberá asegurar entre otros, los siguientes requisitos:

- **Capacitación, entrenamiento y condición física apta:** se debe capacitar al personal en relación al uso de medios de protección anti caídas (arnés, cinturón u otro), puntos de anclaje y medios de sujeción. El personal debe contar con las condiciones físicas adecuadas, acreditado mediante exámenes de altura física entregado por una institución válidamente autorizada.
- **Identificación de peligros y evaluación de los riesgos** donde se realiza el mantenimiento de los sistemas FV, considerando los factores constructivos de las techumbres, vigas, pilares y cúpulas de luz. Se debe considerar los medios de levante de los módulos, equipos y herramientas especiales a ser utilizados, además de pasillos técnicos y cuerdas de vida.
- **Plataformas elevadoras, escaleras de mano y superficies de trabajo (andamios, plataformas)** adecuadamente montadas con las certificaciones respectivas, montaje de acuerdo a especificaciones del fabricante y realizado por personal calificado. Las escalas móviles se utilizan sólo para acceder a las superficies en altura, deben instalarse en ángulos adecuados, sobrepasar en un metro la máxima altura donde se posicionan, estar amarradas, entre otros aspectos de seguridad especificados en la respectiva norma.
- **Arneses, anclajes y el uso de cuerdas de vida:** adecuados a las necesidades específicas para realizar la actividad y de acuerdo a la anatomía del personal que los utiliza, líneas de vida correctamente ancladas en los puntos necesarios para el desplazamiento del personal y el adecuado montaje de los elementos que se montan en altura.

Ilustración 17 Ejemplo de medidas de seguridad para protección contra caídas (Fuente: Ministerio de Energía)

La información específica para consultar sobre las disposiciones para trabajos en altura, se encuentran en las siguientes normas:

- NCh1258/1.Of2004 Arneses para el cuerpo completo
- NCh1258/2.Of2005 Estrobos y amortiguadores de impacto
- NCh1258/3.Of2005 Líneas de vida autorretráctiles
- NCh1258/4.Of2005 Rieles verticales y líneas de vida verticales
- NCh1258/5.Of2005 Conectores con puertas de trabado automático
- NCh1258/6.Of2005 Ensayos de comportamiento de sistema
- NCh 997/Of. 1999 Terminología y clasificación
- NCh 998/Of. 1999 Requisitos generales de seguridad
- NCh 999/Of. 1999 Andamios de Madera doble pie derecho
- NCh 2501/Of.2000 Andamios metálicos tubulares prefabricados
- NCh. 2458/Of.1999 Sistemas de protección para trabajos en altura
- Guía para la selección y control de equipos de protección personal para trabajos con riesgo de caídas, Instituto de Salud Pública de Chile, Ministerio de Salud
- Protocolo de Andamios / SEREMI Salud

3.3 HERRAMIENTAS MANUALES Y ELÉCTRICAS

Para asegurar un trabajo seguro y correcto las herramientas manuales y eléctricas deben estar en un estado adecuado. Las medidas básicas necesarias para su utilización son:

- Realizar la mantención adecuada y regular a las herramientas de trabajo
- No quitar los seguros o protecciones que las herramientas traen incorporadas
- Usar las herramientas adecuadas para la actividad específica
- Seguir las instrucciones del fabricante
- Utilizar sistemas de alimentación eléctrica en buen estado y montado de acuerdo a normas específicas (por ejemplo, grupos electrógenos, extensiones, tableros de faena con disyuntores, protecciones diferenciales operativas, y sistema de puesta a tierra de protección, entre otros)
- Utilizar los Equipos de Protección Personal necesarios.

3.4 EQUIPOS DE PROTECCIÓN PERSONAL (EPP)

En general, se recomienda la utilización de Elementos de Protección Personal (EPP) de acuerdo a los riesgos evaluados. Por ejemplo, si se trabaja en altura o desnivel, se requerirá un arnés de cuerpo completo, adicionalmente al resto de equipos de uso general.

En general, los Equipos de Protección Básicos recomendados son:

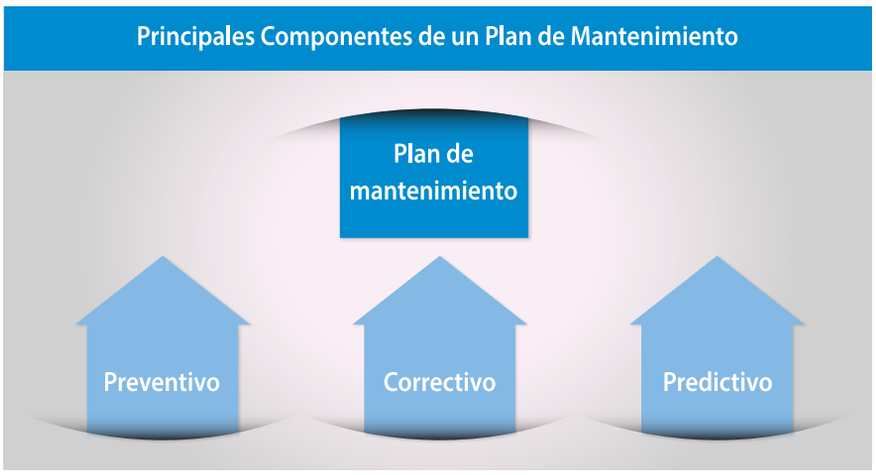
- Casco clase A (Nch 461/77, caso de seguridad dieléctrico clase 20 kV)
- Guantes de seguridad
- Protección visual (lentes de seguridad y protección facial cuando se requiera)
- Ropa de trabajo adecuada
- Zapatos de seguridad que sean del tipo dieléctrico o aislante apropiado para los voltajes involucrados.
- Cuando por razones técnicamente necesarias se requiera intervenir la instalación fotovoltaica en modo energizado (pruebas eléctricas, verificaciones en puntos sin aislación, etc.), se deberá proveer al trabajador los elementos de protección adicionales para este tipo de actividades:
  - Guantes aislantes con guante de cuero protector para el nivel de tensión requerido (Nch 1668/2005: Ropa de protección: guantes de material aislante para trabajos eléctricos):
  - Clase 00: para tensiones hasta 500 V
  - Clase 0: para tensiones hasta 1 kV
- Se sugiere ropa de trabajo ignífuga (mínimo estándar recomendado de algodón y evitar fibras sintéticas, polar u otra ropa que favorece la combustión ante eventos de arco eléctrico). Aprobada según norma NFPA 70E - ASTM F-1506
- Se sugiere una careta facial con protección anti arco eléctrico (Aprobada según norma NFPA 70E - ASTM F-2178)

Ilustración 18 Equipo protección personal para trabajar en sistemas energizados de baja tensión (Fuente: H.Zwei,S GmbH)

4. El plan de mantenimiento

La operación y mantenimiento para este tipo de instalaciones se desarrolla dentro del contexto que la planta FV genere suficientes retornos (ahorros) sobre la inversión. En consecuencia, la correcta gestión (O&M) del activo que se incorpora a la infraestructura existente, desde el punto de vista de la continuidad operacional de la planta fotovoltaica, se traduce en un uso eficiente de los recursos comprometidos. Por lo tanto, al momento de planificar las actividades de mantenimiento que se realizarán, hay que estar muy conscientes de la inversión que se hizo y de los ahorros esperados del proyecto.

Los principales componentes de un plan de mantenimiento son: el mantenimiento preventivo, correctivo y predictivo.



Considerando la variabilidad de los sistemas FV instalados en el PTSP, las distintas condiciones ambientales, las distintas capacidades de las instituciones y la variedad de equipos e instaladores que participan en el PTSP, no es posible diseñar un plan de mantenimiento que se ajuste completamente a todos los proyectos. Así, en esta sección se dan recomendaciones de mantenimiento preventivo, correctivo y predictivo e información sobre costos de O&M, las cuales deben ser entendidas como recomendaciones generales.

Un plan de O&M debe incluir [5]:

- Lista de información de contacto del responsable del mantenimiento y del propietario del inmueble, así como los números de emergencia.
- Descripción y documentación del sistema con planos as-built, especificaciones, registros fotográficos y las consideraciones de seguridad especiales (tener en consideración la información mencionada en la sección de documentación).
- Estimaciones de rendimiento y estudios de irradiación/sombra, incluyendo una descripción de las condiciones nominales para que sea más fácil identificar el mal funcionamiento o desviaciones.
- Los manuales de los equipos donde se señalen las descripciones de indicadores operacionales, medidores y mensajes de error, guía con problemas comunes e instrucciones para acercarse a la solución de cada problema.
- Lista de actividades de mantenimiento preventivo (inspecciones) que deben realizarse, con frecuencia, estimación de duración y recursos físicos estimados para cada una de ellas.
- Las actividades de mantenimiento previamente mencionados, deben ser valorizados. Además se debe estimar un presupuesto adicional como una provisión de recursos en el caso que la instalación fotovoltaica presente fallas.
- Procedimientos para las pruebas después de intervención o una reparación.
- Listado de todos los equipo con marca, modelo y números de serie y mapa de ubicación en el sistema.
- Garantías del instalador y equipos del sistema (tener en consideración lo descrito en la sección de garantías).
- En el caso de un mantenimiento externo, se deberá contar con los contrato de mantenimiento, el servicio y otros documentos de operación, incluidos los contactos para cada uno, y los tiempos de respuesta especificados y disponibilidad acordado p. ej. 24 h x 7 días por semana.
- Presupuesto para el mantenimiento que incluye además los costos operativos de monitoreo y diagnóstico, mantenimiento preventivo, mantenimiento correctivo, y un importe global para cubrir gastos adicionales, como reemplazar componentes después de la garantía.

4.1 MANTENIMIENTO PREVENTIVO

El mantenimiento preventivo busca evitar o mitigar las consecuencias de fallas de los equipos y del sistema y así aumentar su disponibilidad, limitar los costos y aumentar la vida útil de un sistema FV. El mantenimiento preventivo se debe balancear de manera tal que sus costos no sobrepasen a sus beneficios. Los protocolos de mantenimiento preventivo dependen del sistema, tamaño, diseño y entorno. Las condiciones ambientales que afectan el mantenimiento incluyen [3]: humedad, temperatura, nieve, polen, población de aves, ambientes marinos, altos niveles de viento, emisiones industriales o polvo causado por agricultura o construcciones cercanas.

Procedimiento general

Operar un sistema FV significa observar e interpretar los datos del monitoreo continuamente. Aunque el monitoreo envíe una alarma en caso de una falla grave, muchas veces se puede identificar el desarrollo de problemas antes de que resulten en daños graves. Sin embargo ocurren excepciones, en donde difícilmente se puede identificar en los datos.

Ilustración 19 Sensor de radiación con suciedad, no se puede detectar en los datos de monitoreo fácilmente (Fuente: DGS Berlin e. V.)

Una lista detallada de acciones de mantenimiento preventivo se provee en el Anexo C.

4.1.1. Módulos

Limpieza

La acumulación de polvo y suciedad en los módulos FV, al igual que objetos como hojas, papeles, excremento de animales, ramas de árboles, impiden el ingreso de la energía solar en las células FV y ocasiona una disminución de energía eléctrica generada. La limpieza es económica y eficiente cuando las pérdidas evitadas superan el costo de la limpieza.

Ilustración 20 Ejemplo de módulo FV con acumulación de excremento de animales (Fuente: DGS Berlin e. V.)

Ilustración 21 Ejemplo de un módulo con acumulación de polvo (Fuente: DGS Berlin e. V.)

Antes de la limpieza es necesario considerar algunas precauciones de seguridad [6]:

- Leer las instrucciones de limpieza del fabricante del módulo.
- Tomar todas las medidas de seguridad necesarias: EPP, plataforma elevadora y/o andamio.
- Asegurar que el circuito está desconectado del inversor antes de comenzar la limpieza.
- No se debe caminar sobre los módulos FV. No solo daña a los módulos, además se corre el riesgo de resbalar. Se recomienda usar bastones telescópicos no conductores y mangueras para alcanzar los módulos FV.
- Confirmar que no hay módulos rotos. Nunca rociar agua sobre módulos dañados.
- Identificar zonas de riesgo que podrían ser muy resbaladizas al caerles agua.
- Planificar hacia dónde va a escurrir el agua (presencia de drenajes) y en caso de usar productos químicos, recoger el agua usada.
- Verificar la temperatura del módulo. Evitar diferencias de temperatura entre el agua y el módulo, es decir, no usar agua muy fría sobre un módulo caliente y viceversa. Grandes diferencias de temperatura podrían ocasionar la fractura del vidrio. Preferentemente realizar cuando existe poca diferencia.
- Determinar si hay una fuente de agua cercana (grifo) o si es necesario traerla de una fuente externa usando una manguera o cisterna.
- No usar limpiador de alta presión.
- No usar agua destilada.
- Usar agua pobre en cal.
- Verificar si el tipo de agua utilizada no tiene mucho calcio o componentes que dejen rastros sobre el vidrio de los módulos.

Ilustración 22 Cepillo especial con mango telescópico
(Fuente: BeSo Service GmbH & Co. KG, Berlin)

Durante la limpieza de los módulos[6]:

- De manera general, se recomienda usar cantidades abundantes de agua (sin detergentes o disolventes) y un utensilio de limpieza de cerdas suave, por ejemplo una esponja, una tela o algodón. Es preferible agua des ionizada para evitar manchas. Absténgase de cepillar o limpiar con instrumentos rígidos o metálicos, como una espátula, para evitar rayar la superficie. Esto es especialmente importante cuando el módulo tiene capa antirreflejo sobre la superficie del vidrio.
- No usar agua a presión. Se recomienda una presión de 50 a 70 libras por pulgada cuadrada.

La frecuencia de la limpieza depende del lugar. Por ejemplo, en lugares con poca lluvia, mucha contaminación y polvo en suspensión, la limpieza de los módulos puede ser requerida mensual o bimensual. En general, se recomienda realizar una limpieza con mayor frecuencia para los meses de mayor generación (entre octubre y Marzo).

Ilustración 23 Limpieza con plataforma elevadora
(Fuente: BeSo Service GmbH & Co. KG, Berlin)

Estimaciones basadas en experiencias prácticas

En el marco del Programa Techos Solares Públicos (PTSP), se limpiaron 35 plantas fotovoltaicas con tamaños de 5 - 100 kWp entre las comunas de Calama y Parral. La técnica de limpieza utilizada, conocida como limpieza en seco, consistió en la limpieza de paneles sin agentes abrasivos ni instrumentos metálicos, utilizando

paños multifibras para evitar posibles daños al vidrio. Sólo se ha utilizado agua en aquellos casos en que se necesita de una mayor intervención, tal es el caso de retiro de material sólido. En los casos en que se ha utilizado agua, se ha realizado un secado inmediato de los paneles una vez removida la suciedad con el objeto de evitar manchas o la huella de minerales en el módulo.

Los siguientes gráficos muestran información respecto al tiempo de ejecución de limpieza y cantidad de agua utilizada (litros) por metro cuadrado de paneles FV. Esta información es solamente referencial, ya que el ensuciamiento depende entre otras cosa, de las condiciones específicas del lugar, como por ejemplo, tipo de polvo, viento, humedad, etc.

Ilustración 24 Hombres (en minutos) necesarias por limpieza de paneles (en m2)

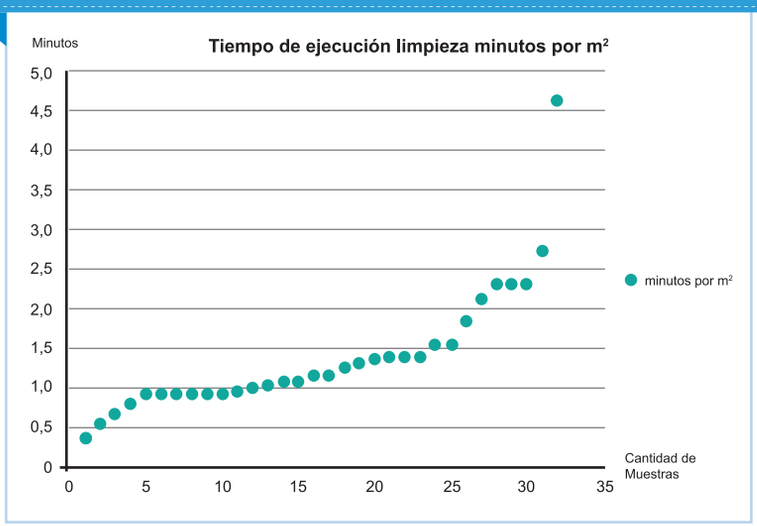
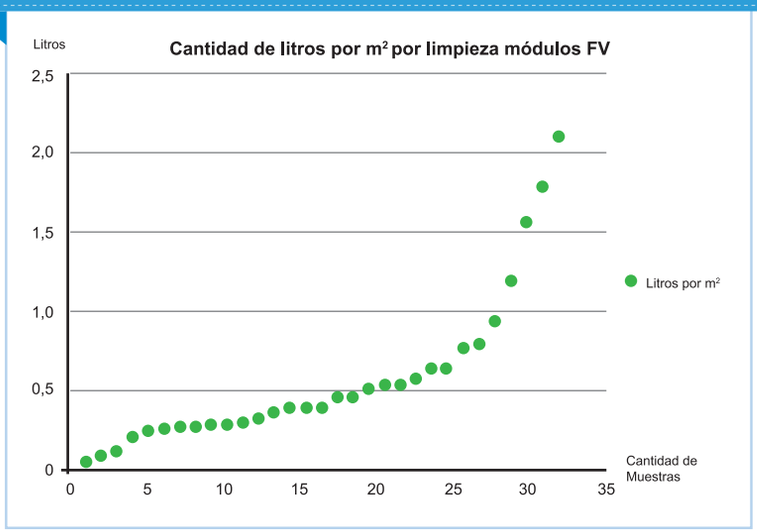


Ilustración 25 Agua necesaria (en litros) por limpieza de panel (en m2)



Revisión de las condiciones del entorno

Para un buen rendimiento de los módulos FV se debe evitar que objetos en el entorno produzcan sombra sobre ellos. La sombra no solo disminuye la generación de energía, sino que también puede ocasionar que los módulos FV se sobrecalienten, acortando su vida útil.

Esta actividad consiste en una revisión visual para identificar objetos y en caso necesario, podar la copa de los árboles que puedan provocar sombra.

Ilustración 26 Ejemplo de módulos FV con sombras como consecuencia de arboles

4.1.2. Inversor

Los inversores son equipos electrónicos, y son diseñados para operar cubiertos por una carcasa, protegidos de la intemperie y de la lluvia. Aunque muchos ya cuentan con un índice de protección (Ej. IP65) que les permite funcionar a la intemperie, deben ser protegidos de la radiación solar directa para evitar temperaturas altas.

En general los inversores requieren bajo nivel de mantenimiento. Las actividades de mantenimiento consisten en verificar que el área de ubicación del inversor se mantenga limpia, seca, bien ventilada y que no sea "invadida" por insectos u otros animales; de ser así, se debe contactar a especialistas (Ej. representante del fabricante) [7]. Si los inversores cuentan con un índice de protección bajo deben instalarse en un gabinete eléctrico ventilado para asegurar su buen funcionamiento.

Una actividad que debe realizarse de manera regular es la verificación de la correcta ventilación del inversor (ventiladores, filtros, disipadores etc.) para que

Ilustración 27 Inversores desprotegidos del efecto de radiación solar directa (Fuente: DGS Berlin e. V.)

el sistema de refrigeración funcione adecuadamente. En caso de mal funcionamiento el inversor se calienta innecesariamente, lo que puede resultar en limitación de potencia temporal, significando una pérdida de rendimiento. Muchos inversores lo indican con una luz roja. Es importante seguir las instrucciones del fabricante, pues cualquier intervención indebida puede implicar la pérdida de garantía.

Los pasos para la limpieza del ventilador varían entre modelos y fabricantes. Muchos fabricantes piden que se apague el sistema desde los interruptores de desconexión del lado CA y CC, y que se espere algunos minutos hasta que el capacitor interno se descargue antes de abrir el espacio que alberga el ventilador [3].

Existen inversores que permiten remover el ventilador por completo. En este caso es importante desconectar las conexiones eléctricas del ventilador. Antes de volver a instalar el ventilador debe asegurarse que no hay nada atrapado y que sus aspas están girando con facilidad. [3].

Otros tipos de inversores no permiten sacar el ventilador por completo. Algunos tienen un filtro para la entrada de aire, la cual se debe remover y limpiar según las indicaciones del fabricante. Se puede usar aire comprimido o en ocasiones basta con soplar para retirar el polvo. En caso de acumulación de residuos, hay fabricantes que permiten utilizar un pequeño cepillo y frotar hacia fuera. Algunos inversores pueden tener múltiples filtros [3].

Adicional al ventilador para la entrada de aire, normalmente se tiene otro para la salida con un tubo de escape exterior. También se debe revisar que el tubo de escape no está obstruido.

Cada vez hay más inversores que no tienen ventiladores integrados. Estos tipos de inversores pueden tienen una ventilación pasiva por convección en la parte frontal que disipa el calor por medio del movimiento del aire a través de unas aletas. En este caso, solo se necesita comprobar que las aletas no tienen residuos, acumulación de objetos, insectos o excremento de pájaros. [3]..

Ilustración 28 Limpieza de la ventilación de un inversor STP 17 TL, extraer la rejilla (Fuente: SMA Solar Technology AG)

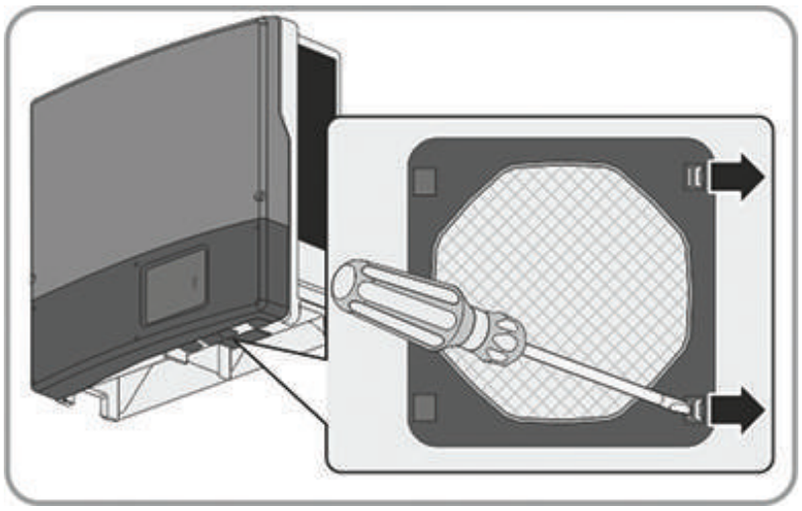


Ilustración 29 Limpieza de la ventilación a los lados de un inversor STP 17 TL (Fuente: SMA Solar Technology AG)

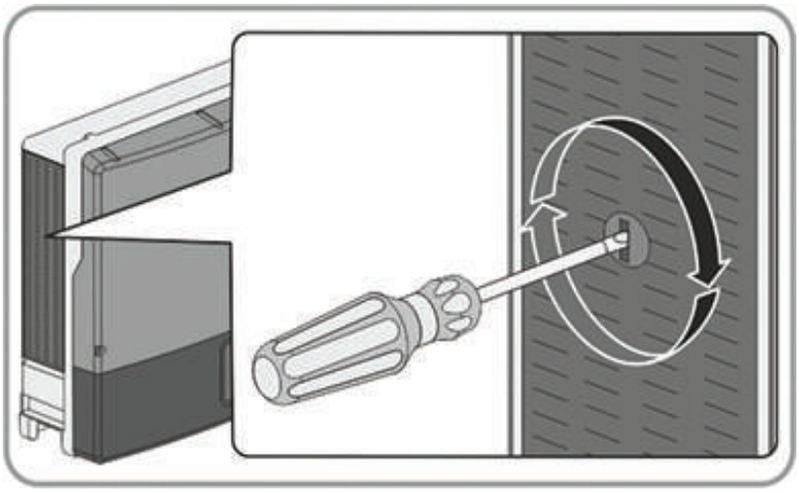
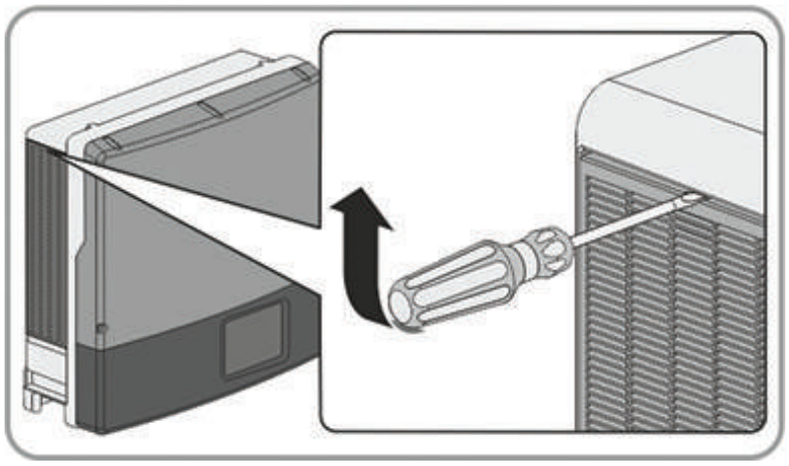


Ilustración 30 Extraer las rejillas de un inversor STP 17 TL
(Fuente: SMA Solar Technology AG)



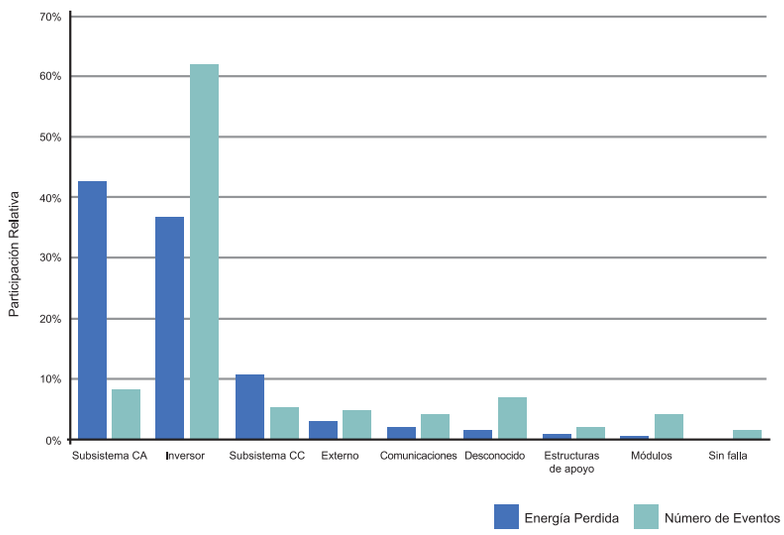
4.2 MANTENIMIENTO CORRECTIVO

El mantenimiento correctivo corresponde a todas las operaciones de reparación y/o sustitución de partes necesarias para asegurar que el sistema funcione correctamente durante su vida útil. Aunque el objetivo del mantenimiento preventivo es reducir la necesidad de reparaciones inesperadas, es importante conocer los procedimientos de éste para poder hacer frente a situaciones que requieran de acciones inmediatas, de tal forma que se reduzcan los costos asociados al tiempo de inactividad no planificado del sistema o la reducción en la generación.

4.2.1. Fallas típicas

Las fallas más comunes en los sistemas FV se presentan en los inversores; razón por la cual el mantenimiento de los inversores representa el mayor porcentaje en costos (aproximadamente el 50% de los costos totales de mantenimiento de todo el sistemas FV). Los inversores son el componente de un sistema FV culpable de la mayoría de las paradas de la planta no planificadas. Entre el 60-69% de las fallas reportadas corresponden al inversor (sin considerar fallas por problemas en la instalación) según estudios a instalaciones en Alemania, Inglaterra, Suiza, Japón y Taiwán [8] [6] [9] [10]. La vida útil promedio de los módulos cristalinos está aproximadamente en 30 años, los inversores en 10 años y la estructura de montaje hasta 30 años.

Ilustración 31 Frecuencia de fallos y porcentaje de pérdidas de energía para cada parte de un sistema FV



4.2.2. Inversor

La confiabilidad de los inversores en el mercado ha aumentado considerablemente en los últimos años. Sin embargo, un plan de O&M para sistemas FV debe considerar la avería del inversor una vez durante la vida útil del sistema, pues, es la parte del sistema más propensa a causar pérdidas en la generación.

El primer paso es que el usuario identifique que el inversor no está funcionando correctamente. Para lograr esto es importante ajustar las alarmas de monitoreo, para que en caso de falla envíe una alarma a la persona responsable del funcionamiento de la planta.

Los periodos en los que el inversor no está operando son considerados las causas de las pérdidas más grandes del sistema y pueden ser ocasionadas por muchas razones, entre las cuales están:

- Interrupción total del inversor a causa de mantenimiento o falla en la red eléctrica.
- Interrupción total del inversor como consecuencia de algún trabajo en el sistema eléctrico del edificio.
- Operación de protecciones de la instalación existente.
- Falla de los ventiladores por exceso de material particulado acumulado.
- Falla del inversor, condición que continúa hasta su reparación o remplazo.

- Corriente residual demasiado alta.
- Corriente de fuga demasiada alta.
- Corriente CC demasiada alta.
- Limitación de potencia a causa de temperaturas altas o sobrecarga (configuración desfavorable).

El segundo paso es que el usuario tenga claro qué hacer en caso de falla del inversor. Esta información la entrega el fabricante en el manual del inversor. Normalmente consiste en las instrucciones sobre qué hacer para detectar la causa de interrupción y con qué medidas solucionarla. También contiene el contacto de asistencia profesional si el problema solo se puede solucionar por personal especializado en inversores de este fabricante. Algunos fabricantes otorgan inversores de recambio durante el tiempo de reparación, pero no todos. Bajo garantía el fabricante decide si va a reparar o va a reemplazarlo.

En caso que la (repetida) interrupción o (repetida) falla del inversor se origine por un comportamiento de la red irregular (mala calidad de suministro), una intervención de la compañía distribuidora de electricidad puede ser necesaria. Alternativamente, se puede realizar un reclamo a través de la página web de la SEC (www.sec.cl), indicando el problema que se presenta en la red.

4.2.3. Módulos FV

Los módulos FV son la base de la generación de energía, por lo tanto, cualquier falla afecta el funcionamiento global del sistema. A continuación se describen algunas de las principales causantes de fallas en los módulos FV [12] [13].

Ilustración 32 Rotura de módulo por impacto mecánico – reemplazar el módulo (Fuente: DGS Berlin e. V.)

Degradación del laminado

La función del laminado es proteger los componentes internos de los módulos del ingreso de humedad y contaminación, reforzar la estructura y servir de aislante eléctrico entre las celdas y los contactos. La degradación del laminado afecta no solo la intensidad de energía solar que ingresa a las celdas que se transforma en electricidad, sino que también puede desencadenar corrosión y así una serie de fallas internas. El laminado puede ser de EVA u otro material, como se encuentra expuesto a la intemperie puede generar un envejecimiento, que algunas veces está acompañado por coloración entre amarillo y marrón.

Ilustración 33 Módulo fotovoltaico afectado por decoloración, lo que causa una reducción del rendimiento (Fuente: DGS Berlin e. V.)

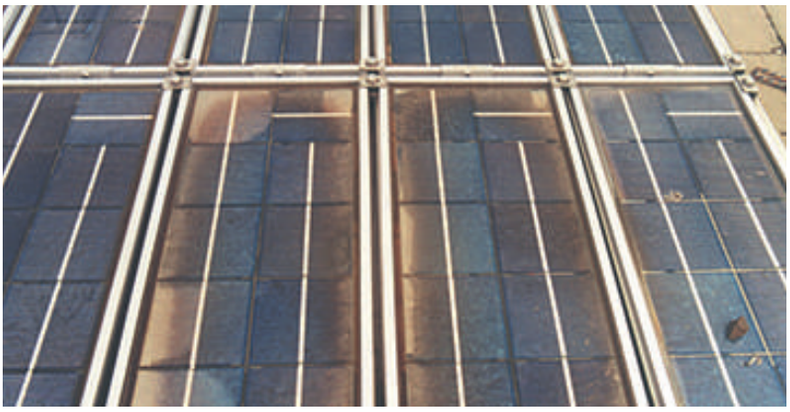
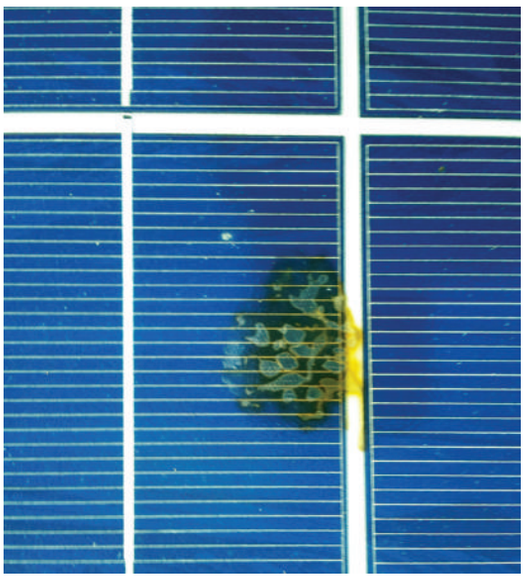


Ilustración 34 Delaminación del módulo (Fuente: DGS Berlin e. V.)

Ilustración 35 Comienzo de delaminación (Fuente: DGS Berlin e. V.)



Delaminación

Este efecto aparece por incompatibilidad de materiales, laminado viejo, impureza del vidrio o similar. Aunque en las etapas iniciales no se vea influencia en el rendimiento, no es posible estimar la influencia durante la vida útil de los módulos afectados.

Interconexión defectuosa

La corriente eléctrica sale de la celda FV por una red de conductores finos, que se unen en las barras de distribución (Busbar). Entre las celdas la corriente fluye por las conexiones que están soldadas. Si las soldaduras no tienen un buen contacto, se puede generar un estrés mecánico y térmico. Una soldadura mala significa una resistencia alta, que siempre está acompañado con temperaturas altas, lo que puede dañar hasta quemar el laminado y el folio de la parte posterior.

Las conexiones defectuosas también ocurren en o cerca de las cajas de conexión. Las cajas de conexión contienen los diodos bypass. Estos, como componentes electrónicos, pueden ser destruidos por sobretensión. En los módulos actuales se usan tres diodos de bypass, en caso que un diodo bypass falle, solo funcionará un tercio de la potencia del módulo. Se puede detectar con una cámara termográfica o medir la característica V-C (voltaje-corriente). Un diodo de bypass con interrupción solo se nota en caso de sombra.

Ilustración 36 Interconexión rota en un módulo (Fuente: DGS Berlin e. V.)

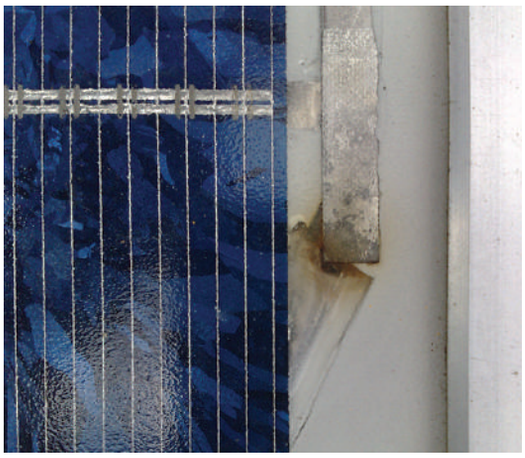


Ilustración 37 Soldadura defectuosa (Fuente: DGS Berlin e. V.)

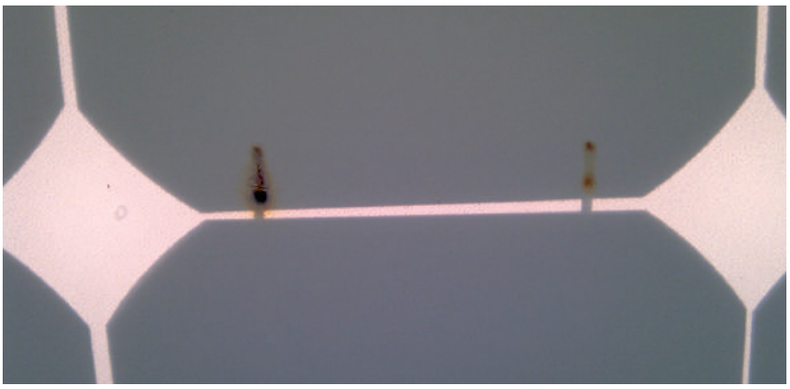
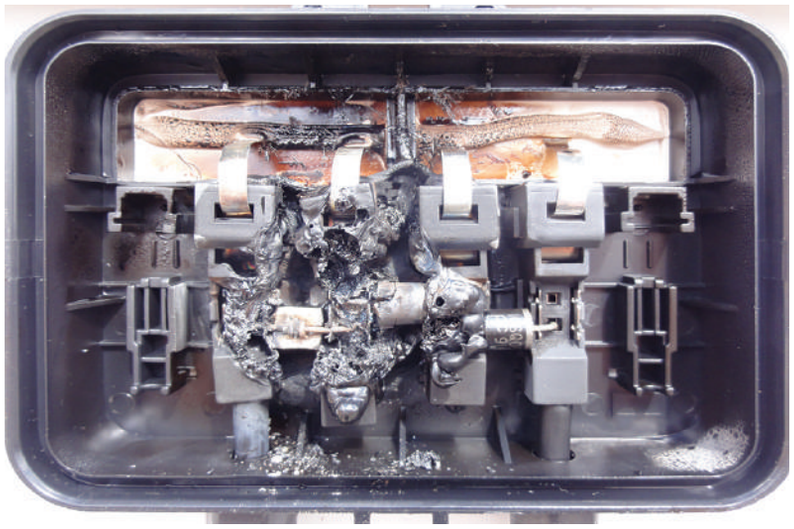


Ilustración 38 Caja de conexión quemada por conexión interna defectuosa (Fuente: DGS Berlin e. V.)

Ilustración 39 Caja de conexión con diodos bypass destruidos por sobretensión (Fuente: DGS Berlin e. V.)



Roturas y micro-roturas

Puede ser causado por estrés mecánico o térmico sobre la celda durante la fabricación, transporte, instalación o por condiciones ambientales como viento o en algunos lugares nieve. Es difícil evitar las micro-roturas con las celdas finas de la actualidad. En que extensión afectan el rendimiento de una celda depende de la cantidad, longitud y su curso. La extensión de la reducción del rendimiento todavía no está clasificada por la ciencia. No obstante, es importante identificar las roturas e informar al fabricante, pues siempre existe el riesgo que se agranden y genere en el futuro una reducción del rendimiento.

Ilustración 40 Celda con una rotura visible (Fuente: DGS Berlin e. V.)

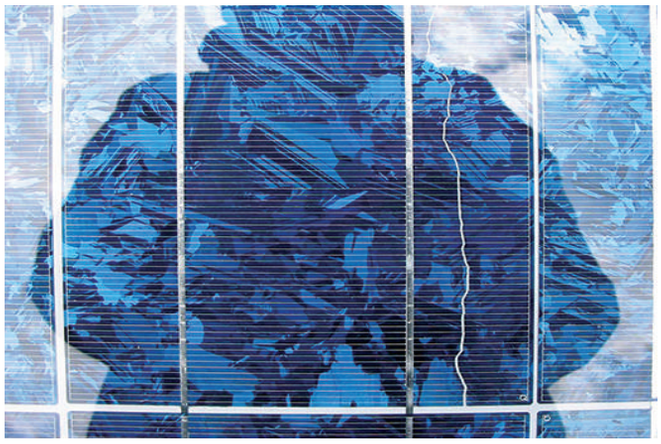
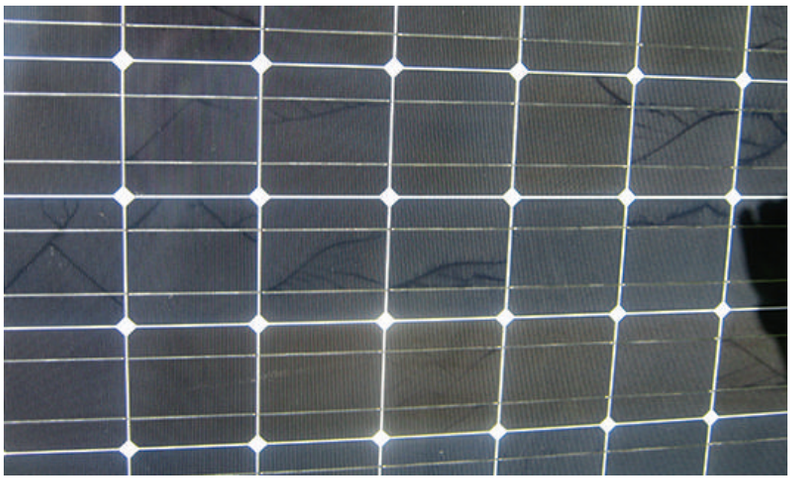


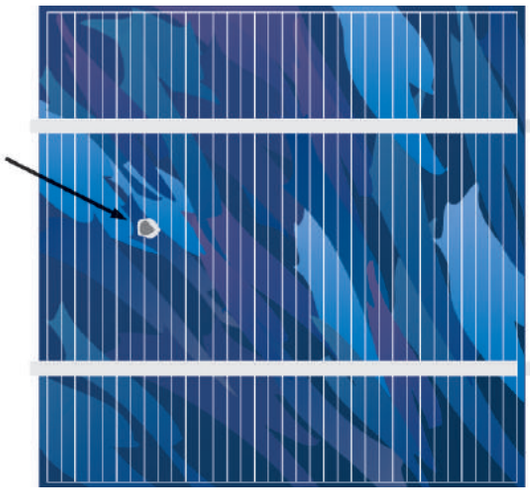
Ilustración 41 Micro-roturas visibles (Fuente: DGS Berlin e. V.)



Puntos y celdas calientes (Hot spots)

El sobrecalentamiento localizado en una celda ocurre cuando una ella está cubierta (por ejemplo por sombras) y actúa como consumidor (disipando calor), alcanzando altas temperaturas. Las causantes principales son condiciones de sombra junto con la falla de un diodo bypass. El diodo bypass es el sistema de protección contra puntos calientes y permitir que la corriente pase alrededor de la (s) celdas sombreada (s) y así reducir la pérdida de potencia dentro del módulo sombreado y su efecto al string, alargando la vida útil del módulo. Por su construcción, este elemento es propenso a sobretensión, principal razón de su falla.

Ilustración 42 Punto dañado irreversiblemente por temperatura alta



Aunque las pérdidas de potencia asociadas a los puntos calientes son bajas, esta parte de la celda queda dañada de manera irreversible. Se puede detectar visualmente y también con una cámara térmica.

Las celdas calientes ocurren cuando solo una parte de la celda apoya con la generación de corriente, a causa de roturas de la celda o cuando el contacto del colector de corriente falla.

Ilustración 43 Partes de celda caliente por malos contactos (Fuente: DGS Berlin e. V.)

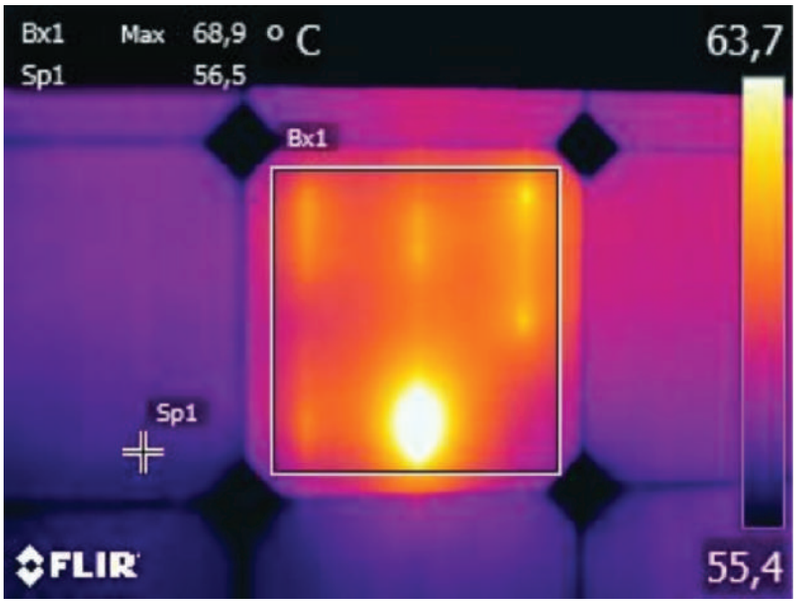


Ilustración 44 Celda con rotura visible (Fuente: DGS Berlin e. V.)

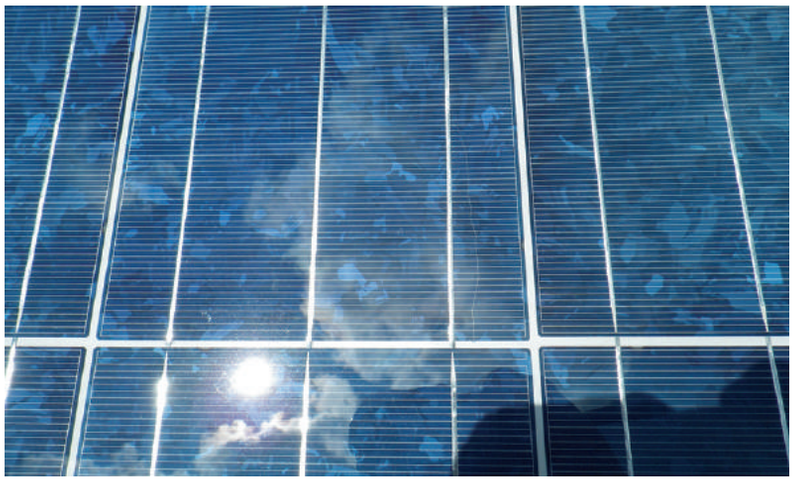


Ilustración 45 La temperatura de esta celda con rotura
(Fuente: DGS Berlin e. V.)

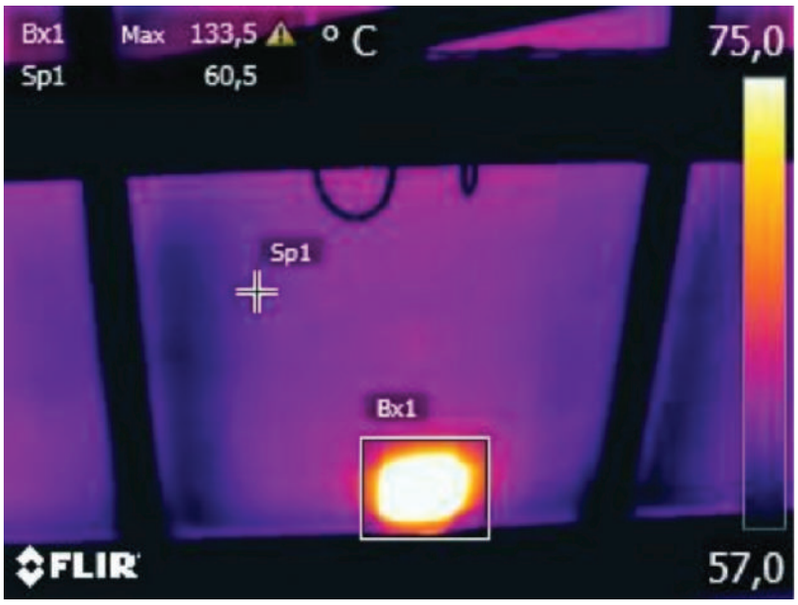


Ilustración 46 Típica "marca" de dos tercios del módulo en cortocircuito
(Fuente: DGS Berlin e. V.)

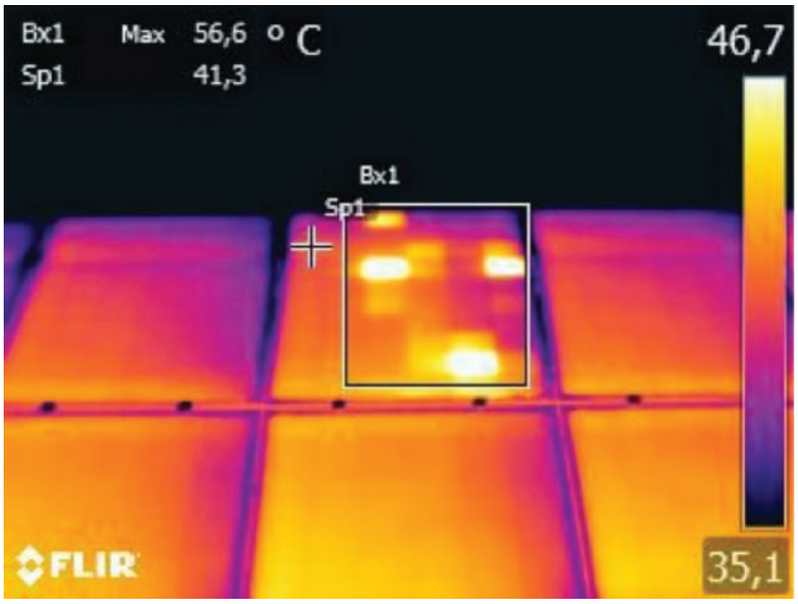
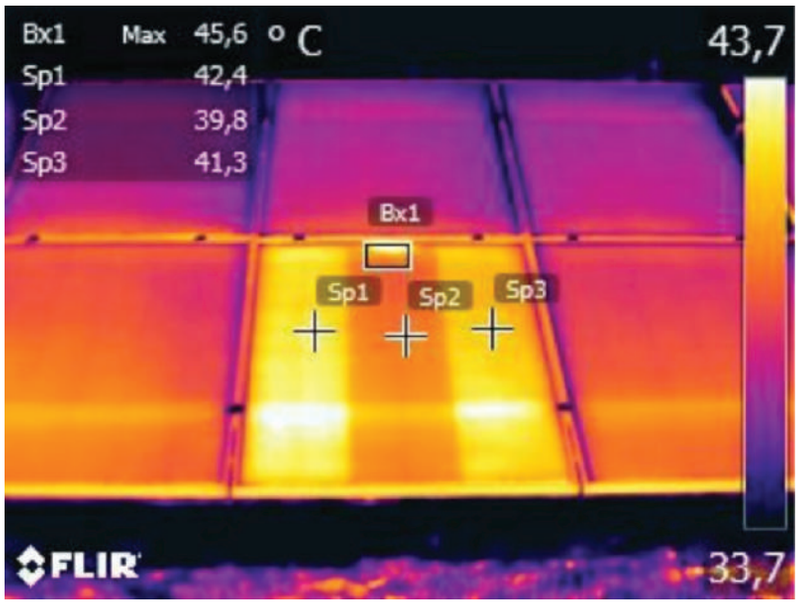


Ilustración 47 Dos tercios del módulo en circuito abierto a causa de dos diodos bypass defectuosos (Fuente: DGS Berlin e. V.)



4.2.4. Cableado y conexiones

Un cableado según las normas vigentes minimiza el riesgo de fallas. Sin embargo, es importante revisar el cableado que está expuesto a la intemperie regularmente para identificar roturas en el aislamiento (Ej. por roedores). Lo que puede llevar a fallas del aislamiento, arco eléctrico e incendio. Las conexiones "plug in" enchufables deben ser del mismo tipo y enchufados correctamente. También la conexión de conectores al cable debe ser efectuado con la herramienta adecuada y según las instrucciones del fabricante.

Ilustración 48 Aislamiento del cable defectuoso por roedor (Fuente: DGS Berlin e. V.)

Ilustración 49 Conectores quemados por mala conexión
(Fuente: DGS Berlin e. V.)

Ilustración 50 Radio de curvatura insuficiente (Fuente: DGS Berlin e. V.)

4.2.5. Estructura de montaje

Estructura fija

Durante el mantenimiento es importante verificar que la estructura ya está bien fijada. Por tanto todos los tornillos y fijaciones deben ser revisados regularmente.

Corrosión

Toda la estructura de montaje en el PTSP debe ser de aluminio lo que no cuenta con mucha tendencia a corrosión. Solo en caso de utilizar materiales metálicos incompatibles, sin separadores electroquímicos, se tiene que revisar la estructura regularmente para detectar corrosión e iniciar contramedidas.

4.2.6. Diagnóstico y pruebas

La siguiente tabla elaborada por la Sociedad Alemana de Energía Solar (DGS) [7], muestra algunas de las fallas más comunes y las pruebas o medidas que se puede realizar para detectarlas. También se destaca que las fallas no siempre se comportan de la misma manera, por lo tanto no siempre es posible utilizar las pruebas que a continuación se mencionan. Las pruebas que están marcadas en rojo son particularmente convenientes de realizar y las pruebas marcadas entre paréntesis deben ser aplicadas bajo ciertas condiciones. A menudo para detectar la falla es conveniente combinar varios métodos. Antes de arreglar la falla debe examinarse si aplican las garantías correspondientes a los equipos que presentaron la falla.

Ilustración 51 Analizador de curva característica (Ejemplo: Solmetric)

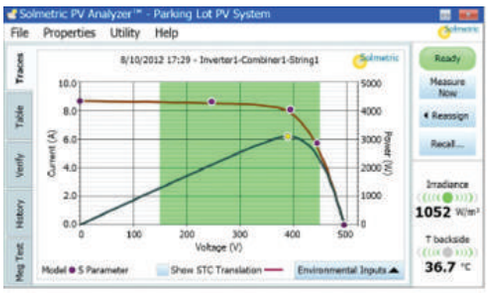


Tabla 3 Tipo de fallas, pruebas y medidas que se pueden usar para detectarlas

	Tipo de falla	Inspección visual	Multitester (V,Ω)	Medición de corriente de operación	Medición de puesta a tierra	Medición de resistencia de aislamiento	Curva característica	Curva característica oscura	ermografía	Análisis de datos del inversor / monitoreo	Análisis de la red CA	Análisis funcional
Módulo FV	Ensuciamiento y sombras	x		x			x		x	(x)		(x)
	Delaminación	x										
	Diodos bypass		x	x			x	x	x	x		x
	Contactos/Conexiones	x		x			x	x	x	x		x
	Humedad	x				x						
	Rotura de vidrio	x		(x)		x	x	x	x			x
	Puntos calientes	x		x			x		x			x
	Degradación			x			x	x	x	x		x
Inversor	Eficiencia								(x)			x
	Ajustamiento de MPPT (SPMP)									x		x
	Armónicos										x	
	Apagados incorrectos	(x)								x	x	
	Falla en la red (mala calidad de suministro)		x							x	x	
Instalación	Fusible defectuoso	x	x	x			x	x	x	x		x
	Diodo de string defectuoso		x	x			x	x	x	x		x
	Cortocircuito	x	x			x	x	x	x	x		x
	Protección de sobretensión defectuosa	x	x									
	Cable defectuoso (rotura/corrosión)			x			x	x	x	x		x
	Aislamiento defectuoso, falla a tierra	x	x			x				*		
	Conexiones defectuosas	x	x	x			x	x	x	x		x
	Resistencia a tierra elevada		x		x							

*Especialmente inversores sin transformador se desconectan en caso de falla a tierra, lo que se puede detectar en el monitoreo.

La falla debe ser documentada con todas las mediciones, condiciones ambientales, contramedidas y prueba del arreglo exitoso.

4.3 MANTENIMIENTO PREDICTIVO

El mantenimiento predictivo (o basado en la condición) es la práctica de usar información en tiempo real para llevar a cabo medidas preventivas como limpieza, o mantenimientos correctivos anticipándose a fallas o encontrándolas tempranamente [5]. Las medidas de mantenimiento que se activan por la condición son las mismas que la de mantenimiento preventivo o correctivo, por esta razón no están listadas por separado. Su objetivo es disminuir la frecuencia de las medidas preventivas, reduciendo el impacto en los costos del mantenimiento correctivo. Por ejemplo, si una falla es detectada en el sistema de monitoreo, hay que tomar una decisión respecto a si la falla es tan grave como para realizar un mantenimiento. En general, no evita el mantenimiento preventivo, pero puede extender el periodo hasta la próxima visita y así reducir el tiempo fuera de operación y aumentar el rendimiento.

Fundamental para esta labor de mantenimiento es el monitoreo de la instalación en tiempo real. En la siguiente sección se resumen sus funcionalidades.

4.3.1. Monitoreo

Un sistema de monitoreo colecta información de la planta FV y su entorno (en el caso que tenga sensores) para que los operadores puedan tener acceso en todo momento a los datos importantes. Los portales de monitoreo facilitan esta información de manera sencilla e intuitiva como tablas, diagramas o gráficos, para poder así analizar y comparar de manera manual o automática y detectar divergencias de su funcionamiento normal. También existen funciones de reporte automáticos de generación de energía y fallas que pueden ser configurables.

En general los sistemas de monitoreo se distinguen por el alcance de los datos adquiridos, las opciones del reporte y de la visualización. La mayoría de los fabricantes ofrece la visualización centralizada en un portal web, donde se puede visualizar y comparar los diferentes sistemas FV. Si el operador tiene diversas plantas, un portal que las centralice todas es más eficiente.

El registrador de datos (datalogger) se comunica con el inversor con un cable o de manera inalámbrica y graban los datos del inversor y de los sensores (opcionales) para mostrar el rendimiento y los valores eléctricos. Los sensores de irradiación, temperatura de módulo y / o ambiente sirven para la evaluación de datos. Con esos sensores es más fácil localizar la falla o la divergencia de la producción esperada.

En la siguiente ilustración, se presenta un esquema general de los componentes de un sistema de monitoreo centralizado y descentralizado para sistemas FV.

Sensores opcionales:
- Sensores de temperatura del módulo
- Sensores de temperatura ambiental
- Sensores de irradiación solar

Ilustración 52 Esquema Sistema de Monitoreo. (1) Monitoreo centralizado (2) Monitoreo descentralizado (Fuente: Elaboración propia)

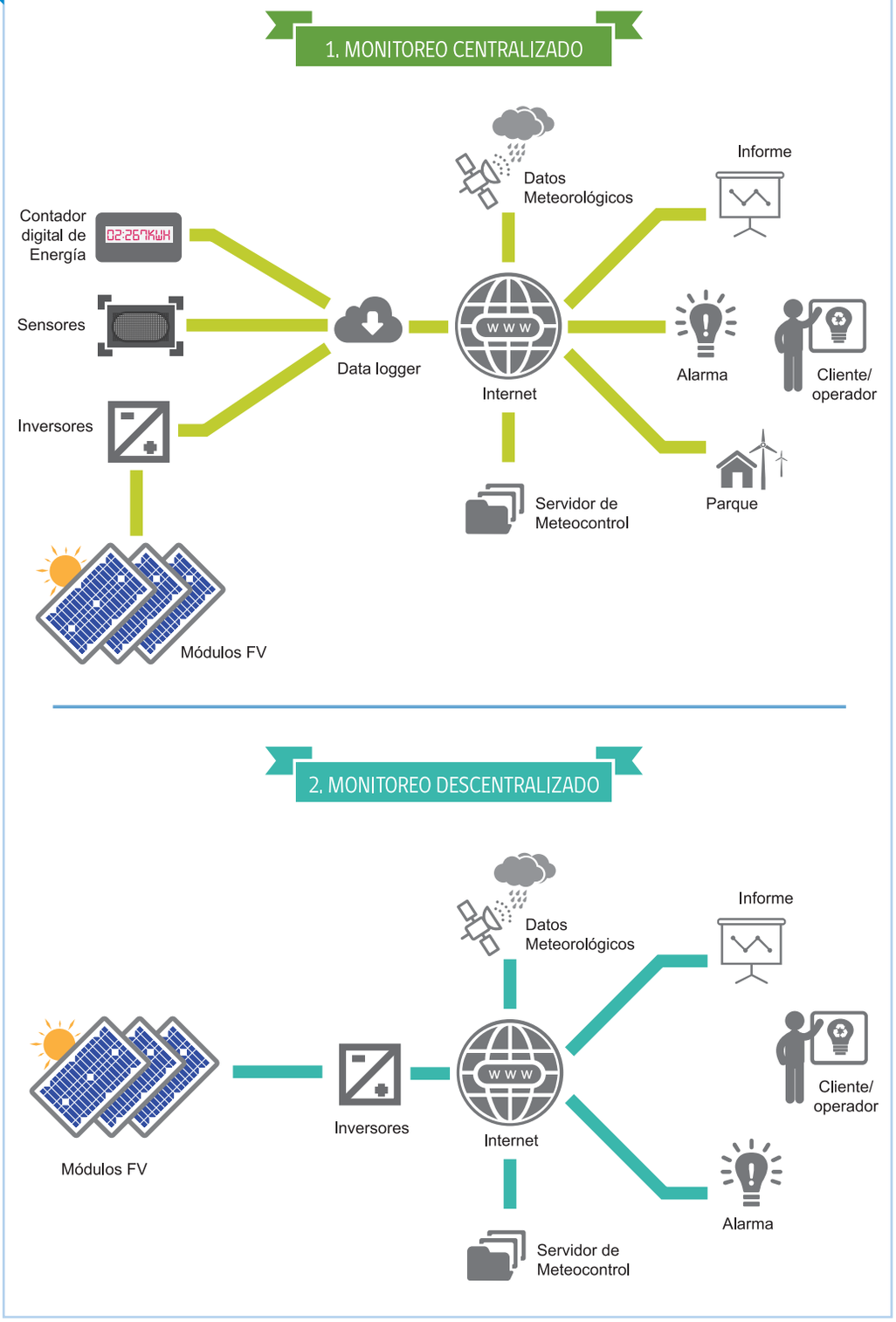


Ilustración 53 Ejemplos de registros de datos externos (dataloggers)

En caso de que ocurra una reducción de producción de energía, el sistema avisa automáticamente a través de un mensaje de falla. Las alarmas pueden ser ajustadas y personalizadas en el portal. Las alarmas no sustituyen el control regular de los datos de monitoreo, porque no todas las fallas pueden ser detectadas automáticamente.

Un portal de monitoreo típico permite visualizar o ajustar lo siguiente:

- Los datos eléctricos de la planta en tiempo real.
- Los datos ambientales si el sistema FV está equipado con sensores.
- Configuración de mensajes de alarma, cuando existen divergencia de los datos reales respecto a los parámetros configurados.
- Realizar consultas o exportación de datos y gráficas comparativas.
- Informes con la opción de personalización para analizar los datos y dispositivos.
- Un mapa con la (s) planta (s) FV.

Revisar el monitoreo no sustituye completamente una visita a la planta. Algunas fallas no pueden ser detectadas sin una inspección visual.

Ilustración 54 Ejemplo portal de monitoreo web GPM instalado en la planta FV GAM

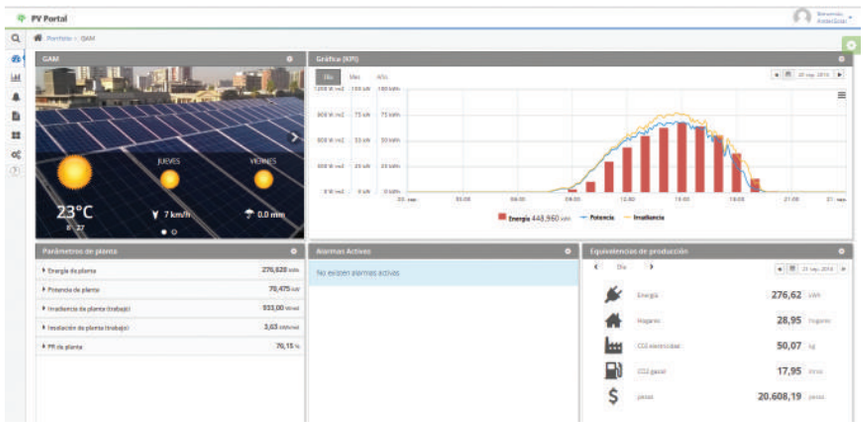
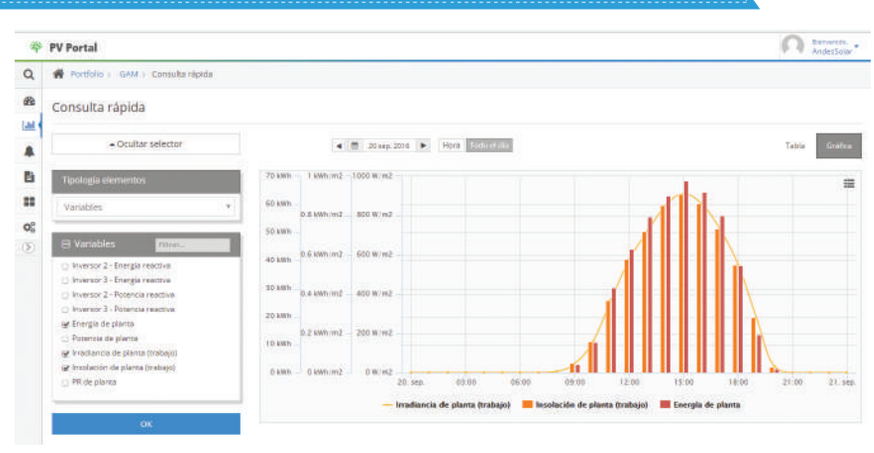


Ilustración 55 Informe de monitoreo del día planta FV GAM



4.3.2. Ahorros y costos en O&M

Los sistemas FV tienen una necesidad menor de mantenimiento comparado a otros sistemas generadores de electricidad. Aun así, el mantenimiento es un componente relevante para garantizar el rendimiento pronosticado. En general el mantenimiento es de bajo costo y las fallas corregidas generalmente valen los gastos y así se garantiza el retorno de la inversión. Sin embargo, siempre hay que tener presente que un sistema que no funciona correctamente no genera ahorros, por lo mismo se debe contraponer las pérdidas posibles por no funcionamiento y los costos para el mantenimiento.

4.3.3. Cálculos de ahorro a partir de datos reales

La generación de energía se puede ver directamente en el inversor y monitoreo, sin embargo, la valorización (precio) de esta energía será distinta si es auto consumida o si es inyectada a la red, aunque dicha diferencia puede ser marginal.

Energía total generada = Energía autoconsumida + Energía inyectada (1)

Dónde:

La **Energía total generada** se puede visualizar en el inversor y en el sistema de monitoreo.

La **Energía inyectada** aparece en el medidor y es registrada en la boleta de electricidad y también se puede ver en el display del medidor bidireccional.

La **Energía autoconsumida** se puede obtener de manera indirecta aplicando la ecuación 1.

Para calcular el ahorro total se debe conocer los ahorros por autoconsumo y los ahorros por inyección:

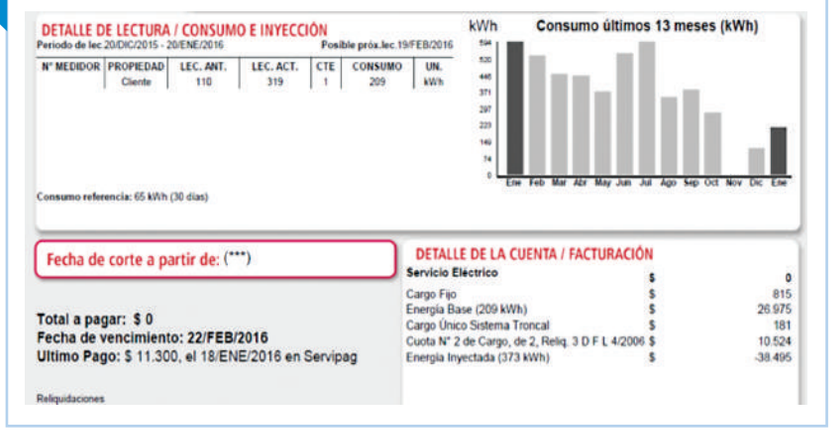
Ahorro total = Ahorro autoconsumo + Ahorro inyección (2)

Ahorro autoconsumo = Energía autoconsumo* Precio Autoconsumo (2.1)

Ahorro inyección = Energía Inyectada *Precio inyección (2.2)

El precio por la energía que es autoconsumida, el precio por la energía que es inyectada, y la cantidad de energía inyectada se puede revisar en la boleta de electricidad.

Ilustración 56 Ejemplo de boleta de la luz Chilectra



DETALLE DE LECTURA / CONSUMO E INYECCIÓN

Periodo de lec.20/DIC/2015 - 20/ENE/2016 Posible próx.lec.19/FEB/2016

N° MEDIDOR	PROPIEDAD	LEC. ANT.	LEC. ACT.	CTE	CONSUMO	UN.
	Cliente	110	319	1	209	kWh

Consumo referencia: 65 kWh (30 días)

Fecha de corte a partir de: (***)

Total a pagar: $ 0
Fecha de vencimiento: 22/FEB/2016
Ultimo Pago: $ 11.300, el 18/ENE/2016 en Servipag

Reliquidaciones

DETALLE DE LA CUENTA / FACTURACIÓN

Servicio Eléctrico		
	$	0
Cargo Fijo	$	815
Energía Base (209 kWh)	$	26.975
Cargo Único Sistema Troncal	$	181
Cuota N° 2 de Cargo, de 2, Reliq. 3 D F L 4/2006	$	10.524
Energía Inyectada (373 kWh)	$	-38.495

Los ahorros por autoconsumo corresponden a lo que se está dejando de pagar por cada kWh que no se compra a la distribuidora. Su precio equivale al costo de la energía consumida con o sin IVA dependiendo del caso.

La energía inyectada se valoriza a un precio similar al precio que la energía consumida. En el caso de las tarifas residenciales (BT1), no se debe confundir el cargo por energía con el precio de la energía.

Todas las tarifas distintas a la BT1 pagan en función de los consumos de energía y potencia, principalmente. En la tarifa BT1, parte del cargo por energía es lo que en otras tarifas se asocia al pago por potencia. El pago por potencia está destinado principalmente a financiar la infraestructura para la distribución de energía.

Ilustración 57 Tarifas de suministro e inyección de energía (Octubre 2015)

VALORES NETOS y c/IVA TARIFAS DE SUMINISTRO			ÁREA 1 A (a) VIGENCIA 1-11-2015	
			$ NETO	$ C/IVA
BT-1	Cargo Fijo	($/cliente)	610,0756	725,99
	Energía Base	($/kWh)	85,0579	101,219
	E. Adicional de Invierno	($/kWh)	111,8655	133,120
BT-1 BT-3	Cargo Fijo	($/cliente)	610,0756	725,99
	Cargo Fijo	($/cliente)	952,3277	1.133,27
	Energía	($/kWh)	58,2504	69,318
	Cons. Parc. Pte. Pta.	($/kWh/mes)	5.199,9411	6.187,93
	Cons. Pte. Punta	($/kWh/mes)	8.363,4369	9.952,49
BT-4	Cargo Fijo BT - 4.1	($/cliente)	610,0756	725,99
	Cargo Fijo BT - 4.2	($/cliente)	952,3277	1.133,27
	Cargo Fijo BT - 4.3	($/cliente)	1.046,1848	1.244,96
	Energía	($/kWh)	58,2504	69,318
	Pot Total Cont o Leída	($/kWh/mes)	1.679,4033	1.998,49
	Dem. Máx. de Punta	($/kWh/mes)	6.684,0336	7.954,00
AT-2 AT-3	Cargo Fijo	($/cliente)	610,0756	725,99
	Cargo Fijo	($/cliente)	952,3277	1.133,27
	Energía	($/kWh)	55,3285	65,841
	Cons. Parc. Pte. Pta.	($/kWh/mes)	3.274,6890	3.896,88
	Cons. Pte. Punta	($/kWh/mes)	4.809,0336	5.722,75
AT-4	Cargo Fijo AT - 4.1	($/cliente)	610,0756	725,99
	Cargo Fijo AT - 4.2	($/cliente)	952,3277	1.133,27
	Cargo Fijo AT - 4.3	($/cliente)	1.046,1848	1.244,96
	Energía	($/kWh)	55,3285	65,841
	Pot Total Cont o Leída	($/kWh/mes)	543,9663	647,32
	Dem. Máx. de Punta	($/kWh/mes)	4.265,0672	5.075,43
Todas las Tarifas	Cargo Único por uso Troncal	($/kWh)	0,73000	0,86870

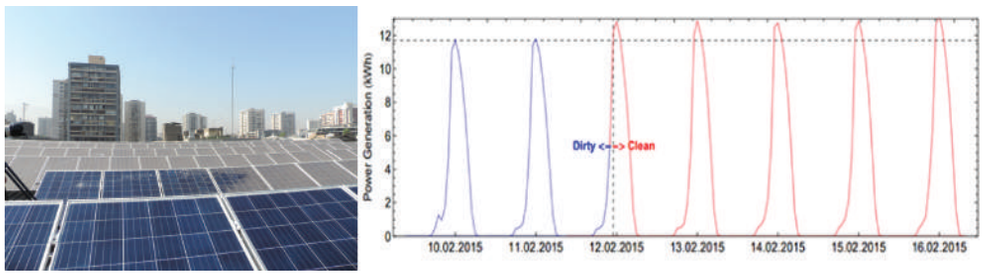
Tarifas de inyección	Energía inyectada en baja tensión	($/kWh)	58,2504	
	Energía inyectada en media tensión	($/kWh)	55,3285	

4.3.4. Costos por limpieza

El ensuciamiento de los módulos disminuye la producción de energía y puede reducir la generación, en general, entre un 10% y un 15% en regiones con alta polución [8]. El porcentaje anterior debe considerarse como referencia, ya que este puede incrementar dependiendo de las condiciones particulares en cada sitio (ej. mayor polución por actividad minera). En consecuencia, de no realizar la limpieza de módulos, se afectará el ahorro en el consumo eléctrico, la rentabilidad del proyecto y el periodo de retorno de la inversión que el sistema FV busca obtener. Es importante tener en cuenta el costo de la limpieza que ofrecen los proveedores locales al momento de calcular los costos de mantenimiento.

La siguiente ilustración muestra una evaluación del impacto en la generación de energía debido a la limpieza realizada en la planta FV en el Ministerio de Energía [14]. La gráfica de la derecha muestra como después de la limpieza la generación de energía aumenta aproximadamente un 10%.

Ilustración 58 Impacto en la generación de energía debido a la limpieza
(Fuente: Raúl Cordero, U. Santiago)



En Chile existe una gran dispersión de precios en cuanto a los costos por limpieza o por la contratación de servicio de mantención, lo que muestra que todavía existe un mercado inmaduro para esta tecnología y este tipo de servicios, lo que es normal considerando el poco tiempo que lleva en efecto la ley de generación distribuida. Es importante señalar que las referencias internacionales para la mantención anual de un sistema FV, hablan de un costo de 0,5-2% de la inversión [15] [5].

4.4 REQUERIMIENTOS PARA CONTRATISTAS

Como se ha mencionado, los sistemas FV son fáciles de mantener, sin embargo, no cualquier persona está capacitada para realizar este tipo de trabajos. En general, no todos los instaladores eléctricos están familiarizados con los trabajos en corriente continua, por eso es muy importante que las personas que

trabajen en el mantenimiento de los sistemas tengan capacitación en sistemas FV y además contar con experiencia comprobada en mantenimiento.

A continuación se dan algunas recomendaciones generales sobre los requerimientos que deben tener los contratistas para poder realizar trabajos de O&M:

Experiencia de la Empresa

- Se sugiere que la empresa tenga experiencia (comprobable) de haber realizado mantenciones de sistemas FV, mayores a 5 kW.

Experiencia del Equipo de Trabajo

- Debe tener un instalador eléctrico autorizado por la SEC, clase A o B, con experiencia en la instalación y mantención de sistemas FV.
- En caso que sea necesario diagnosticar y reparar alguna falla mayor del inversor, el personal debe tener capacitación del fabricante del inversor. Para conocer las capacidades que debe tener el equipo de trabajo a cargo de realizar cada actividad específica, se puede revisar los Anexo A, B, C y D.

Instrumentos y Herramientas

- Dependiendo del tamaño de la instalación, se deben tener los equipos apropiados para diagnosticar fallas, siendo los instrumentos más fundamentales: multitester, equipos de medición de puesta a tierra, sonda de corriente, verificador del aislamiento, medidor de curva característica y cámara termográfica. Dependiendo de la inspección que se va a realizar o de la falla a diagnosticar, se puede ver en la sección de Diagnóstico y Pruebas, cuales son las mediciones más apropiadas a realizar.

Seguridad

- El contratista debe seguir las recomendaciones de seguridad indicadas en las normas chilenas y en este documento o proponer sus propias recomendaciones antes de iniciar los trabajos. Se puede contrastar las recomendaciones de seguridad propuesta por las empresas con las de esta Guía o con indicaciones de un especialista en prevención de riesgos.

Documentación

- Se le debe facilitar al contratista, el Plan de O&M, así como también toda la información que se tenga de la planta. El contratista debe dejar un registro de las actividades de mantención realizadas, tales como: observaciones de condiciones actuales, las condiciones ambientales en el momento de la visita (radiación, temperatura, viento etc.) trabajo realizado, lecturas del medidor, imágenes térmicas y resultados de las pruebas al sistema. Incluir informes de no conformidad para identificar posibles problemas de producción de energía a corto y a largo plazo. Un informe anual es ventajoso, si el contratista también es responsable de la operación.

5. Difusión pública

Se sugiere que los encargados del sistema FV reporten el estado del sistema y sus impactos al personal del lugar, ocupantes del edificio, y al público general que visita la institución. Un sistema FV no solo trae beneficios monetarios como consecuencia de los ahorros, sino que además, bajo un programa de difusión, puede mejorar la imagen de la institución en cuanto a su compromiso con el ambiente, la sustentabilidad, la mitigación del cambio climático y la transparencia. Más aún, puede ser parte de estrategias para la educación ambiental.

A continuación, se muestran algunos ejemplos de cálculos de ahorro de energía y algunas maneras de difundir los resultados.

5.1 CÁLCULO DE EQUIVALENCIAS EN CONSUMO ENERGÉTICO

Un aspecto clave al momento de presentar resultados es el público al que se busca informar, en temas relacionados con energía, no todas las personas están familiarizadas con unidades tales como kWh, en consiguiente, las equivalencias energéticas juegan un rol importante.

Consumo en casas:

En Chile una casa promedio consume aproximadamente 150 kWh/mes.

Una instalación de 10 kWp en la Región Metropolitana genera aproximadamente

15.406 kWh/año. Este último dato se puede obtener a partir del explorador solar para el autoconsumo del Ministerio de Energía [16].

$$15.406\ \frac{\text{kWh}}{\text{año}} * \frac{1\ \text{año}}{12\ \text{meses}} = 1.284\ \frac{\text{kWh}}{\text{mes}} * \frac{1\ \text{casa}}{150\ \frac{\text{kWh}}{\text{mes}}} = 8{,}6\ \text{casas}$$

Resultado: Una instalación de 10 kWp en la Región Metropolitana de Chile generaría el equivalente al consumo promedio de 8,6 casas.

Consumo en ampolletas:

Una ampolleta de bajo consumo, consume 25 W. Asumiendo que se enciende 5 horas al día, su consumo anual seria:

$$25\text{W} * \left(\frac{1\ \text{kW}}{1000\ \text{W}}\right) * \frac{5\ \text{horas}}{1\ \text{día}} * \frac{365\ \text{días}}{\text{año}} \approx 45{,}6\ \frac{\text{kWh}}{\text{año}}$$

Tomando como referencia el ejemplo anterior

$$15.406\ \frac{\text{kWh}}{\text{año}} * \frac{1\ \text{ampolleta}}{45{,}6\ \frac{\text{kWh}}{\text{año}}} \approx 338\ \text{ampolletas}$$

Resultado: Una instalación de 10 kWp en la región metropolitana de Santiago de Chile generaría el equivalente al consumo de 338 ampolletas de bajo consumo (25 W) encendidas por 5 horas diarias.

5.2 CÁLCULO DE REDUCCIÓN DE GASES DE EFECTO INVERNADERO (GEI)

La reducción en las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) es otro aspecto a destacar al momento de entrega de resultados de una manera fácil de entender para que personas no expertas puedan dimensionar los beneficios del sistema FV.

Con los datos de factores de emisión promedio del Sistema Interconectado del Norte Grande (SING) y del Sistema Interconectado Central (SIC), se puede hacer un cálculo simplificado para estimar las toneladas de CO2eq que se pueden evitar al implementar proyectos FV. A continuación se muestran los factores de emisión de ambos sistemas para el 2015, y los resultados.

Tabla 4 Factores de emisión para los sistemas SING y SIC

Reporte de emisión	SING	SIC
Promedio 2015 [tCO_2eq/MWh]	0.790	0.360

$$\mathbf{CO_{2eq}\ evitado\left[\frac{ton}{año}\right] = Energía\ total\ generada\ anual * factor\ de\ emisión}$$

Tomando como referencia el ejemplo anterior de una instalación de 10 kWp en la Región Metropolitana.

$$CO_{2eq}\ evitado\ \frac{ton}{año} = 15.406\ \frac{kWh}{año} * \frac{1\ MWh}{1000\ kWh} * 0.360\ \frac{tonCO_{2eq}}{MWh} = 5{,}5\ \frac{tonCO_{2eq}}{año}$$

Resultado: La generación eléctrica de una instalación de 10 kWp en la Región Metropolitana evita las emisiones de 5,5 toneladas de CO2eq comparado con la generación convencional del mismo monto de kWh de SIC.

Existen otras equivalencias usadas para expresar los beneficios de los sistemas FV. Por ejemplo, existen calculadoras digitales para estimar las emisiones en términos de vehículos motorizados, árboles plantados, gasolina consumida, basura reciclada, etc. [18].

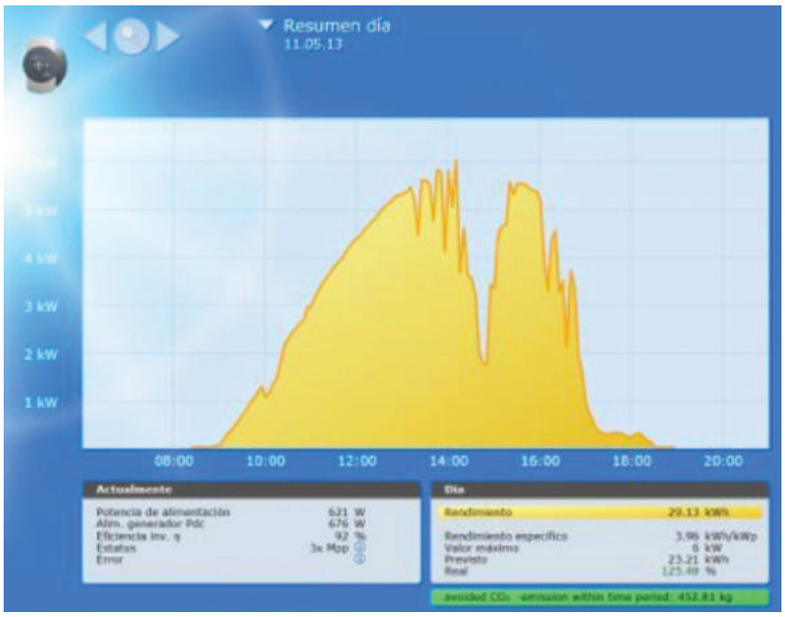
5.3 FORMAS DE DIFUSIÓN PÚBLICA

Existen muchas formas de mostrar los resultados, muchos sitios cuentan con dashboard públicos que se pueden ubicar en lugares de acceso público. Un dashboard es una interfaz, normalmente una pantalla donde el usuario puede visualizar el estado del sistema.

Ilustración 59 Ejemplo de pantalla de visualización. Colegio Alemán de Santiago

La mayoría de los fabricantes de inversores ofrecen en su página web una aplicación para visualizar la generación por hora, diaria, mensual e incluso anual y el CO2eq evitado, en la mayoría de los casos son gratuitos.

Ilustración 60 Ejemplo de gráfica de resumen del día del desempeño del sistema

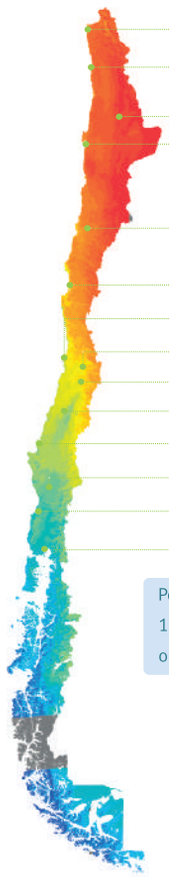


También se puede aprovechar la existencia de una página web de la institución para presentar reportes mensuales o anuales del funcionamiento del sistema. Estos reportes pueden elaborarse con la información presentada automáticamente.

En caso de no contar con una pantalla para presentar la información digital, se puede recurrir a infogramas o infografías. Esto son posters que presentan información de forma entendible al público general, principalmente de carácter educativo y condensando grandes cantidades de información. Esta información también puede ser entregada en folletos, para presentar datos más puntuales se puede recurrir a flyers o volantes.

Ilustración 61 Infograma del PTSP explicando el funcionamiento de un sistema FV (Fuente: Ministerio de Energía)

1. La energía emitida por el sol es el recurso energético más importante para la vida en la tierra. Chile tiene una ubicación privilegiada y con alto potencial para su aprovechamiento.
2. Los paneles solares fotovoltaicos convierten la energía solar en electricidad (corriente continua).
3. El inversor transforma la electricidad producida por los paneles solares de corriente continua a corriente alterna, de modo que pueda ser utilizada en tu hogar, escuela, negocio o industria.
4. La energía producida puede ser utilizada durante las horas de sol y los excedentes que no son aprovechados en tu consumo pueden ser inyectados en la red de distribución para ser utilizados por otros. El medidor bidireccional contabiliza tanto la energía que consumes desde la red como aquella que inyectas en forma de excedentes.
5. Este modelo contribuye a constituir comunidades más limpias, seguras y sustentables.



	Generación de energía eléctrica anual estimada (kWh/año) para 10 kWp	Equivalente al consumo anual de:	Equivalente a plantar:	Reducción de gases efecto invernadero (ton CO_{2eq} evitadas)
Arica	15.600	8,7	278	12
Iquique	14.800	8,2	263	11
Calama	20.800	11,6	370	16
Antofagasta	16.300	9,1	290	12
Copiapó	17.900	9,9	144	6
La Serena	13.300	7,4	107	5
Valparaíso	14.500	8,1	117	5
Santiago	14.900	8,3	120	5
Rancagua	16.100	8,9	130	6
Talca	16.200	8,4	123	5
Concepción	14.100	7,8	114	5
Temuco	12.700	7,1	102	4
Valdivia	12.200	6,8	98	4
Puerto Montt	10.700	5,9	86	4

Por ejemplo un sistema fotovoltaico de 100 kWp en la comuna de Santiago generaría 149.000 kWh/año equivalente al consumo anual de 83 casas o equivalente a plantar 1.200 árboles, evitando la emisión de 50 toneladas de CO_{2eq}

Fuente: Explorador Solar del Ministerio de Energía / (http://walker.dgf.uchile.cl/Explorador/Solar/)

7,80
5,50
3,30
1,05
No Data
Radiación Global Horizontal (kWh/m²/día)

1 ton CO_{2eq} = 23,3 plantados hace 10 años

Consumo de una promedio: 150 kWh/mes

6. Recursos Adicionales

6.1 Energía Fotovoltaica

Ministerio de Energía, Educar Chile, Aprende con Energía:
http://www.aprendeconenergia.cl/
Ministerio de Energía, Explorador Solar:
http://walker.dgf.uchile.cl/Explorador/Solar3/
Ministerio de Energía, Programa Techos Solares Públicos:
http://www.minenergia.cl/techossolares/

6.2 Marco Regulatorio y Normativa

Ministerio de Energía, Ley 20.571:
http://www.minenergia.cl/ley20571/
Superintendencia de Electricidad y Combustibles, Ley 20.571:
http://www.sec.cl/portal/page?_pageid=33,5819695&_dad=portal&_schema=PORTAL

6.3 Aspectos de Seguridad

Instituto de Salud Pública de Chile, Ministerio de salud: Guía para la selección y Control de Equipos de Protección Personal para Trabajos con Riesgo de Caídas.
http://www.ispch.cl/sites/default/files/03-EPP%20Anticaida(20112012).pdf

7. Referencias

[1] REN21, «Renewables 2015 Global Status Report,» Paris, 2015.

[2] PVTrin, «Catálogo de fallos comunes y prácticas inadecuadas en la instalación y mantenimiento de sistemas fotovoltaicos,» EPIA, 2011.

[3] FEMP, «O&M Best Practices for Small-Scale PV Systems,» 2015. [En línea]. Available: http://energy.gov/eere/femp/federal-energy-management-program. [Último acceso: 20 Octubre 2015].

[4] Organización Mundial de la Salud, «Centro de prensa. Nota descriptiva N.° 344. Caídas,» Agosto 2010. [En línea]. Available: http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs344/es/index.html. [Último acceso: Noviembre 2015].

[5] NREL, «SACP Best Practices PV Operations & Maintenance,» NREL, Denver, Colorado, 2015.

[6] J. Haney y A. Burstein, «PV System Operation and Maintenance Fundamentals,» Solar America Board for Codes and Standards, 2013.

[7] DGS, Planning and Installng Photovoltaic Systems, 3 ed., New York: Routledge, 2013.

[8] EPRI, «Addressing Solar Photovoltaic Operations and Maintenance Challenges,» Electric Power Research Institute, Palo Alto, 2010.

[9] IEA, «Reliability Study of Grid Connected PV Systems. Field Experience and Recommended Design Practice,» Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme, Freiburg, 2002.

[10] NREL, «Photovoltaic-Reliability R&D Toward a Solar-Powered World,» de Society of Photographic Instrumentation Engineers (SPIE) Solar Energy + Technology Conference, San Diego, 2009.

[11] L. Cristaldi, M. Faifer, M. Lazzaroni, M. M. Abdel Fattah, M. Catelani y L. Ciani, «Failure Modes Analysis and Diagnostic Architecture for Photovoltaic Plants,» de 13th IMEKO TC10 Workshop on Technical Diagnostics. Advanced measurement tools in technical diagnostics for systems' reliability and safety, Warsaw, 2014.

[12] F. Neumann, «Curso de formación de instructores para instalaciones fotovoltaicas. Operación y mantenimiento,» RENAC Renewables Academy, Antofagasta, 2015.

[13] R. Cordero, «Efecto del Polvo en Paneles PV,» Universidad de Santiago, SAntiago, 2015.

[14] Eclareon,Leonardo Energy, European Copper Institue, «APPLICATION NOTE MEDIUM SIZE PV PLANT,» Eclareon, 08.2013.

[15] Ministerio de Energía, «Explorador de Energía Solar,» fcfm Universidad de Chile, [En línea]. Available: http://walker.dgf.uchile.cl/Explorador/Solar/.

[16] Ministerio de Energía, «Huella de Carbono. Inventario de Emisiones de GEI para PyMEs,» GISMA, [En línea]. Available: http://huelladecarbono.minenergia.cl/.

[17] EPA, «Greenhouse Gas Equivalencies Calculator,» United States Environmelntal Protection Agency, 23 Octubre 2015. [En línea]. Available: http://www2.epa.gov/energy/greenhouse-gas-equivalencies-calculator.

[18] F. Vignola, F. Mavromatakis y J. Krumsick, «Performance of PV Inverters,» de Proc. of the 37th ASES Annual Conference, San Diego, 2008.

[19] M. Catelani, L. Ciani y E. Simoni, «Photovoltaic inverter: thermal characterization to identify critical components,» de Of XX IMEKO World Congress-Metrology for Green Growth, Busan, 2012.

[20] F. Chan, E. Torres, V. Sánchez, H. Toral y R. Acosta, «Determinación de la vida útil de un Inversor para aplicaciones fotovoltaicas,» Revista de ingeniería eléctrica, electrónica y comupación, vol. 12, nº 1, 2014.

[21] SMA Solar Technologies, «Order form- SMA Warranty Extension,» SMA Solar Technologies, Niestetal.

[22] F. Y. T. V. a. A. V. Seth B. Darling, «Energy & Environmental Science- Assumptions and the levelized cost of energy for photovoltaics,» vol. 4, 2011.

[23] GSES, Grid-Connected PV Systems Design and Installation, Australia: Global Sustainable Energy Solutions Pty. Ltda., 2012.

[24] J. C. J. K. L. Y. a. C. T. T. H. S. Huang, «Performance and Availability Analyses of PV Generation Systems in Taiwan,» International Journal of Electrical, Computer, Energetic, Electronic and Communication Engineering, vol. 5, nº 6, pp. 36-40, 2011.

[25] A. Woyte, M. Richter, D. Moser, S. Mau, N. Reich y U. Jahn, «Monitoring of Photovoltaic Systems: Good Practices and Systematic Analysis,» de 20th European PV Solar Energy Conference and Exhibition, Paris, 2013.

[26] IEA, «Analytical Monitoring of Grid-connected Photovoltaic Systems: Good Practices for Monitoring and Performance Analysis,» International Energy Agency, Brussels, 2014.

[27] SEC, «RGR N° 1 Diseño y Ejecución de las Instalaciones fotovoltaicas conectadas a red,» Ministerio de Energía, 2014.

[28] SEC, «RGR N° 2 Procedimiento de comunicación de puesta en servicio de generadoras residenciales,» Ministerio de Energía, 2014.

[29] APVI, «Australian Technical Guidelines for Monitoring and Analysing Photovoltaic Systems,» The Australina Photovoltaic Institute, New South Wales, 2013.

[30] TÜV Rheinland, Fraunhofer ISE, «Bewertung des Brandrisikos in Photovoltaik-Anlagen und Erstellung von Sicherheitskonzepten zur Risikominimierung,» TÜV Rheinland Energie und Umwelt GmbH, Cologne, 2015.

[31] U.S. Department of Energy Federal Energy Management Program (FEMP), «Whole Vuilding Desing Guide. Photovoltaics,» 24 08 2012. [En línea]. Available: https://www.wbdg.org/resources/photovoltaics.php. [Último acceso: 27 11 2015].

[32] Superintendencia de Electricidad y Combustibles, «Aspectos de Seguridad en Instalaciones Fotovoltaicas conectadas a red,» Unidad de Energías Renovables, Santiago, 2015.

[33] Superintendencia de Electricidad y Combustibles, «NCH Elec. 4/2003,» Santiago, 2003.

8. Anexo

8.1 Anexo A: Descripción de Actividades de Gestión Activos de O&M Sistemas FV

La siguientes actividades de gestión de activos han sido adaptadas de "O&M Best Practice for Small-Scale Photovoltaic Systems", Federal Energy Management Program, U.S Department of Energy.

Área de Actividad	Componente	Descripción	Frecuencia	Proveedor de Servicios
Administración	Gestión de activos	Operaciones diarias y monitoreo del rendimiento	Continuo	Asistente Administrativo
Administración	Gestión de activos	Alarmas de monitoreo y parámetros específicos de alerta del sitio	Según necesidad	Electricista
Administración	Gestión de activos	Gestionar el inventario de piezas de repuesto	Según necesidad	Electricista
Administración	Documentos	Documentar todas las actividades de O&M en una carpeta para todo el personal de servicio	Continuo	Asistente administrativo
Administración	Documentos	Confirmar disponibilidad y tomar medidas para garantizar las instrucciones de operación, garantías, garantías de rendimiento y otra documentación del proyecto	Según necesidad	Asistente administrativo
Administración	Documentos	Revisar contratos O&M y asegurar que realmente se proveen los servicios	Según necesidad	Asistente administrativo
Administración	Documentos	Actualizar el registro con las actividades de mantenimiento preventivo y seguimiento de los problemas o cuestiones de garantía y asegurar el registro en terreno	Continuo	Asistente administrativo
Administración	Documentos	Reunirse con el personal clave en terreno para generar conciencia, preguntar por problemas e informar resultados	Anual	Inspección
Administración	Medidor/ Inversor	Mantener un registro de entrega de potencia acumulativa (kWh hasta la fecha) y graficar este valor contra la fecha, comparar este valor con otras fuentes. Explicar la variación por temporada o por tiempo	Semestral	Asistente administrativo

8.2 Anexo B: Descripción de Servicios y Cualificación para O&M de sistemas FV

Muchas de las tareas de operación y mantenimiento FV requieren conocimientos especializados. Las típicas empresas de mantenimiento de inmuebles no son adecuadas para los requerimientos de un plan exitoso de O&M, debido a que el técnico industrial o eléctrico promedio no está familiarizado con el cableado y componentes CC, inversores y la naturaleza incontrolable e intermitente de los recursos y la generación de energía resultante. Es necesaria la capacitación especializada del personal de mantenimiento, como es necesario el conocimiento por parte del propietario del edificio y su personal, para proporcionar O&M efectivo, y al tiempo garantizar la seguridad. A modo de referencia, a continuación se describen las categorías de servicios dentro de la O&M, su alcance y las cualificaciones necesarias. [2]

Tabla 5
Lista de actividades de mantenimiento correctivo y capacitación necesaria

Categoría de Servicio	Alcance del Trabajo	Calificaciones
Asistente administrativo	Registro, confirmación de servicios, correspondencia	Excelentes habilidades interpersonales y comunicativas (verbales y escritas). Mantenimiento de registros diligente. Excelentes habilidades de MS Office y PC
Limpiador de módulos	Limpieza de arreglos FV	Capacitación en limpieza de módulos FV, exámenes ocupacionales, exámenes o certificado para trabajo en altura física; con contrato y seguro; licencia de conducir y transporte; mínimos 18 años de edad
Ingeniero estructural	Inspección de estructuras	Título de Ingeniero civil estructural o calculista
Electricista especialista en FV	Ejecutará o supervisará los trabajos relacionados con corriente continua y alterna. Reemplazo de módulos, reemplazo de fusibles, cajas CC, recableado, reparación de canalizaciones y reparación de fallas a tierra	Instalador eléctrico SEC clase A o B, con capacitación o experiencia en sistemas fotovoltaicos; sistemas eléctricos de baja tensión; exámenes ocupacionales, exámenes o certificado para trabajo en altura física; con contrato y seguro
Electricista	Ejecutará o supervisará los trabajos relacionados con corriente alterna. Instalador SEC clase C, en sistema FV hasta 100 kW y D en sistema FV hasta 10 kW. Puede realizar trabajos en CC bajo la supervisión de un instalador clase A o B	Instalador eléctrico SEC clase C o D, con capacitación o experiencia en sistemas fotovoltaicos y sistemas eléctricos de baja tensión; exámenes ocupacionales, exámenes o certificado para trabajo en altura física; con contrato y seguro
Inspección	Análisis y diagnóstico; pruebas de inspección visual, pruebas especificas	Capacitación o experiencia en diagnóstico y análisis de sistemas FV (Ej. Cámaras termográficas u otros). Instalador eléctrico SEC clase A o B, con capacitación o experiencia en sistemas de fotovoltaicos; y sistemas eléctricos de baja tensión; exámenes ocupacionales, exámenes o certificado para trabajo en altura física; con contrato y seguro
Especialista en inversor	Reparación de inversores, actualización de software	Certificado o autorización del fabricante para operar, diagnosticar y reparar inversores. Instalador eléctrico SEC clase A o B, con capacitación o experiencia en sistemas de fotovoltaicos; y sistemas eléctricos de baja tensión; exámenes ocupacionales, exámenes o certificado para trabajo en altura física; con contrato y seguro
Mecánico	Mantenimiento y reparación o reemplazo de componentes de la estructura de soporte	Capacitación o experiencia en sistemas FV, especialmente en estructuras; exámenes ocupacionales, exámenes o certificado para trabajo en altura física; con contrato y seguro

8.3 Anexo C: Descripción de Actividades de Mantenimiento Preventivo

El mantenimiento preventivo se requiere para maximizar el rendimiento del sistema FV y tomar medidas para prevenir fallas. Se sugiere llevar a cabo los trabajos de mantenimiento preventivo temprano en la mañana o tarde en la noche para evitar el estrés por calor, reducir al mínimo el peligro por descarga eléctrica, y reducir al mínimo las pérdidas de producción. Se divide en cinco áreas de actividad: Inspección, limpieza, servicios, pruebas y respuesta en caso de emergencia. La tabla siguiente contiene descripciones de actividades de mantenimiento preventivo [3].

Área de Actividad	Componente	Descripción	Frecuencia	Proveedor de Servicios
Limpieza	Módulo FV	Limpiar los módulos FV según las instrucciones del fabricante	Dependiendo del sitio, hasta mensual	Limpieza del módulo
Respuesta en caso de emergencia	Sistema FV	Contratista disponible por email y teléfono (Ej. 24 h x 7d x 365d)	Permanente	Electricista especialista en FV
Inspección	Sistema FV	Escanear con cámara termográfica para identificar conexiones flojas. Incluyendo todas las cajas de conexión	Cada dos años	Electricista especialista en FV con capacitación en uso de cámara termográfica
Inspección	Cajas de conexión CC	Inspeccionar las cajas eléctricas por corrosión o intrusión de agua o insectos. Limpiar o secar y sellar cajas si es necesario	Semestral	Electricista
Inspección	Cajas de conexión CA	Inspeccionar las cajas eléctricas por corrosión o intrusión de agua o insectos. Limpiar o secar y sellar cajas si es necesario	Semestral	Electricista
Inspección	Cajas de conexión CC	Comprobar fusibles y que todas las conexiones eléctricas estén apretadas	Semestral	Electricista especialista en FV
Inspección	Cajas de conexión CA	Comprobar fusibles y que todas las conexiones eléctricas estén apretadas	Semestral	Electricista
Inspección	Protecciones CC	Verificar el funcionamiento de los interruptores y dispositivos de protección	Anual	Electricista especialista en FV
Inspección	Protecciones CA	Verificar el funcionamiento de los interruptores y dispositivos de protección	Anual	Electricista
Inspección	Dispositivos contra sobretensión	Verificar el funcionamiento, si aplica	Anual	Electricista
Medición	Toma de tierra	Probar la toma de tierra de sistema con medidor	Anual	Electricista especialista en FV
Inspección	Cableado CC	Inspeccionar el cableado para detectar signos de grietas, defectos, desconexiones, sobrecalentamiento, cortos circuitos, fallas a tierra, y plagas	Anual	Electricista especialista en FV

Área de Actividad	Componente	Descripción	Frecuencia	Proveedor de Servicios
Inspección	Cableado CA	Inspeccionar el cableado para detectar signos de grietas, defectos, desconexiones, sobrecalentamiento, cortos circuitos, fallas a tierra, y plagas	Anual	Electricista
Inspección	Sistema FV	En caso de infestación por insectos o plagas. Retire cualquier nido de las cajas eléctricas o alrededor de arreglo FV	Anual	Experto en control de plagas bajo la supervisión de un Electricista especialista en FV
Inspección	Inversor	Observar indicadores operacionales en la pantalla del inversor o en el monitoreo para garantizar que la cantidad de energía que se genera es la adecuada bajo las condiciones ambientales. Comparar las lecturas con diagnóstico de referencia	Diario/ semanal	Inspección
Inspección	Monitoreo	Inspección de sensores de monitoreo para asegurar que están operativos y dentro de las especificaciones	Anual	Electricista especialista en FV
Inspección	Arreglo FV	Prueba de voltaje de circuito abierto de strings	Cada tres / cuatro años	Electricista especialista en FV
Inspección	Arreglo FV	Revisar todo los componentes por corrosión, eliminarlo volver a pintar si es necesario	Anual	Mecánico
Inspección	Arreglo FV	Revisar la firmeza de la fijación de los módulos. Re-apretar los tornillos que se encuentren sueltos Revisar si los módulos no tienen tensión mecánica por cambios de estructura o techo	Anual	Mecánico
Inspección	Arreglo FV	Recorrer cada fila del arreglo FV y verificar los módulos FV. Notificar cualquier daño y particularidades para tomar las medidas adecuadas (Ej. Reemplazo en garantía). Notar la ubicación y número de serie de los módulos cuestionables	Anual	Electricista especialista en FV
Inspección	Estructura de montaje	Inspeccione el sistema de montaje si es con lastre, por movimientos anormales	Anual	Mecánico
Inspección	Estructura de montaje	Inspeccionar las perforaciones en el techo, si están sellados perfectamente	Anual	Mecánico
Inspección	Arreglo FV	Determinar si hay objetos nuevos, como el crecimiento de la vegetación (arboles), están causando sombra en el arreglo FV y moverlos si es posible. Retirar cualquier residuo detrás de colectores y de canaletas	Anual	Podador de árboles
Inspección	Módulo FV	Utilizar cámara de termográfica para inspeccionar por puntos calientes; falla del diodo de bypass	En caso de sospecha	Electricista especialista en FV, con capacitación en uso de cámara termográfica

Área de Actividad	Componente	Descripción	Frecuencia	Proveedor de Servicios
Inspección	Módulo FV	Control de torque de módulo PV e inspección visual	5 años	Electricista
Inspección	Estructura de montaje	inspección y verificación de torque de la estructura	5 años	Mecánico
Inspección	Módulo FV	Inspección: corrosión y laminado o amarillamiento	Anual	Electricista especialista en FV
Servicio	Instrumentos	Cambiar o volver a calibrar los instrumentos	Según el fabricante	Laboratorio certificado
Servicio	Inversor	Revisar dispositivos de sobretensión, en caso de defecto sustituirlos	Según el fabricante o anual	Electricista especialista en inversor
Servicio	Inversor	Instalar las actualizaciones recientes de software para adquisición de datos o programación de inversor y sistemas de monitoreo	Según el fabricante	Especialista en inversor
Servicio	Inversor	Limpiar el polvo (aspirar) de las aletas disipadoras de calor	Depende del sitio, como mínimo anual	Electricista
Servicio	Inversor	Limpiar o reemplazar, según sea el caso, los filtros de aire	Según fabricante	Electricista
Servicio	Arreglo FV	Retire nidos de aves del área del arreglo FV o de su estructura	Anual	Control de Plagas bajo la supervisión de un Electricista especialista en FV
Prueba	Medición	Realizar prueba de funcionamiento. Medir la curva característica V-C (Voltaje-Corriente). Comparar las lecturas con diagnóstico de referencia (eficiencia original del sistema)	En caso de sospecha o cada tres/cuatro años	Electricista especialista en FV
Prueba	Inversor	Si no tiene indicador, prueba de pararrayos en inversor	Según fabricante o anual	Especialista en inversor
Servicio / **Prueba**	Módulo FV	Reemplazar módulos que exhiben quebraduras del vidrio, falla del diodo bypass, puntos de temperaturas altas. Probar módulos con formación de burbuja, delaminación u otros espectacularidades	Según necesidad, como mínimo anual	Electricista especialista en FV
Servicio	Módulo FV	Reemplazar módulos que muestran corrosión de los conductores eléctricos a la caja de conexión	Según necesidad, como mínimo anual	Electricista especialista en FV

8.4 Anexo D: Descripción de Actividades de Mantenimiento Correctivo

La siguiente lista de actividades de mantenimiento correctivo intenta de cubrir todas las medidas posibles [3].

Actividad	Componente	Descripción del Servicio	Proveedor de Servicios
Respuesta de emergencia	Sistema	Envío de contratista en respuesta a las alarmas, alertas	Electricista
Reparación	Cableado CA	Reemplazar fusible/protección CA fuera del inversor	Electricista
Reparación	Cableado CA	Reemplazar los dispositivos de protección (interruptores) en tablero eléctrico	Electricista
Reparación	Cableado CA	Sustituir canalizaciones CA rotas o dañadas	Electricista
Reparación	Cableado CA	Reparación de falla entre fases	Electricista
Reparación	Cableado CA	Localizar fallas entre fases CA	Electricista
Reparación	Cableado CC	Reemplazar fusibles en caja de conexión CC	Electricista especialista en FV
Reparación	Cableado CC	Sustituir los conectores entre módulos	Electricista especialista en FV
Reparación	Cableado CC	Reemplazar cable de conexión a la caja de la conexión CC	Electricista especialista en FV
Reparación	Cableado CC	Redirigir canalizaciones	Electricista especialista en FV
Reparación	Cableado CC	Sustituir canalizaciones CC rotas o dañadas	Electricista especialista en FV
Reparación	Cableado CC	Reparación de falla a tierra	Electricista especialista en FV
Reparación	Cableado CC	Localizar falla a tierra	Electricista especialista en FV
Reparación	Cableado CC	Reemplazar fusibles en caja de conexión CC hacia al inversor	Electricista especialista en FV
Reparación	Cableado CC	Sellar cajas de conexiones con filtración	Electricista especialista en FV
Reparación	Inversor	Reemplazar fusibles	Electricista especialista en FV
Reparación	Inversor	Encender/Parar Inversor (reiniciar para borrar error arreglado)	Electricista especialista en FV
Reparación	Inversor	Reemplazar el motor del ventilador del inversor	Especialista en inversor

Actividad	Componente	Descripción del Servicio	Proveedor de Servicios
Reparación	Inversor	Reemplazar tarjeta de adquisición de datos del inversor; diagnosticar con el código de falla	Especialista en inversor
Reparación	Inversor	Reemplazar tarjeta de control del inversor (señal PWM, tensión, fase, frecuencia, apagado); diagnosticar con el código de falla	Especialista en inversor
Reparación	Inversor	Reemplazar el software; diagnosticar con el código de falla	Especialista en inversor
Reparación	Inversor	Reemplazar tarjeta de rastreo punto de máxima potencia (RPMP); diagnosticar con el código de falla	Especialista en inversor
Reparación	Inversor	Sustituir el contactor CA en inversor	Especialista en inversor
Reparación	Inversor	Reemplazar componentes eléctricos en inversor	Especialista en inversor
Reparación	Inversor	Reemplazar contactores CC en inversor	Especialista en inversor
Reparación	Inversor	Sustituir la protección contra sobretensiones en inversor	Especialista en inversor
Reparación	Inversor	Reemplazar componentes en inversor (Indicador de Falla a Tierra)	Especialista en inversor
Reparación	Inversor	Sustituir condensadores en inversor	Especialista en inversor
Reparación	Inversor	Reemplazar los inductores (bobinas) en inversor	Especialista en inversor
Reparación	Inversor	Reemplazar fusibles internos de inversor	Especialista en inversor
Reparación	Inversor	Reemplazar interruptor/relé en inversor	Especialista en inversor
Reparación	Inversor	Reinstalar el software de control del inversor	Especialista en inversor
Reparación	Inversor	Encender manualmente el disparo por falla de arco	Especialista en inversor
Reparación	Monitoreo	Restablecer la conexión por pérdida de internet	Técnico TI
Reparación	Estructura de soporte	Reparar o sustituir piezas de la estructura de soporte por corrosión o daños físicos	Mecánico
Reparación	Módulo	Reemplazar módulos con daños al marco	Electricista especialista en FV
Reparación	Techo	Reparación de techo, filtraciones con respecto a problemas de perforaciones provocadas por la estructura de FV	Especialista en Techos
Reparación	Techo	Reemplazar el techo (cubierta nueva) en relación a problemas de perforaciones provocadas por la estructura de FV	Especialista en Techos
Reparación	Techo	Reparación de material de la cubierta, problemas relacionados con perfora-ciones provocadas por la estructura FV	Especialista en Techos
Reparación	Inversor	Cambiar el bloque de terminales/bornes	Electricista especialista en FV
Reparación	Cajas de conexión CC	Reparación/reemplazo de cajas (CC, CA)	Electricista especialista en FV
Reparación	Inversor	Reemplazar el inversor	Especialista en inversor