

Optimización del Rendimiento y Sostenibilidad en Sistemas Fotovoltaicos:

Un Enfoque Práctico para el Mantenimiento Preventivo en la Comuna de Florida

Trabajo de Titulación

Para optar al Título de Ingeniero en Mantenimiento Industrial

con Licenciatura en Ingeniería

Autor: Bryan Rifo Mellado

Profesor Guía: Marcelo Quiroz Neira

Año: 2025

Sede: [Concepción]



CONSTANCIA DE VALIDACIÓN Y CONFIDENCIALIDAD DE MONOGRAFÍA A REPOSITORIO ACADÉMICO

1.- IDENTIFICACIÓN DEL TRABAJO ACADÉMICO

Tipo de monografía (marcar una opción): ☒ Memoria o trabajo de título; ☐ Tesis de Postgrado;

Título del trabajo: Optimización del rendimiento y sostenibilidad en sistemas fotovoltaicos: un enfoque práctico para el mantenimiento preventivo en la comuna de Florida

Nombre del candidato(a): Bryan Fernando Rifo Mellado

Carrera / Grado: Ingeniería en Mantenimiento Industrial

Campus: Concepcion ; **Departamento:** Mecánica

2.- VALIDACIÓN DEL PROFESOR GUÍA/DIRECTOR DE TESIS

Yo, Marcelo Enrique Quiroz Neira, en mi calidad de profesor(a) guía/director(a) del trabajo académico mencionado anteriormente **DEJO CONSTANCIA** que:

- He revisado esta versión del documento y corresponde a la versión final aprobada del trabajo.
- El trabajo cumple con los requisitos académicos y de formato establecidos por la institución

3.- EVALUACIÓN DE CONFIDENCIALIDAD POR PROPIEDAD INDUSTRIAL

☒ El trabajo **NO contiene información que amerite confidencialidad** y puede ser publicado de inmediato en repositorio con acceso abierto.

☐ El trabajo **CONTIENE** información con potenciales implicancias de propiedad industrial o intelectual y requiere un periodo de confidencialidad (embargo) por:

☐ 6 meses; ☐ 12 meses; ☐ 2 años; ☐ 3 años; ☐ 5 años; ☐ 10 años

Fundamentación de la necesidad de confidencialidad (obligatorio si se solicita embargo):

4.- FIRMAS

Profesor(a) guía o director(a) de memoria o tesis:

Fecha: 29-07-2025 ; Firma: Marcelo Quiroz N.

Estudiante o Candidato(a):

Fecha: 29-07-2025 ; Firma: Bryan Rifo

Este formulario debe ser insertado como página 2 de la memoria o tesis, completado y firmado por estudiante y profesor(a) antes de la entrega en portal PRISMA de Biblioteca USM.

Resumen General

Implementación de Paneles Solares Fotovoltaicos en la Comuna de Florida

En los últimos años, la comuna de Florida ha experimentado avances significativos en el ámbito de las energías renovables, especialmente en la incorporación de sistemas solares fotovoltaicos como parte de una estrategia para fomentar la eficiencia energética, reducir costos eléctricos y contribuir a la sostenibilidad ambiental.

Diversas organizaciones comunitarias, como juntas de vecinos, han sido beneficiadas con proyectos financiados por el Fondo de Acceso a la Energía (FAE) del Ministerio de Energía, permitiendo la instalación de sistemas fotovoltaicos de generación distribuida. Uno de los casos más destacados corresponde a la Junta de Vecinos N°18 de Cancha Los Monteros, donde se instalaron dos paneles solares de 550 W, logrando una reducción cercana al 70 % en el consumo eléctrico de la sede vecinal. Este tipo de iniciativas no solo permite disminuir significativamente los gastos en electricidad, sino que también fortalece el compromiso comunitario con el desarrollo sostenible.

Además, Florida ha sido una de las comunas seleccionadas dentro de un plan regional que abarca 17 proyectos similares en organizaciones sociales, impulsando el uso de energía limpia y equitativa. Aunque aún no se reportan implementaciones masivas a nivel domiciliario, la comuna cuenta con el potencial técnico y social para expandir el uso de la energía solar fotovoltaica hacia hogares y pequeñas empresas, a través de futuros programas como Casa Solar, también impulsado por el Ministerio de Energía.

En términos de impacto, la instalación de paneles solares ha generado beneficios económicos, ambientales y sociales. Se ha promovido una mayor conciencia energética en la comunidad y se han sentado las bases para una transición energética local sostenible. La experiencia exitosa de estos proyectos demuestra que, con el apoyo adecuado, es posible avanzar hacia una matriz energética más limpia y descentralizada en comunas rurales y semiurbanas como Florida.

Dedicatoria

Agradezco en primer lugar a Dios por brindarme la fortaleza y la perseverancia necesarias para alcanzar esta importante meta profesional. Expreso mi más profundo agradecimiento a mi familia, cuyo apoyo incondicional ha sido fundamental en cada etapa de este proceso. En especial a mis padres, por sus enseñanzas, valores y constante aliento que me han formado como persona y como profesional.

A mis amigos, pareja y seres queridos que con palabras de ánimo y compañía constante contribuyeron a mantenerme enfocado y motivado. Debo mencionar a mi querida tía Jovita por su apoyo invaluable en momentos difíciles y a todas aquellas personas que han sido parte significativa de este camino.

Reconozco también la dedicación del profesor guía Marcelo Quiroz Neira, por su compromiso, orientación y disposición durante el desarrollo de esta memoria, su guía fue clave para consolidar este trabajo.

Este logro no es solo personal, sino también colectivo, y representa el esfuerzo compartido de quienes me han acompañado en este desafío. Con humildad y orgullo doy un paso más en mi camino profesional como Ingeniero en Mantenimiento Industrial.

Muchas gracias.

Índice

1. Introducción.....
6

2. Objetivos	General	y	específicos.
.....		7	
3. Marco Teórico.....			8
3.1. Descripción de los Paneles Solares Fotovoltaicos.....			8
3.2. Paneles Solares: Características Físicas, Constructivas y Eléctricas para su Óptimo Desempeño.....			9
3.3. Características Físicas, Constructivas y Eléctricas de los Paneles Solares Fotovoltaicos.....			9
4	tabla 1. Módulos Fotovoltaicos Predominantes: Características, Rendimiento y Fabricación.....		9
4.1	Tabla 2. Análisis de Factores Clave en la Eficiencia y Utilización de Módulos Fotovoltaicos.....		10
4.2	Tabla 3. Análisis de Factores Clave en la Eficiencia y Utilización de Módulos Fotovoltaicos.....		11
4.3	tabla 4. Análisis de Factores Clave en la Eficiencia y Utilización de Módulos Fotovoltaicos.....		11
5	Proceso de Fabricación y Configuración de Módulos Fotovoltaicos.....		12
5.1.	Estructura y Principio de Funcionamiento del Módulo Fotovoltaico.....		12
5.2.	Tabla 5. Componentes Fundamentales en Módulos Fotovoltaicos y sus Características Esenciales.....		13
5.3	características Eléctricas.....		13
6	Estructuras y Soportes para Paneles Solares.....		14
6.1.	Tipos de Estructuras de Soporte.....		14
6.2.	Tipos Principales de Estructuras de Soporte para Paneles Solares.....		15
6.3.	Estructuras Fijas y con Seguimiento Solar.....		15
7	Rentabilidad del Seguimiento Solar.....		15
8	Planteamiento del Problema.....		17
8.	Diseño y Solución.....		17
9	plan de Mantenimiento Preventivo para sistemas Fotovoltaicos.....		18
9.1	Objetivos del Plan.....		18
9.2	Alcance.....		19
10	Cronograma y Frecuencias.....		19
11	Indicadores de Mantenimiento.....		20
12	Consideraciones Finales.....		20
12.1.	Características de Acumuladores en Sistemas Fotovoltaicos.....		20
12.2.	Funciones principales de los acumuladores almacenamiento de energía:		21
13	Tabla 6. Acumuladores en Sistemas Fotovoltaicos: Comparativa Técnica...		21
13.1	tabla 7. Tensión Nominal en Sistemas Fotovoltaicos: Clasificación y		

Aplicaciones.....	22
13.2 tabla 8. Tensión Nominal en Sistemas Fotovoltaicos: Clasificación y Aplicaciones.....	22
14. Prevención de Riesgos y Seguridad en el Mantenimiento de Sistemas Fotovoltaicos	23
15. Actuación en Emergencias y Primeros Auxilios.....	24
15.1 Tabla 9. Recomendaciones Generales para la Prevención de Riesgos en Mantenimiento Fotovoltaico.....	25
16.Servicio de Mantenimiento: Enfoque General.....	26
16.1. Objetivo del Mantenimiento Fotovoltaico.....	26
16.2. Resumen.....	28
17. Programa de Mantenimiento de Sistemas Fotovoltaicos.....	29
17.1. análisis de los Tipos de Mantenimiento: Preventivo y Correctivo.....	30
17.2 Averías Más Comunes en Sistemas Fotovoltaicos.....	32
18. Mantenimiento preventivo de instalaciones fotovoltaicas.....	36
18.1 Mantenimiento a Cargo del Usuario.....	36
18.2 Mantenimiento a Cargo del Técnico.....	37
19. mantenimiento del Sistema de Regulación y Control y Equipos Auxiliares.....	39
19.1 Mantenimiento Correctivo de las Instalaciones Fotovoltaicas.....	42
19.2. Averías de los paneles fotovoltaicos y su conexionado.....	43
19.3. Calidad en el mantenimiento.....	45
20. Pliegos de condiciones técnicas.....	46
20.1 Normativa sobre calidad.....	46
20.2 Alguna de estas técnicas, que se conocen como “Las 7 herramientas.....	47
20.3. Documentación técnica de la calidad.....	50
21. Evaluación Económica del Mantenimiento Preventivo en Sistemas Fotovoltaicos.....	52
21.1Técnicas de Mantenimiento Preventivo en Sistemas Fotovoltaicos.....	53
21.2 Tabla de Presupuesto Anual para Mantenimiento Preventivo de Sistema Fotovoltaico.....	56
22. Conclusión.....	57
23. bibliografía.....	58

1. Introducción

En el contexto actual de transición energética y sostenibilidad ambiental, la comuna de Florida ha comenzado a incorporar tecnologías limpias que permitan reducir su dependencia de fuentes de energía convencionales. Entre estas iniciativas, destaca la implementación de sistemas solares fotovoltaicos como una alternativa eficiente y sustentable para la generación eléctrica a nivel residencial, comercial e institucional.

La energía solar fotovoltaica, al aprovechar la radiación solar para producir electricidad, representa una solución estratégica tanto desde el punto de vista económico como medioambiental. La ubicación geográfica de la comuna de Florida, con altos índices de radiación solar durante gran parte del año, ofrece condiciones óptimas para el aprovechamiento de esta fuente energética renovable.

Este enfoque no solo responde a los lineamientos de desarrollo sostenible promovidos a nivel nacional, sino que también contribuye a mejorar la calidad de vida de los habitantes, reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y fomentar una cultura energética responsable. La adopción de paneles solares en la comuna se alinea, además, con políticas públicas orientadas a la descentralización energética y al fortalecimiento de la autonomía local en materia de generación eléctrica.

2. Objetivos

Objetivo General

- Implementar un programa de mantenimiento preventivo eficiente para los sistemas de paneles solares fotovoltaicos en la comuna de Florida, con el fin de garantizar un rendimiento óptimo, una mayor confiabilidad operativa y una prolongación significativa de la vida útil de las instalaciones.

Objetivos Específicos

- Analizar el estado y funcionamiento de las instalaciones solares fotovoltaicas existentes en la comuna de Florida, identificando sus componentes críticos y su interacción operativa.
- Diagnosticar fallos funcionales frecuentes en los sistemas fotovoltaicos y proponer soluciones técnicas que minimicen los tiempos de inactividad y mejoren el rendimiento energético.
- Diseñar un plan de mantenimiento preventivo integral que contemple rutinas periódicas de inspección, limpieza, ajuste y monitoreo, enfocado en la reducción de fallas y la mejora continua del sistema.

- Establecer un presupuesto técnico-económico detallado que permita evaluar la viabilidad del plan de mantenimiento preventivo, asegurando la sostenibilidad operativa del sistema fotovoltaico a largo plazo.

3. Marco Teórico

3.1 Descripción de los Paneles Solares Fotovoltáicos

La forma más común y eficiente de aprovechar la energía solar para la generación de electricidad se fundamenta en el efecto fotovoltaico. Este fenómeno ocurre cuando la radiación solar incide sobre un material semiconductor, generando una corriente eléctrica. El dispositivo encargado de facilitar esta conversión energética se denomina célula fotovoltaica.

Estas células están diseñadas con propiedades físicas específicas y se interconectan eléctricamente para formar dispositivos con parámetros eléctricos útiles —como tensión y corriente— adecuados para aplicaciones prácticas. La unión de múltiples células fotovoltaicas da origen al módulo fotovoltaico, considerado la unidad funcional básica en la generación de energía solar. En la terminología común, se suele utilizar el término “panel” para referirse indistintamente a un módulo fotovoltaico.

En la práctica, los módulos fotovoltaicos disponibles en el mercado están compuestos, principalmente, por células de silicio en sus distintas variantes: monocristalino, policristalino o amorfo. La elección del tipo de módulo debe basarse en diversos factores técnicos y económicos, entre los cuales se destacan:

En términos generales, los requisitos eléctricos del sistema pueden satisfacerse independientemente del tipo de módulo seleccionado.

A igual rendimiento eléctrico, los módulos policristalinos suelen ser más económicos, aunque presentan un tamaño ligeramente superior al de los monocristalinos.

Los módulos de silicio amorfo o de capa delgada se utilizan principalmente en aplicaciones autónomas y de baja potencia, debido a su menor eficiencia, pero mayor adaptabilidad en superficies flexibles o integradas arquitectónicamente.

Este conocimiento resulta esencial para una correcta selección y mantenimiento de las instalaciones solares fotovoltaicas, considerando tanto su eficiencia energética como su viabilidad técnica y económica.

3.2 Paneles Solares: Características Físicas, Constructivas y Eléctricas para su Optimo

Desempeño

La generación de electricidad a través del aprovechamiento de la energía solar se realiza de manera efectiva mediante el efecto fotoeléctrico, donde la luz incide en un dispositivo diseñado específicamente para facilitar la conversión energética, conocido como célula solar. Los módulos fotovoltaicos más comúnmente utilizados están fabricados con células de silicio, ya sean mono cristalinas, policristalinas o amorfas. Al considerar su uso e identificación, varios factores se vuelven relevantes:

Módulos policristalinos, con iguales características eléctricas, son más económicos y de mayor tamaño que los monos cristalinos.

3.3. Características Físicas, Constructivas y Eléctricas de los Paneles Solares Fotovoltaicos

Los módulos fotovoltaicos, comúnmente utilizados en instalaciones solares, están compuestos por células de silicio, las cuales pueden clasificarse en tres grandes tipos según su estructura cristalina: mono cristalinas, policristalinas y amorfas. La elección del tipo de célula influye directamente en el costo, eficiencia, tamaño del módulo y tipo de aplicación.

A continuación, se resumen las características técnicas más relevantes en función del tipo de módulo fotovoltaico:

- Mono cristalino alta eficiencia, menor superficie requerida, mayor costo. 18–22 %
Instalaciones residenciales y techos.

- Policristalino Menor eficiencia, tamaño más grande, menor costo relativo. 15–17 %
Sistemas de gran escala o rurales.
- Silicio Amorfo Flexible, menor eficiencia, funciona mejor con baja irradiancia. 6–10%
Dispositivos móviles, fachadas.

Requisitos eléctricos: La eficiencia del sistema puede lograrse independientemente del tipo de módulo utilizado, si se diseña adecuadamente.

Características económicas: A igual rendimiento, los módulos policristalinos son más accesibles en términos de costo, aunque requieren mayor superficie.

4. tabla 1. Módulos Fotovoltaicos Predominantes: Características, rendimiento y fabricación.

Tipo de modulo	Características principales	Eficiencia Comercial	Proceso de Fabricación
Monocristalino	Panel de color negro uniforme, alta densidad energética y aspecto elegante	20 – 25 %	Técnica Czochralski: se extrae un cristal único, se corta en obleas y se encapsula
policristalino	Tono azul marmolado; opción más económica con eficiencia moderada	15 – 17%	Fusión de múltiples cristales y vertido en moldes cúbicos para formar obleas
Amorfo	Panel ligero, flexible; materiales incluyen a-Si, CdTe, CIGS	10 – 13 % (comercial)	Depósito de capas delgadas sobre vidrio o plástico mediante técnicas de capa fina
Perovskita	Tecnología en desarrollo; potencial de alta eficiencia	~25 % (laboratorio), hasta 30 % en módulos experimentales	Depósito por spin-coating, impresión, recubrimiento escalable



4.1 Tabla 2. Análisis de Factores Clave en la Eficiencia y Utilización de Módulos Fotovoltaicos.

Factor	Descripción	Impacto en la Eficiencia	Recomendaciones
Orientación e Inclinación	Posición angular del módulo respecto al sol.	Alta	Ajustar según latitud; idealmente hacia el norte en el hemisferio sur.
Sombras Parciales	Obstáculos que bloquean la radiación solar (árboles, edificios, antenas).	Alta (puede reducir más del 30%)	Ubicar módulos en zonas libres de obstrucciones.
Temperatura Ambiente y del Módulo	Aumento térmico reduce el rendimiento del módulo.	Moderada a alta	Favorecer ventilación y uso de módulos con bajo coeficiente térmico.
Suciedad y Contaminación	Acumulación de polvo, hojas o residuos en la superficie del panel.	Moderada	Implementar limpieza periódica (mantenimiento preventivo).
Tipo y Calidad del Módulo	Tecnología (monocristalino, policristalino, PERC, etc.) y estándares de fabricación.	Alta	Seleccionar módulos certificados y con alta eficiencia nominal.
Sistema de Inversión y Cableado	Calidad de inversores, pérdidas por conexión o conductores inadecuados.	Moderada	Uso de inversores eficientes y cableado adecuado a la carga.
Mantenimiento Preventivo	Inspecciones regulares y acciones correctivas planificadas.	Alta	Establecer protocolos periódicos de revisión y limpieza.

4.2. Tabla 3. Análisis de Factores Clave en la Eficiencia y Utilización de Módulos

Fotovoltaicos

Factor	Descripción	Impacto en la Eficiencia	Recomendaciones
Suciedad Superficial	Acumulación de polvo, hojas o contaminantes en la superficie del panel.	Moderado	Realizar limpiezas programadas como parte del mantenimiento preventivo.
Tipo y Eficiencia del Módulo	Tecnología y calidad de fabricación del panel solar.	Alto	Elegir módulos certificados con eficiencia superior al 18%.
Estado del Sistema Eléctrico	Condiciones del inversor, cableado, fusibles y conexiones.	Moderado	Verificar pérdidas eléctricas, realizar inspecciones técnicas periódicas.
Mantenimiento preventivo	Acciones planificadas para asegurar el funcionamiento óptimo del sistema.	Alto	Implementar protocolos de revisión, limpieza y registro de datos de operación.

4.3. Tabla 4 Análisis de factores clave en la eficiencia y utilización de módulos fotovoltaicos

N.º	Factor Clave	Descripción Técnica	Nivel de Impacto	Medidas Recomendadas
1	Orientación e Inclinación	Posicionamiento angular del módulo respecto al sol según	Alto	Alinear módulos hacia el norte (en hemisferio sur) y ajustar inclinación entre

latitud geográfica.

25°–35°.

N.º	Factor Clave		Des	Nivel de Impacto	Medidas Recomendadas
2	Sombras Parciales		Presencia de sombras directas	Alto	Instalar en zonas sin sombreado durante todo el ciclo solar.
3	Temperatura del Módulo	El calor excesivo reduce el rendimiento eléctrico de los módulos.		Moderado	Asegurar buena ventilación trasera y utilizar módulos con buen coeficiente térmico.
4	Suciedad Acumulada	Polvo, residuos orgánicos o contaminación superficial que bloquean la radiación solar.		Moderado	Implementar rutinas de limpieza dentro del plan de mantenimiento preventivo.
5	Tipo y Calidad del Módulo	Tecnología del panel (mono/policristalino, bifacial, etc.) y estándares de fabricación.		Alto	Seleccionar módulos certificados, con alta eficiencia (>18%) y garantía de calidad.
6	Sistema Eléctrico Asociado	Condición de inversores, cableado, conectores y protecciones.		Moderado	Realizar inspecciones regulares, evitar pérdidas por resistencia o conexiones deficientes.
7	Mantenimiento Preventivo	Acciones sistemáticas de inspección, limpieza y monitoreo de funcionamiento.		Alto	Establecer protocolos periódicos y mantener registros técnicos actualizados.

Fuente: Elaboración propia

5. Proceso de Fabricación y configuración de módulos fotovoltaicos:

El proceso de ensamblaje de las células solares es altamente automatizado, utilizando técnicas de soldadura especializada que conectan eléctricamente la parte posterior de cada célula con la cara frontal de la célula adyacente. Una vez interconectadas, las células son encapsuladas en una estructura multicapa tipo “sándwich”, diseñada para asegurar su protección mecánica y durabilidad frente a condiciones ambientales adversas.

Esta estructura se compone, de forma secuencial, por una lámina de vidrio templado en la parte frontal, seguida de una capa de material encapsulante —usualmente acetato de etileno-vinilo (EVA)—, las células solares interconectadas, capas adicionales de sustrato orgánico, y una lámina

posterior fabricada con polímeros técnicos o vidrio. Para asegurar la estanqueidad del conjunto, se realiza un proceso de sellado en vacío dentro de un horno térmico controlado. Además, el perímetro del módulo es sellado con neopreno u otros materiales elastoméricos, lo cual proporciona aislamiento adicional y evita el contacto directo con el marco metálico, en caso de que este sea parte del diseño estructural.

Este procedimiento meticuloso da lugar a módulos solares fotovoltaicos altamente eficientes y duraderos, fundamentales para la generación confiable de energía eléctrica a partir de fuentes renovables.

En el mercado actual, los módulos más comunes están constituidos por entre 30 y 36 células de silicio cristalino, dispuestas en serie y de dimensiones uniformes. Estas células están encapsuladas entre una lámina de vidrio frontal y una posterior de tedlar o vidrio, dependiendo del diseño. El módulo incluye bornes de salida —positivo y negativo—, y en algunos casos, un tercer terminal que incorpora diodos de protección, destinados a prevenir daños por inversión de corriente o sombreados parciales.

5.1. Estructura y Principio de Funcionamiento del Módulo Fotovoltaico

En este apartado se describe el funcionamiento básico de un módulo solar fotovoltaico, así como el proceso mediante el cual convierte la radiación solar en energía eléctrica utilizable. El módulo fotovoltaico está compuesto por un conjunto de células solares interconectadas, que mediante el efecto fotovoltaico generan corriente continua al recibir luz solar. Estas células, dispuestas en serie o paralelo según el diseño, están encapsuladas en una estructura que les otorga resistencia mecánica y protección frente a factores ambientales como humedad, temperatura y radiación UV.

El rendimiento del módulo depende tanto de la calidad de sus materiales como de su configuración eléctrica y diseño estructural. Comprender su principio de funcionamiento es fundamental para valorar la importancia de cada uno de sus componentes físicos, los cuales se detallan en el siguiente punto.

5.2. Tabla 5 Componentes fundamentales en módulos fotovoltaicos y sus características esenciales.

N.º	Componente	Descripción Funcional	Características Esenciales
1	Marco de aluminio	Estructura externa que proporciona rigidez y protección mecánica al módulo.	Ligero, resistente a la corrosión, facilita el montaje y fijación en estructuras.
2	Encapsulante (EVA)	Capa que recubre y protege las células entre el vidrio frontal y la lámina posterior.	Transparente, resistente a la radiación UV, térmicamente estable, permite transmisión óptima.

3	Células fotovoltaicas	Dispositivos semiconductores que convierten la luz solar en energía eléctrica.	Alta eficiencia de conversión, generalmente de silicio cristalino, conectadas en serie.
4	Borna de conexión	Terminales eléctricos de salida del módulo.	Aisladas, claramente identificadas (positivo/negativo), permiten conexión segura al sistema.
5	Conexiones internas	Cintas conductoras que enlazan eléctricamente las células entre sí.	Soldadura de precisión, materiales conductores resistentes a la fatiga térmica.
6	Cubierta (frontal y posterior)	Protege contra condiciones ambientales adversas.	Frontal: vidrio templado resistente al impacto; Posterior: tedlar o polímeros multicapa.

5.3. Características eléctricas

Los módulos fotovoltaicos presentan parámetros eléctricos fundamentales que determinan su rendimiento, eficiencia y comportamiento frente a distintas condiciones de operación. Estas características son determinadas bajo condiciones estándar de prueba (STC, por sus siglas en inglés: *Standard Test Conditions*), las cuales corresponden a una irradiancia de 1000 W/m², temperatura celular de 25°C y una masa de aire de 1,5 (AM1.5).

A continuación, se describen los principales parámetros eléctricos que definen el funcionamiento de un panel solar fotovoltaico:

- **Potencia Máxima (Pm o Max):** Es la cantidad máxima de potencia que puede entregar el módulo en condiciones estándar. Se mide en vatios pico (Wp) y representa el punto de máxima eficiencia del módulo.
- **Tensión a Potencia Máxima (Vmp):** Voltaje del módulo cuando opera a su potencia máxima. Es un valor inferior al voltaje en circuito abierto.
- **Corriente a Potencia Máxima (Imp):** Corriente entregada por el módulo al operar a su potencia máxima.
- **Tensión en Circuito Abierto (Voc):** Es el voltaje que entrega el módulo cuando no está conectado a ninguna carga. Representa el valor máximo de tensión disponible.
- **Corriente de Cortocircuito (Isc):** Corriente generada cuando los terminales del módulo están en cortocircuito. Es el valor máximo de corriente que puede generar el módulo.
- **Eficiencia del Módulo (%):** Relación entre la potencia máxima generada por el módulo y la potencia de la radiación solar incidente. Indica qué porcentaje de la energía solar se convierte en electricidad.
- **Coeficientes de Temperatura:** Parámetros que indican cómo varía la potencia, la tensión o la corriente del módulo en función de la temperatura. Son especialmente importantes para evaluar el rendimiento en condiciones reales

6. **Estructuras y Soportes para Paneles Solares:** Una Visión Detallada Las estructuras de soporte constituyen un componente fundamental en los sistemas fotovoltaicos, ya que garantizan la estabilidad, orientación adecuada y seguridad mecánica de los módulos solares. Una correcta

selección y diseño de la estructura influye directamente en el rendimiento energético del sistema, la durabilidad de los componentes y la eficiencia del mantenimiento.

Estos soportes deben estar diseñados para resistir condiciones ambientales adversas como viento, lluvia, nieve y exposición prolongada a la radiación solar, sin comprometer la integridad del conjunto fotovoltaico.

6.1. Tipos de Estructuras de Soporte: se describen los principales tipos de estructuras utilizadas para la instalación de paneles solares:

Estructuras Fijas en Techo (Inclinadas o Paralelas al Techo): Diseñadas para instalar módulos sobre cubiertas residenciales, comerciales o industriales. Pueden seguir la pendiente del techo (instalación coplanar) o incorporar una inclinación específica para optimizar la captación solar.

Estructuras Fijas en Suelo: Consisten en bastidores metálicos anclados directamente al terreno. Se utilizan en plantas fotovoltaicas a gran escala o en terrenos disponibles con buena exposición solar. Ofrecen facilidad de mantenimiento y ventilación natural.

Estructuras con Seguimiento Solar (Trackers): Incorporan sistemas mecánicos o electromecánicos que permiten orientar automáticamente los módulos según la posición del sol (eje simple o doble). Aumentan significativamente la producción energética, aunque requieren mayor inversión inicial y mantenimiento especializado.

Estructuras para Fachadas o Superficies Verticales: Utilizadas en aplicaciones arquitectónicas (BIPV), donde los módulos se integran a muros verticales o fachadas de edificios. Su función es tanto energética como estética.

Estructuras Móviles o Desplegables: Empleadas en sistemas temporales, rurales o de emergencia. Son livianas, de fácil transporte e instalación rápida, aunque con potencia limitada.

Estructuras para Estacionamientos Fotovoltaicos (Carports): Combinan la generación solar con la funcionalidad de un techado para vehículos. Se utilizan comúnmente en centros comerciales, edificios corporativos y espacios públicos.

6.2. Tipos Principales de estructuras de soporte para paneles solares: En el ámbito de los sistemas fotovoltaicos, las estructuras de soporte se clasifican principalmente en dos grandes tipos, según su movilidad y capacidad de seguimiento del sol:

1. **Estructuras Fijas:** Son las más utilizadas por su simplicidad, bajo costo y durabilidad. Mantienen una inclinación y orientación constante durante todo el año, la cual se optimiza según la latitud del lugar. Este tipo de estructura puede instalarse tanto en techos como en suelo firme.

Características:

Bajo mantenimiento.
Menor costo de instalación.
Alta resistencia mecánica.

Ideal para instalaciones residenciales, comerciales e industriales con espacio limitado.

Producción energética constante, pero inferior a las estructuras móviles en ciertas condiciones.

2. Estructuras con Seguimiento Solar (Trackers) Estas estructuras están diseñadas para seguir el movimiento del sol durante el día, aumentando la captación de radiación solar y, por tanto, la producción de energía. Existen sistemas de seguimiento de un eje (horizontal o vertical) y de dos ejes (orientación e inclinación simultánea).

Características:

Mayor generación de energía (hasta un 25–35% más que estructuras fijas).
Requieren mantenimiento más especializado.
Inversión inicial más elevada.

Recomendadas para grandes plantas solares en terreno amplio y con alta radiación solar.

6.3. Estructuras Fijas y con Seguimiento Solar: El rendimiento de un módulo fotovoltaico está directamente influenciado por el ángulo de incidencia de la radiación solar. Las instalaciones fotovoltaicas convencionales suelen contar con una estructura fija, cuya orientación e inclinación se optimiza de acuerdo con la latitud del lugar y la época del año. Si bien es técnicamente posible incrementar la captación solar mediante sistemas de seguimiento solar, su implementación conlleva mayores niveles de complejidad técnica y un incremento en los costos de inversión, lo que no siempre se traduce en una mejora proporcional en la rentabilidad del sistema.

7. Rentabilidad del Seguimiento Solar: La incorporación de estructuras con seguimiento solar es un tema sujeto a análisis técnico-económico. En ciertas latitudes y condiciones de alta irradiación, el uso de seguidores solares puede resultar rentable, sin embargo, esta decisión debe evaluarse cuidadosamente en la etapa de diseño del sistema.

En cuanto a tipos de seguimiento, se ha observado que:

Un sistema con seguimiento azimutal (eje horizontal con orientación este-oeste) capta aproximadamente un 7% menos de radiación que uno de doble eje.

Frente al seguimiento polar (un eje inclinado según la latitud), el azimutal capta un 4% menos de radiación, aunque presenta una mayor simplicidad mecánica, menor consumo energético y costos operativos reducidos, lo cual lo hace más atractivo para ciertos proyectos.

No obstante, la instalación de sistemas con seguimiento solar puede representar un aumento del 20% en el costo total del proyecto. A pesar de ello, se estima que podrían generar hasta un 40% más de energía anual, lo que compensa la inversión inicial en regiones con altos niveles de

radiación solar, como ocurre en algunas zonas de España, el norte de Chile u otras áreas de alta insolación.

En consecuencia, durante el dimensionamiento de una planta fotovoltaica, es imprescindible realizar un análisis técnico-económico detallado que incluya variables como la radiación disponible, el costo de los componentes, la vida útil estimada del sistema y los beneficios energéticos netos que se podrían obtener mediante el uso de seguidores solares.

8. Planteamiento del Problema.

En la comuna de Florida, el uso de paneles solares fotovoltaicos se posiciona como una estrategia clave en el proceso de transición hacia una sociedad más sostenible, resiliente y comprometida con las energías renovables. No obstante, la adopción de esta tecnología enfrenta importantes desafíos, entre los cuales destaca la necesidad urgente de implementar un mantenimiento preventivo eficiente, capaz de asegurar el rendimiento óptimo y la prolongación de la vida útil de las instalaciones solares.

El interés creciente de la comunidad por soluciones energéticas limpias se ha traducido en un aumento sostenido en la instalación de sistemas fotovoltaicos. Sin embargo, este avance tecnológico se ve amenazado por la carencia de estrategias sistemáticas de mantenimiento

preventivo, especialmente en un contexto donde diversos factores —como la acumulación de suciedad, la exposición constante a condiciones climáticas adversas y la variabilidad ambiental— inciden directamente en la eficiencia operativa de los paneles.

Uno de los factores más críticos que afectan el rendimiento de los módulos solares es la suciedad acumulada en la superficie del polímero de protección. Esta condición reduce la capacidad del panel para captar radiación solar de forma eficiente, provocando pérdidas energéticas significativas. Adicionalmente, la falta de protocolos estructurados de inspección, limpieza y conservación incrementa el riesgo de fallas prematuras, deterioro acelerado de componentes y tiempos de inactividad innecesarios.

Este panorama evidencia una carencia de planificación técnica y de cultura preventiva en torno al mantenimiento de los sistemas solares en la comuna de Florida. La ausencia de un enfoque integral, sistematizado y sostenible para el mantenimiento preventivo compromete tanto la viabilidad económica de estas instalaciones como su contribución efectiva a los objetivos de desarrollo sustentable a nivel local.

En consecuencia, el núcleo del problema abordado por esta investigación radica en la falta de un plan estructurado de mantenimiento preventivo para los sistemas fotovoltaicos instalados en la comuna de Florida. Esta brecha técnica y operativa limita el aprovechamiento pleno del potencial solar disponible y pone en riesgo los beneficios ambientales, sociales y económicos derivados de la generación fotovoltaica.

8. Diseño y Solución

En este capítulo se desarrolla el diseño técnico y la propuesta de solución al problema identificado en la etapa de diagnóstico, enfocado en la ausencia de un plan estructurado de mantenimiento preventivo para sistemas fotovoltaicos en la comuna de Florida. La finalidad principal es establecer un enfoque práctico y sustentable que permita garantizar la eficiencia operativa, extender la vida útil de los paneles solares y reducir las incidencias asociadas al deterioro prematuro por falta de mantenimiento.

El diseño propuesto se basa en principios de ingeniería de mantenimiento, considerando tanto los aspectos técnicos de los módulos fotovoltaicos como las condiciones ambientales y operacionales propias del entorno local. Se contempla la definición de rutinas de mantenimiento, la periodicidad de las intervenciones, los recursos necesarios, y los indicadores de desempeño que permitan evaluar la efectividad del plan.

Además, se detallan los criterios técnicos y económicos considerados para la selección de métodos de limpieza, herramientas, materiales y protocolos de inspección. Se incorpora también un análisis del impacto esperado de la solución propuesta en términos de eficiencia energética, reducción de fallas y sostenibilidad operativa.

Este capítulo se estructura en las siguientes secciones:

- Diagnóstico técnico del sistema fotovoltaico existente.
- Diseño del plan de mantenimiento preventivo.
- Definición de procedimientos técnicos y frecuencias de intervención.
- Evaluación de recursos humanos y materiales requeridos.
- Indicadores de control y evaluación del desempeño.
- Estimación del impacto económico y energético de la solución.

El objetivo de este diseño es ofrecer una solución integral, replicable y adaptada a la realidad local de la comuna de Florida, que permita fortalecer la operación de los sistemas solares fotovoltaicos mediante una gestión proactiva y eficiente del mantenimiento preventivo.

Fuente: Obtenido en la página web o libro: Centro de Energía Renovables y eficiencia energética Imarcoain.

9. Plan de mantenimiento preventivo para sistemas fotovoltaicos

El presente plan de mantenimiento preventivo tiene como objetivo asegurar el funcionamiento eficiente, seguro y prolongado de los sistemas solares fotovoltaicos instalados en la comuna de Florida. Este plan considera las condiciones ambientales locales, la tecnología predominante (módulos fotovoltaicos con estructura fija), y las mejores prácticas de ingeniería de mantenimiento aplicadas a sistemas energéticos renovables.

9.1 Objetivos del Plan

- Optimizar el rendimiento energético de los módulos fotovoltaicos.
- Prevenir fallas técnicas mediante inspecciones periódicas.
- Prolongar la vida útil de los componentes del sistema.
- Reducir los costos de reparación correctiva.
- Establecer una cultura de mantenimiento sostenible y sistemático.

9.2 Alcance

Este plan se aplica a los siguientes componentes del sistema fotovoltaico:

- Módulos fotovoltaicos.
- Estructura de soporte.
- Cableado y conexiones eléctricas.
- Inversores.
- Sistemas de puesta a tierra.
- Sistemas de monitoreo (si los hay).

10. Cronograma y Frecuencias

Actividad	Frecuencia	Responsable	Herramientas requeridas
Inspección visual general	Mensual	Técnico operador	Lista de verificación, cámara, EPP
Limpieza de paneles solares	Bimestral*	Personal capacitado	Agua desmineralizada, cepillo suave
Revisión de conexiones eléctricas	Trimestral	Técnico eléctrico	Multímetro, destornillador dieléctrico
Actividad	Frecuencia	Responsable	Herramientas requeridas
Verificación de estructura soporte	Semestral	Técnico operador	Llaves, nivel, inspección visual
Mantenimiento de inversor	Anual	Técnico certificado	Manual técnico, software de diagnóstico
Revisión sistema de puesta a tierra	Anual	Técnico eléctrico	Medidor de resistencia de tierra
Reporte de desempeño energético	Trimestral	Supervisor técnico	Plataforma de monitoreo o software SCADA

*La frecuencia de limpieza puede variar según el nivel de suciedad local (zonas agrícolas, polvo urbano, etc.)

Procedimientos Técnicos Generales

a) Limpieza de Paneles

- Realizar en horas de baja radiación (mañana o tarde).
- Utilizar agua sin minerales y paños o cepillos suaves.
- No aplicar detergentes abrasivos.
- Registrar fecha, condiciones del clima y observaciones.

b) Inspección Visual

- Buscar daños en el vidrio, puntos calientes, sombras persistentes.
- Verificar ausencia de objetos extraños o vegetación cercana.
- Revisar anclajes, pernos, y presencia de corrosión en estructuras.

c) Revisión Eléctrica

- Verificar continuidad, posibles cortocircuitos o pérdida de aislamiento.
- Confirmar estado de conectores MC4 y protecciones.
- Inspeccionar canalizaciones y ausencia de roedores.

11. Indicadores de Mantenimiento

Indicador	Fórmula básica	Periodicidad
-----------	----------------	--------------

Eficiencia del sistema (%)	$(\text{Energía generada} / \text{Energía esperada}) \times 100$	Mensual
Tiempo medio entre fallas (MTBF)	Total, de horas operativas / N.º de fallas	Semestral
Porcentaje de paneles sucios (%)	$(\text{N.º de paneles sucios} / \text{Total}) \times 100$	Bimestral
Índice de cumplimiento de mantenimiento	$(\text{Actividades realizadas} / \text{Programadas}) \times 100$	Mensual

12. Consideraciones Finales

Este plan busca estandarizar y profesionalizar las tareas de mantenimiento preventivo en instalaciones solares fotovoltaicas, permitiendo su integración en políticas locales de gestión energética y sostenibilidad. La adopción de este plan reducirá los riesgos operativos, mejorará la producción energética y fortalecerá la confianza en la energía solar como fuente estratégica para el desarrollo de la comuna de Florida.

12.1. Características de acumuladores en sistemas fotovoltaicos

En los sistemas fotovoltaicos autónomos o híbridos, los acumuladores —también conocidos como baterías— cumplen una función esencial: Almacenar la energía eléctrica generada por los paneles solares durante las horas de radiación solar, para su posterior utilización en periodos de baja o nula generación, como durante la noche o en días nublados. La selección adecuada del tipo de acumulador y su correcta gestión son factores determinantes para la eficiencia, autonomía y vida útil del sistema fotovoltaico.

12.2 Funciones principales de los acumuladores almacenamiento de energía:

- Permiten disponer de electricidad en todo momento, incluso cuando no hay producción solar.
- Regulación del sistema: Ayudan a estabilizar el voltaje y compensar picos de carga.
- Respaldo energético: Garantizan continuidad operativa ante interrupciones en la generación.

13. Tabla 6. Técnica de panel solar fotovoltaico.

Características,	Técnicas relevantes	Descripción	Capacidad nominal (Ah)
Tipo de panel	Monocristalino / Policristalino	Celdas de silicio utilizadas para convertir la energía	
		solar en electricidad.	450 Wp (vatios pico)
Eficiencia	Tecnología PERC	Tecnología que mejora el rendimiento al captar mayor radiación solar.	20.8%
Voltaje en circuito abierto	VOC	Voltaje máximo del panel sin carga conectada.	49.5 V
Corriente de cortocircuito	ISC	Corriente máxima cuando el panel está en cortocircuito.	11.1
Voltaje a máxima potencia	VMP	Voltaje ideal de operación para obtener mayor rendimiento.	41.2 V
Corriente a máxima potencia	IMP	Corriente de salida ideal en condiciones estándar	10.9 A
Dimensiones	2100 mm x 1050 mm x 35 mm	Tamaño físico del panel, relevante para instalación y estructura de soporte.	–
Peso	25 kg	Peso unitario del panel solar.	–
Material del marco	Aluminio anodizado	Marco estructural resistente a la intemperie y la corrosión.	–

Garantía de producto	12 años (producto) / 25 años (rendimiento)	Duración estimada de funcionamiento eficiente.	–
----------------------	--	--	---

13.1 Tabla 7. Acumuladores en Sistemas Fotovoltaicos: Comparativa Técnica

Tipo de Acumulador	Vida Útil Aproximada (Ciclos)	Profundidad de Descarga (DOD)	Eficiencia Energética (%)	Mantenimiento	Costo Relativo	Aplicaciones Típicas
Plomo-Ácido Abiertas	500 – 1.000	50 – 60 %	80 – 85 %	Requiere	Bajo	Sistemas rurales, bajo presupuesto
Plomo-Ácido Selladas (AGM/GEL)	600 – 1.200	60 – 70 %	85 – 90 %	Bajo	Medio	Sistemas domésticos y urbanos
Litio-Ion (LiFePO ₄)	2.000 – 6.000	80 – 90 %	90 – 98 %	No requiere	Alto	Residencial avanzado, comercial
NíquelCadmio (NiCd)	1.500 – 2.500	70 – 80 %	70 – 85 %	Bajo	Muy alto	Aplicaciones industriales, climas extremos

13.2 tabla 8. Tensión Nominal en Sistemas Fotovoltaicos: Clasificación y Aplicaciones

Tensión Nominal del Sistema (V)	Aplicación Típica	Ventajas Principales	Limitaciones
12 V	Pequeñas instalaciones domiciliarias o rurales	Simple instalación, componentes económicos	Pérdidas altas en largas distancias, baja potencia total
24 V	Sistemas residenciales medianos, bombeo solar	Mejor eficiencia que 12V, menor sección de cableado	Aumenta costo de componentes comparado con 12V
48 V	Instalaciones residenciales grandes o comerciales	Alta eficiencia, ideal para inversores potentes	Mayor complejidad en configuración y protección
> 48 V (120V, 250V DC, etc.)	Sistemas conectados a red o industriales	Alta eficiencia en grandes instalaciones	Requiere normativas estrictas de seguridad y diseño profesional

14. Prevención de riesgos y seguridad en el mantenimiento de sistemas fotovoltaicos:

El mantenimiento de sistemas fotovoltaicos implica la exposición a riesgos eléctricos, mecánicos y ambientales. Para preservar la integridad física del personal técnico y garantizar la continuidad operativa del sistema, es fundamental implementar medidas preventivas y protocolos de seguridad adecuados, en conformidad con las normativas vigentes de seguridad laboral.

1. Identificación de Riesgos potenciales, tipo de riesgo, descripción eléctrica, contacto con corriente continua (DC), especialmente durante limpieza o ajustes con el sistema energizado. Caídas de altura, riesgo al trabajar en techos o estructuras elevadas sin protecciones adecuadas. Cortes o lesiones, manipulación de herramientas, marcos metálicos o bordes de vidrio. Exposición solar prolongada, exposición a radiación UV durante tareas en exteriores. Incendio, fallas en conexiones, cortocircuitos o acumulación de polvo inflamable.
2. Medidas de Prevención, desconexión segura del sistema: Asegurar el corte de energía mediante seccionadores antes de cualquier intervención.
 - Uso de Equipos de protección Personal (EPP): Incluye guantes dieléctricos, gafas de seguridad, arnés de seguridad (en trabajos en altura), calzado antideslizante y casco.
 - Verificación de ausencia de tensión: Uso de multímetros certificados para garantizar que no haya corriente antes de manipular componentes.
 - Trabajos en altura: Empleo de líneas de vida, barandas de protección y capacitación en trabajo seguro en techos.
 - Condiciones climáticas: Evitar trabajos en condiciones de lluvia, viento fuerte o alta radiación solar.
 - Uso de herramientas aisladas: Las herramientas deben tener mangos aislantes y estar en buen estado.
3. Procedimientos de Seguridad en Mantenimiento Preventivo Inspección visual inicial del entorno y del sistema.
 - Revisión de estructuras: Verificar que no haya elementos sueltos, corrosión o deformaciones.
 - Limpieza de paneles: Utilizar agua desmineralizada y utensilios no abrasivos. Nunca realizar esta tarea con el sistema energizado ni bajo irradiación intensa.
 - Revisión eléctrica: Control de conexiones, terminales, fusibles, cables y cajas de conexión.
 - Pruebas de funcionamiento: Solo con personal capacitado y el equipo completamente seco y conectado.
4. Normativas y buenas prácticas norma Chilena NCh Elec. 4/2003: Requisitos para instalaciones eléctricas de baja tensión.
 - DS 594 del Ministerio de Salud: Reglamento sobre condiciones sanitarias y ambientales básicas en los lugares de trabajo.
 - Norma IEC 62446: Requisitos de prueba, documentación y mantenimiento para sistemas fotovoltaicos.
 - Capacitación obligatoria del personal técnico en procedimientos de trabajo seguro y primeros auxilios.
5. Señalización y Documentación Toda instalación debe contar con señalización visible de advertencia de riesgo eléctrico.

- Mantener un registro actualizado de inspecciones, mantenimientos realizados, riesgos detectados y medidas correctivas aplicadas.
- Implementar un plan de emergencia y protocolo de evacuación en caso de incidentes mayores.

15. Actuación en emergencias y primeros auxilios:

La implementación de protocolos de actuación en caso de emergencias es un componente crítico en los procedimientos de mantenimiento de instalaciones fotovoltaicas. Estos protocolos permiten minimizar el impacto de incidentes y proteger la vida e integridad del personal técnico. La respuesta eficaz ante una emergencia depende de la preparación previa, la capacitación del equipo y la disponibilidad de elementos de primeros auxilios y comunicación.

1. Tipos de emergencias potenciales en sistemas fotovoltaicos, tipo de emergencia posibles, causas, consecuencias asociadas a descarga eléctrica: Contacto accidental con partes activas del sistema, paro cardíaco, quemaduras, lesiones neuromusculares, caídas en altura, fallas en líneas de vida, superficies resbaladizas, distracción fracturas, traumatismos, lesiones cervicales Cortes o lesiones Herramientas manuales o bordes filosos en paneles o estructuras Hemorragias, heridas abiertas, golpes de calor o insolación, exposición prolongada a altas temperaturas, deshidratación, fatiga, desmayos, incendios eléctricos cortocircuitos, sobrecalentamiento de conexiones o acumuladores, quemaduras, propagación de fuego, daños materiales.

2. Protocolo General de Actuación en emergencias, evaluar la situación sin ponerse en riesgo:

Activar el protocolo interno de emergencia.

Contactar al servicio de emergencias (SAMU, Bomberos, etc.) indicando ubicación exacta y tipo de incidente.

Interrumpir la energía si es seguro hacerlo, utilizando los dispositivos de desconexión.

Aplicar primeros auxilios básicos mientras se espera ayuda profesional.

Registrar el incidente y reportarlo conforme a los procedimientos de seguridad de la empresa u organización.

3. Principios de primeros auxilios para casos comunes, emergencia, acción inmediata: Electrocución, no tocar directamente a la persona, cortar la energía, iniciar RCP si es necesario. Caída desde altura, no mover al accidentado, proteger el cuello, llamar a emergencias. Heridas cortantes, presionar con un paño limpio, elevar la zona afectada. Quemaduras, enfriar con agua limpia, cubrir sin aplicar cremas. Insolación/golpe de calor, retirar a la sombra, dar agua, aplicar paños húmedos.

Kit de Primeros Auxilios Recomendado, todo equipo de mantenimiento debe contar con un botiquín portátil que incluya al menos:

- Guantes de látex o nitrilo
- Gasas estériles y vendas
- Suero fisiológico
- Antiséptico (clorhexidina o povidona yodada)
- Apósitos y cinta adhesiva
- Tijeras y pinzas
- Manual básico de primeros auxilios
- Lista de teléfonos de emergencia

5. Recomendaciones finales - Capacitación continua: El personal debe estar entrenado en primeros auxilios y procedimientos de evacuación:

- Simulacros periódicos: Para familiarizar a los trabajadores con los protocolos de emergencia.
- Inspección del kit de emergencias: Realizar controles mensuales para asegurar que todos los elementos estén completos y en buen estado.
- Plan de comunicación: Designar responsables y medios de contacto inmediato ante cualquier incidente.

15.1 Tabla 9. Recomendaciones Generales para la Prevención de Riesgos en Mantenimiento Fotovoltaico.

El mantenimiento de instalaciones fotovoltaicas, tanto correctivo como preventivo, exige la adopción de estrictas medidas de seguridad que garanticen la integridad del personal técnico, el resguardo de los equipos y la continuidad operacional del sistema. Estas consideraciones deben estar alineadas con normativas nacionales e internacionales, como la NCh Elec. 4/2003, IEC 62446 y la Ley 16.744 sobre accidentes del trabajo.

Área de Riesgo	Recomendación Específica	Objetivo de la Medida
Riesgo Eléctrico	Desconectar totalmente el sistema antes de intervenir. Usar herramientas aisladas.	Evitar electrocución o cortocircuitos.
Trabajo en Altura	Utilizar arnés de seguridad, líneas de vida y casco con barboquejo.	Prevenir caídas y lesiones graves.
Condiciones Climáticas	No realizar mantenimiento bajo lluvia, viento fuerte o radiación solar extrema.	Reducir accidentes por superficies resbaladizas o fatiga.
Manipulación de Paneles	Utilizar guantes y protección ocular. No ejercer presión excesiva sobre los módulos.	Evitar daños físicos y roturas en los paneles.
Exposición Prolongada al Sol	Realizar pausas frecuentes, hidratarse y usar ropa adecuada con protección UV.	Prevenir golpes de calor e insolación.
Orden y Limpieza (5S)	Mantener el área libre de obstáculos, cables organizados, herramientas en buen estado.	Mejorar eficiencia y reducir riesgos de tropiezos.
Capacitación del Personal	Formación periódica en seguridad, primeros auxilios y protocolos eléctricos.	Asegurar respuesta adecuada ante incidentes.
Inspección de Equipos y EPP	Verificar estado de herramientas, escaleras y elementos de protección personal.	Garantizar la funcionalidad y seguridad del equipo.

16. Servicio de Mantenimiento: Enfoque General

El mantenimiento de sistemas fotovoltaicos constituye una actividad esencial para garantizar la continuidad operativa, la eficiencia energética y la vida útil prolongada de las instalaciones. Este servicio no solo abarca la corrección de fallas, sino que incorpora acciones sistemáticas de carácter preventivo y predictivo, orientadas a minimizar riesgos, evitar interrupciones no programadas y optimizar el retorno de inversión (ROI) del sistema.

16.1. Objetivo del Mantenimiento Fotovoltaico

1. El propósito fundamental del servicio de mantenimiento es:

- Asegurar el funcionamiento continuo y confiable del sistema fotovoltaico.
- Prevenir fallos mediante revisiones periódicas y controles técnicos.
- Detectar de forma anticipada desviaciones de rendimiento o desgaste de componentes.
- Prolongar la vida útil de los equipos y módulos.
- Garantizar la seguridad del personal, usuarios y entorno.

2. Clasificación del Servicio de Mantenimiento Tipo

Mantenimiento	Descripción
Preventivo	Inspecciones programadas, limpieza de paneles, verificación de conexiones y estado general.
Correctivo	Intervenciones ante fallas o disminuciones del rendimiento.
Predictivo de	Uso de monitoreo remoto, sensores o análisis térmico para anticipar fallas

inminentes.

3. Actividades Generales Incluidas en el Servicio

- **Inspección visual de módulos** para identificar roturas, delaminaciones, decoloraciones o suciedad excesiva.
- **Verificación de conexiones eléctricas** (bornas, inversores, protecciones, cajas de conexión).
- **Limpieza periódica de paneles** con agua desmineralizada o productos específicos, sin abrasivos.
- **Medición de parámetros eléctricos** como corriente, tensión, potencia, y curvas I-V.
- **Revisión de estructuras de soporte**, anclajes y elementos de fijación.

- **Evaluación de la eficiencia energética** y comparación con el diseño original o producción esperada.

4. Periodicidad recomendada

- Mantenimiento preventivo: **cada 3 a 6 meses** (dependiendo del entorno, nivel de suciedad y condiciones climáticas).
- Limpieza de módulos: **cada 2 a 4 meses**, o según acumulación de polvo y contaminantes.
- Inspección técnica integral: **una vez al año**, con informe detallado y recomendaciones de mejora.

5. Gestión documental y registros

Toda actividad de mantenimiento debe ser registrada formalmente mediante:

- Informe técnico estandarizado.
- Bitácora de mantenimiento.
- Registro fotográfico y mediciones.
- Recomendaciones de acción futura.

6. Profesionalización del Servicio

El personal encargado debe contar con formación técnica específica, manejo de riesgos eléctricos, conocimientos en normativas de instalaciones fotovoltaicas, y experiencia comprobada en sistemas de generación distribuida.

Este enfoque integral del mantenimiento permite no solo preservar la funcionalidad del sistema, sino también reforzar la sostenibilidad de la inversión y el cumplimiento de metas energéticas locales, como las impulsadas en la comuna de Florida.

16.2. Resumen:

El mantenimiento en instalaciones fotovoltaicas representa una actividad estratégica para garantizar su eficiencia, seguridad y durabilidad. En términos generales, las operaciones de mantenimiento pueden clasificarse en dos grandes categorías:

Revisión del estado operativo, que contempla la inspección del funcionamiento de los equipos, conexiones, estructuras y cableado. Esta revisión abarca tanto aspectos mecánicos como eléctricos, además de la limpieza superficial de los módulos, fundamental para preservar su capacidad de generación.

Control y calibración del sistema, orientado principalmente a asegurar la correcta configuración y funcionamiento de los sistemas de regulación, control e instrumentación. Esto incluye la verificación de parámetros, ajustes de software y sincronización con dispositivos de monitoreo remoto.

Ambas líneas de mantenimiento son complementarias y deben ejecutarse de manera periódica y sistemática para evitar pérdidas de rendimiento, prevenir fallos no deseados y asegurar la sostenibilidad técnica y económica del sistema fotovoltaico.

Contrato de Prestación de Servicios de Mantenimiento de Instalaciones Fotovoltáicas Entre:
[Nombre del Cliente o Institución Responsable], en adelante "El Contratante", con domicilio en [Dirección], RUT N.º [RUT], representado por [Nombre del representante], y

[Nombre de la Empresa o Técnico Especializado en Mantenimiento], en adelante "El Prestador", con domicilio en [Dirección], RUT N.º [RUT], se acuerda el siguiente contrato de prestación de servicios:

1. Objeto del Contrato: El presente contrato tiene por objeto establecer los términos y condiciones bajo los cuales El Prestador realizará labores de mantenimiento preventivo y correctivo en el sistema fotovoltaico ubicado en [Ubicación del sistema], propiedad de El Contratante.

2. Alcance de los Servicios: El Prestador se compromete a ejecutar las siguientes actividades:

Limpieza de módulos fotovoltaicos según programación o necesidad.

Inspección visual y técnica de componentes eléctricos y mecánicos.

Verificación y ajuste de conexiones eléctricas.

Control de sistemas de anclaje, estructuras de soporte y seguridad.

Revisión del sistema de monitoreo y registro de parámetros.

Atención de fallas menores y asesoría técnica en tiempo real.

3. Periodicidad del Servicio El mantenimiento se ejecutará conforme al siguiente esquema:

Mantenimiento preventivo: cada [3/6] meses.

Mantenimiento correctivo: en un plazo no superior a 72 horas después del aviso de falla.

4. Obligaciones del Contratante: Facilitar el acceso al sistema fotovoltaico.

Informar oportunamente cualquier anomalía observada.

Proveer condiciones de seguridad para el personal de mantenimiento.

Cumplir con los pagos pactados.

5. Obligaciones del Prestador: Realizar los servicios conforme a estándares técnicos vigentes.

Contar con personal capacitado y con experiencia demostrable.

Usar herramientas certificadas y elementos de protección personal.

Presentar informes técnicos detallados después de cada intervención.

6. Duración del Contrato: El contrato tendrá una duración de [1 año] a contar desde la fecha de firma, con posibilidad de renovación automática salvo aviso por escrito con 30 días de anticipación.
7. Honorarios y Formas de Pago: El Contratante pagará a El Prestador la suma de \$[monto] + IVA por cada intervención preventiva, y \$[monto] + IVA por intervención correctiva. Los pagos se efectuarán mediante transferencia electrónica dentro de los 15 días posteriores a la emisión de la factura.
8. Cláusula de Responsabilidad: El Prestador se compromete a responder por cualquier daño directo ocasionado por negligencia o incumplimiento técnico durante la ejecución del servicio.
9. Confidencialidad: Ambas partes se obligan a mantener la confidencialidad de toda la información técnica, económica o estratégica derivada de la ejecución del presente contrato.
10. Jurisdicción: Para todos los efectos legales, las partes fijan su domicilio en la comuna de [Nombre], sometiéndose a la jurisdicción de sus tribunales ordinarios de justicia.

Firmas:

El Contratante Nombre: Cargo: Fecha:

El Prestador Nombre: Cargo: Fecha

17. Programa de Mantenimiento de Sistemas Fotovoltaicos:

Ubicación: Comuna de Florida Periodicidad: Anual (con revisiones trimestrales) Objetivo: Mantener la eficiencia, seguridad y disponibilidad del sistema fotovoltaico, minimizando fallas y alargando la vida útil de los equipos.

1. Actividades Programadas de Mantenimiento Preventivo, N° Actividad, Frecuencia, Responsable, Observaciones: 1 Limpieza de módulos fotovoltaicos, Cada 3 meses, Técnico de mantenimiento, Uso de agua desmineralizada, 2 Inspección visual de módulos (fisuras, delaminaciones, suciedad), Trimestral, Técnico especializado. 3 Verificación de conexiones eléctricas (bornes, terminales, cajas), Trimestral, Técnico eléctrico, Apriete de tornillos, sin corrosión, 4 Revisión de estructuras de soporte y anclajes, Semestral, Técnico mecánico, Verificación de oxidación o fatiga. 5 Control de estado de acumuladores (si aplica), Mensual, Técnico eléctrico, Medición de voltaje y electrolito. 6 Revisión del inversor y sistema de monitoreo, Trimestral, Técnico electrónico, Limpieza de filtros y ventilación. 7 Medición de parámetros eléctricos: Tensión, corriente, potencia, curva I-V Trimestral, Técnico especializado, Comparación con especificaciones. 8 Actualización de registros y bitácora de mantenimiento, Trimestral, Responsable técnico Obligatoria tras cada intervención. 9 Inspección de seguridad eléctrica y señalética Semestral Prevencionista, Verificación de cumplimiento normativo. 10 Informe técnico anual A

Supervisor/Ingeniero, Incluye análisis de eficiencia

2. Actividades de Mantenimiento, Correctivo (Bajo Demanda), Tipo de Falla, Tiempo Máximo de Respuesta, Acción Correctiva, Módulo con fisura o rotura 72 horas, Reemplazo o aislamiento temporal, Fallo del inversor, 48 horas, Diagnóstico técnico y reparación o reemplazo, Caída en producción detectada, 24 horas, Verificación de limpieza, sombreado o defecto Error en monitoreo, 48 horas, Revisión de sensores, software o comunicación
3. Herramientas y Recursos Necesarios Multímetro y pinza amperimétrica:

Cámara termográfica (para detección de puntos calientes)

Equipo de medición curva I-V

Equipos de protección personal (EPP)

Kit de limpieza con agua desmineralizada

Andamios o elevadores seguros (si aplica)

4. Personal Involucrado, Técnico en mantenimiento fotovoltaico

Técnico eléctrico autorizado SEC

Supervisor o Ingeniero en Mantenimiento Industrial

Prevencionista de riesgos

5. Registro y Seguimiento: Todas las actividades deben ser documentadas en una bitácora de mantenimiento física o digital. Se debe generar un informe técnico trimestral y un informe consolidado anual, indicando acciones realizadas, hallazgos, indicadores de eficiencia, recomendaciones y conclusiones.

19.1. Análisis de los Tipos de Mantenimiento: Preventivo y Correctivo:

En el contexto de las instalaciones fotovoltaicas, una adecuada estrategia de mantenimiento resulta esencial para asegurar la continuidad operativa, la eficiencia energética y la sostenibilidad del sistema en el tiempo. Existen dos enfoques complementarios de mantenimiento: el mantenimiento preventivo y el mantenimiento correctivo, cada uno con objetivos, metodologías y momentos de aplicación específicos.

1. Mantenimiento Preventivo, este tipo de mantenimiento se basa en acciones planificadas y sistemáticas, orientadas a evitar la aparición de fallas y preservar el estado óptimo de los componentes del sistema. En instalaciones fotovoltaicas, el mantenimiento preventivo incluye actividades como:

- Limpieza periódica de los módulos fotovoltaicos para evitar pérdidas de eficiencia por suciedad.
- Verificación de conexiones eléctricas para prevenir puntos calientes o caídas de voltaje.
- Inspección de estructuras de soporte ante corrosión, deformaciones o aflojamiento.
- Revisión de inversores, acumuladores y sistemas de monitoreo.
- Evaluación del estado de los cables, fusibles, bornes y protecciones.

- El mantenimiento preventivo permite detectar anomalías en sus fases iniciales, lo que reduce los tiempos de inactividad y los costos asociados a reparaciones mayores. Además, contribuye al alargamiento de la vida útil de los componentes del sistema.

2. **Mantenimiento Correctivo** El mantenimiento correctivo consiste en la intervención no programada que se realiza cuando ya se ha producido una falla o un deterioro que afecta el funcionamiento del sistema. En sistemas fotovoltaicos, esto puede involucrar:

- Sustitución de módulos dañados por impacto, delaminación o rotura del vidrio.
- Reparación o reemplazo de inversores con fallas electrónicas.
- Corrección de fallos en acumuladores o controladores de carga.
- Solución de problemas en sistemas de seguimiento solar, si se utilizan.
- Restablecimiento del monitoreo remoto en caso de pérdida de comunicación.

Si bien el mantenimiento correctivo es necesario, su recurrencia debe minimizarse mediante una planificación preventiva eficiente. Una alta frecuencia de intervenciones correctivas puede indicar una deficiencia en el plan de mantenimiento o una mala elección de componentes.

Comparación General:

Aspecto	Mantenimiento Preventivo	Mantenimiento Correctivo
Enfoque	Proactivo	Reactivo
Objetivo	Evitar fallas	Corregir fallas ya ocurridas
Frecuencia	Periódica (programada)	Eventual (no programada)
Costo	Generalmente menor y más predecible	Puede ser alto y variable
Impacto en la operación	Mínimo	Puede generar tiempos de inactividad
Documentación requerida	Bitácora de revisiones	Informe técnico de falla y corrección

Ambos tipos de mantenimiento son indispensables y deben estar integrados en un plan de mantenimiento estructurado, que considere la realidad climática, operacional y económica de la comuna de Florida, así como las recomendaciones del fabricante y las normativas nacionales.

17.2. Averías más comunes en sistemas fotovoltaicos

En el funcionamiento de una instalación fotovoltaica, pueden presentarse diversas averías que afectan directa o indirectamente el rendimiento energético, la vida útil de los componentes y la seguridad del sistema. Identificar y clasificar estas fallas permite establecer estrategias eficaces de mantenimiento preventivo y correctivo. A continuación, se detallan las averías más frecuentes:

1. Suciedad en los Módulos

- **Descripción:** Acumulación de polvo, hojas, excrementos de aves u otros residuos en la superficie del panel.
- **Efecto:** Reducción significativa de la captación de radiación solar y, por ende, del rendimiento energético.
- **Solución:** Limpieza regular con agua desmineralizada y seguimiento visual periódico.

2. Puntos Calientes (Hot Spots)

- **Descripción:** Áreas localizadas en los módulos donde se concentra excesiva temperatura debido a celdas defectuosas o sombreadas.
- **Efecto:** Pérdida de eficiencia, riesgo de daño permanente al módulo y posibles incendios.
- **Solución:** Inspección con cámara termográfica, sustitución del módulo si es necesario.

3. Micro fisuras y Delaminaciones

- **Descripción:** Pequeñas fracturas en las celdas solares o separación de las capas del módulo.
- **Efecto:** Pérdida progresiva de potencia y riesgo de entrada de humedad.
- **Solución:** Reemplazo del módulo afectado y mejora en el transporte e instalación.

4. Conexiones Seltas o Corroídas

- **Descripción:** Aflojamiento o corrosión de terminales, conectores y bornes eléctricos.
- **Efecto:** Caídas de tensión, generación de arcos eléctricos y riesgo de incendio.
- **Solución:** Revisión y apriete periódico de conexiones, uso de componentes con protección IP adecuada.

5. Fallos en el Inversor

- **Descripción:** Error en la conversión de corriente continua (DC) a alterna (AC), provocado por fallos electrónicos o de configuración.
- **Efecto:** Interrupción total de la producción de energía del sistema.
- **Solución:** Diagnóstico con software especializado, reinicio, reparación o reemplazo del equipo.

6. Problemas en el Sistema de Monitoreo

- **Descripción:** Fallos en la transmisión de datos de producción y rendimiento.
- **Efecto:** Imposibilidad de detectar desviaciones o caídas de eficiencia en tiempo real.
- **Solución:** Revisión de conexiones de red, sensores, software y firmware del sistema.

7. Sombreado Parcial

- **Descripción:** Obstáculos como árboles, construcciones o suciedad que proyectan sombra sobre partes del módulo.
- **Efecto:** Reducción no lineal de la producción debido a la conexión en serie de las celdas.
- **Solución:** Rediseño del sitio, poda de vegetación y uso de optimizadores o micro inversores.

8. Degradación del Cableado

- **Descripción:** Desgaste de aislación por exposición solar o daño mecánico.
- **Efecto:** Pérdidas eléctricas, cortocircuitos o descargas a tierra.
- **Solución:** Inspección periódica, reemplazo de tramos dañados, uso de canalizaciones adecuadas.

Estas averías pueden mitigarse o prevenirse mediante la implementación de un **plan estructurado de mantenimiento** con inspecciones periódicas, registros técnicos y personal capacitado. La identificación temprana de fallos permite maximizar el retorno de inversión del sistema y garantizar una producción energética constante.

Interrupción del Suministro Eléctrico y Accidentes Eléctricos en Sistemas Fotovoltaicos Las instalaciones fotovoltaicas, al igual que cualquier sistema eléctrico, presentan riesgos inherentes relacionados con la generación, transmisión y conversión de energía eléctrica. Dentro de estos riesgos, destacan dos aspectos críticos: la interrupción del suministro y los accidentes eléctricos, los cuales deben ser gestionados a través de protocolos de seguridad adecuados y mantenimiento planificado.

Interrupción del Suministro Eléctrico La interrupción del suministro eléctrico puede ser causada por diversas fallas en el sistema, como:

- Fallos en el inversor o el sistema de regulación.
- Sobrecalentamiento de componentes por puntos calientes.
- Desconexión de protecciones por sobrecargas o cortocircuitos.
- Degradación de conexiones o cableado.

Consecuencias:

- Pérdida de generación de energía.
- Riesgo de daños a componentes sensibles.
- Interrupción en la entrega de energía a cargas críticas.

Medidas preventivas:

- Inspecciones regulares de inversores, interruptores y conexiones.
- Verificación de parámetros eléctricos a través del sistema de monitoreo.
- Mantenimiento preventivo programado.

Accidentes Eléctricos Los accidentes eléctricos representan uno de los mayores peligros durante las tareas de mantenimiento y operación de instalaciones fotovoltaicas. Estos pueden incluir:

- Electrocución: contacto directo o indirecto con partes activas del sistema.
- Arcos eléctricos: generados por conexiones defectuosas o aperturas bajo carga.
- Cortocircuitos: por fallas de aislamiento o manipulación incorrecta.
- Incendios eléctricos: provocados por sobrecalentamientos, chispas o material inflamable cercano a componentes eléctricos.

Factores de riesgo comunes:

- Manipulación sin desconexión del sistema.
- Uso inadecuado de herramientas o ausencia de equipos de protección personal (EPP).
- Falta de capacitación en riesgos eléctricos.

Medidas de seguridad:

- Siempre trabajar con el sistema desenergizado (salvo tareas específicamente diseñadas para pruebas en tensión).
- Uso obligatorio de EPP certificados: guantes dieléctricos, gafas, calzado aislante.
- Señalización adecuada del área de trabajo.
- Capacitación continua en normativa eléctrica y primeros auxilios.

Una gestión eficaz de estos riesgos requiere de un plan de seguridad eléctrica integral, acompañado por un programa de mantenimiento preventivo y correctivo, así como una cultura organizacional enfocada en la prevención.

En general se entiende que en el mantenimiento de instalaciones fotovoltaicas se de aplicación el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión y las normas de seguridad e higiene en instalaciones de baja y media tensión.

Las normas de aplicación son:

- Real Decreto 842/2002, de 2 de agosto. Rgto. Electrotécnico baja tensión. B.O.N 224 de 18 de septiembre de 2002.

- Real Decreto 614/2001, de 8 de junio, sobre disposiciones mínimas para la protección de la salud y seguridad de los trabajadores frente al riesgo eléctrico. BOE N 148 21 de Junio 2001
- Real Decreto 773/1997 de 30 de mayo, de disposiciones mínimas de Seguridad y salud relativas a la utilización de Equipos de Protección Individual. B.O.E. n 140 de 12 de Junio de 1997.
- Ley 31/1995 de 8 de noviembre de Prevención de Riesgos Laborales B.O.E n 260 y 9 de noviembre de 1995
- Real Decreto 486/1997 de 14 de abril coma de disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo. B.O.E n 97 de 23 de Abril de 1997.
- Real Decreto 2177/2004, de 12 de noviembre. Trabajos temporales en altura. B.O.E. N 274 de 13 de noviembre de 2004
- Real Decreto 485/1997 de 14, de señalización de seguridad y salud en el trabajo. B.O.E n 97 de 23 de Abril de 1997.
- Real Decreto 1215/1997 de 18 de julio, de disposiciones mínimas de seguridad y salud repetidas a la utilización de equipos Trabajo. B.O.E N 2731 Enero de 1997.
- Real decreto 487/1997 de 14 de abril, de disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la manipulación manual de cargas. B.O.E n 97 de 23 de Abril de 1997.
- Normas une de selección, instalación y mantenimiento de aparatos eléctricos

(Como la UNE-en 50281-1-2: 1999 o la UNE-EN 50281-1-2 CORRIGENDUM:

18. Mantenimiento preventivo de instalaciones fotovoltaicas:

A. Introducción

El plan de mantenimiento preventivo consiste en operaciones de impresión visual con verificación de actuaciones y otras operaciones, qué aplicadas a la instalación deben permitir mantener hola dentro de límites aceptables, las condiciones de funcionamiento, prestaciones, protección y durabilidad de la instalación.

18.1 Mantenimiento a Cargo del Usuario

En toda instalación fotovoltaica, el papel del usuario no debe limitarse únicamente a la utilización pasiva del sistema. Por el contrario, su participación en el mantenimiento básico y la supervisión del funcionamiento diario es fundamental para garantizar la eficiencia energética, prolongar la vida útil de los componentes y detectar posibles fallos de forma oportuna.

El **mantenimiento a cargo del usuario** comprende un conjunto de acciones sencillas, no invasivas y de bajo riesgo, que pueden ser realizadas sin necesidad de intervención técnica especializada. Estas tareas están orientadas a la **conservación preventiva** del sistema y a la identificación de señales tempranas de mal funcionamiento.

Principales Tareas del Usuario

1. **Inspección Visual Periódica** ○ Verificar la limpieza de los módulos solares.
 - Identificar fisuras, roturas, puntos calientes u objetos extraños sobre los paneles.
 - Revisar que no existan sombras nuevas sobre los módulos (crecimiento de vegetación, estructuras cercanas, etc.).
2. **Limpieza Básica de Paneles** ○ Usar agua limpia (preferentemente desmineralizada) y paños suaves. ○ Evitar productos abrasivos, detergentes o esponjas metálicas.
 - Realizar la limpieza en horarios de baja radiación (mañana o tarde) para evitar choques térmicos.
3. **Monitoreo del Sistema** ○ Controlar regularmente los indicadores del inversor o del sistema de monitoreo (estado de carga, producción diaria, errores). ○ Registrar valores de producción eléctrica y detectar caídas inusuales en el rendimiento.
4. **Verificación de Acumuladores (si aplica)** ○ Observar el estado físico de las baterías (hinchazón, corrosión en terminales, fugas).
 - Notificar a técnicos ante cualquier anomalía.
5. **Notificación de Fallas** ○ Informar inmediatamente al servicio técnico ante cualquier comportamiento anormal, mensajes de error en el inversor o ruidos extraños.

Recomendaciones Generales para el Usuario

- **No manipular componentes eléctricos:** especialmente conexiones, inversores, baterías o interruptores, sin supervisión técnica.
- **Mantener despejada el área del sistema:** evitar almacenar objetos cerca de los paneles, cableado o cajas de conexión.
- **Registrar observaciones** en una bitácora de mantenimiento: esto facilita el diagnóstico en futuras intervenciones profesionales. El mantenimiento a cargo del usuario complementa de manera eficaz las revisiones técnicas profesionales, fortaleciendo la fiabilidad del sistema y favoreciendo una gestión energética más eficiente y responsable.

18.2 Mantenimiento a Cargo del Técnico

El mantenimiento técnico especializado en instalaciones fotovoltaicas conectadas a la red es una actividad clave para asegurar el rendimiento óptimo del sistema, prevenir fallas mayores y prolongar la vida útil de sus componentes. A diferencia del mantenimiento básico realizado por el

usuario, estas tareas requieren conocimientos técnicos, instrumentación específica y experiencia profesional.

Como **norma general**, se recomienda programar al menos **dos visitas técnicas anuales** a la instalación: una previa al inicio del invierno y otra antes del verano. Estas revisiones deben adaptarse a las condiciones particulares de cada instalación, considerando variables como ubicación, condiciones climáticas, carga operativa, tecnología instalada y entorno físico.

1. Mantenimiento en el Campo Fotovoltaico

- **Inspección de los módulos:** detección de fisuras, decoloraciones, puntos calientes, de laminación o suciedad excesiva.
 - **Inspección de la estructura soporte:** verificación de fijaciones, corrosión, deformaciones mecánicas o asentamientos irregulares.
 - **Inspección del cableado:** comprobación del aislamiento, estado de conectores, terminales, bandejas o canalizaciones.
-

2. Mantenimiento en la Interfaz de Conexión a la Red

- **Inspección completa del inversor:** análisis de alarmas registradas, actualización de firmware (si corresponde), revisión de ventilación, limpieza interna y externa.
 - **Verificación de elementos de desconexión y protección:** inspección de seccionadores, disyuntores, fusibles, diferenciales y sistemas de puesta a tierra.
 - **Inspección del cableado de red:** identificación de posibles sobrecalentamientos, daños mecánicos o conexiones flojas.
 - **Comprobación del funcionamiento del inversor:** verificación de parámetros eléctricos (tensión, corriente, frecuencia, factor de potencia), eficiencia de conversión, y monitoreo de datos.
 - **Comprobación de elementos de desconexión:** evaluación de su respuesta ante simulacros de corte.
 - **Comprobación de la inyección de energía a la red:** análisis del caudal energético entregado, coherencia con los valores esperados y registro de datos en sistemas de medición.
-

3. Procedimiento Técnico

Cada visita técnica debe concebirse como una **revisión integral o nueva “puesta en marcha” del sistema**, siguiendo criterios establecidos en el **manual de recepción** del fabricante o proveedor, pero adaptados a la condición operativa actual del sistema. Esto implica:

- Análisis comparativo de parámetros actuales con los valores iniciales.
- Diagnóstico de eficiencia general del sistema.
- Elaboración de un informe técnico con observaciones, recomendaciones y posibles correctivos.

El mantenimiento técnico no solo busca **corregir desviaciones o anticipar fallos**, sino también **optimizar la producción energética**, adaptarse a nuevas condiciones de operación y garantizar la seguridad del sistema frente a riesgos eléctricos o estructurales.

Limpieza Periódica del Panel Fotovoltaico La limpieza de los módulos fotovoltaicos constituye una actividad esencial dentro del mantenimiento preventivo, ya que la acumulación de polvo, polen, hojas, excrementos de aves u otros contaminantes puede reducir significativamente la eficiencia en la captación de radiación solar. Esta pérdida de rendimiento puede oscilar entre un 5% y un 25%, dependiendo del grado de suciedad y del entorno ambiental.

Importancia de la Limpieza Una superficie sucia impide que los rayos solares lleguen correctamente a las células fotovoltaicas, generando sombras parciales que afectan no solo a la célula obstruida, sino también al rendimiento general del módulo, especialmente si las células están conectadas en serie.

Frecuencia Recomendada Zonas rurales, secas o con alta polución: cada 1 a 2 meses.

Zonas urbanas o de baja suciedad ambiental: cada 3 a 6 meses.

Después de eventos climáticos extremos (tormentas de polvo, incendios, lluvias ácidas): limpieza inmediata.

La frecuencia debe adaptarse a la ubicación específica de la instalación, a la inclinación de los paneles y a los registros de producción energética.

Procedimiento de Limpieza Horario recomendado: limpiar al amanecer o al atardecer, cuando los módulos están fríos, para evitar choques térmicos que puedan dañar el vidrio.

Materiales adecuados:

Agua limpia (idealmente desmineralizada o destilada).

Paños suaves o esponjas no abrasivas.

En casos puntuales, jabón neutro (evitar detergentes agresivos).

Evitar:

El uso de hidro lavadoras o chorros de alta presión.

Productos químicos corrosivos o disolventes.

Caminar sobre los paneles.

Revisión posterior: tras la limpieza, se recomienda realizar una inspección visual para detectar posible micro fisuras, puntos calientes o daños mecánicos.

Responsable, el usuario capacitado puede realizar la limpieza básica, siempre que no implique riesgos eléctricos o estructurales.

En instalaciones mayores o con difícil acceso, se recomienda la intervención de técnicos especializados.

19. Mantenimiento del sistema de regulación, control y equipos auxiliares

El sistema de regulación y control representa el núcleo operativo de una instalación fotovoltaica moderna, ya que permite gestionar la producción, el almacenamiento, la seguridad y el rendimiento energético del sistema. Su correcto funcionamiento es esencial para optimizar el aprovechamiento de la energía solar y garantizar una operación segura y eficiente. De igual forma, los equipos auxiliares (como sistemas de comunicación, protección, ventilación, almacenamiento o monitoreo) desempeñan un rol clave en la estabilidad y supervisión integral del sistema.

Objetivos del Mantenimiento

- Verificar el correcto funcionamiento de los reguladores de carga, controladores, sensores y autómatas programables.
- Garantizar la calibración y configuración óptima de los dispositivos de control.
- Prevenir fallas en sistemas auxiliares que podrían afectar la operatividad general de la instalación.
- Asegurar la compatibilidad de parámetros entre inversores, baterías y módulos fotovoltaicos.
- Detectar desviaciones o fallos lógicos que no sean visibles en inspecciones físicas.

Tareas de Mantenimiento Específicas

1. Verificación del regulador de carga:

- Confirmar que los niveles de tensión y corriente se mantengan dentro de los márgenes establecidos.
- Evaluar el comportamiento del sistema ante distintas condiciones de carga y producción.
- Revisión de historial de alarmas o eventos registrados.

2. Revisión de controladores lógicos (PLC, SCADA u otros):

- Inspección del software de control: versiones, actualizaciones y backups.
- Evaluación de la integridad de los datos recibidos por sensores (irradiancia, temperatura, voltaje, etc.).

- Pruebas de respuesta del sistema ante simulaciones de fallas o eventos programados.
- 3. **Inspección de sistemas de comunicación y monitoreo:**
 - Comprobación del enlace entre inversores y plataformas de monitoreo remoto. ○
Validación de transmisión de datos en tiempo real y correcta sincronización.
 - Limpieza de componentes físicos (routers, antenas, interfaces USB o Ethernet).
- 4. **Mantenimiento de equipos auxiliares:**
 - Verificación de ventiladores, extractores, filtros y sistemas de refrigeración. ○
Control del estado físico de gabinetes eléctricos, protecciones térmicas y fusibles.
 - Comprobación de alarmas acústicas o visuales.
- 5. **Calibración de equipos:**
 - Ajuste de sensores de tensión, corriente y temperatura conforme a los valores de referencia.
 - Revisión de umbrales de actuación y coordinación entre los diferentes dispositivos de protección.

Frecuencia Recomendada

- **Inspección general:** cada 6 meses.
- **Calibración y actualización de software:** 1 vez al año o tras eventos significativos (cortes, tormentas, mantenimiento mayor).
- **Revisión de alarmas y registros históricos:** en cada visita técnica.

Responsable

Estas tareas deben ser ejecutadas exclusivamente por **personal técnico cualificado**, con conocimientos en electrónica de potencia, automatización industrial y sistemas eléctricos fotovoltaicos, ya que una mala intervención podría desconfigurar el sistema y comprometer su seguridad.

Un mantenimiento sistemático del sistema de regulación y de los equipos auxiliares no solo optimiza el rendimiento operativo, sino que **previene fallas críticas** que podrían resultar en interrupciones prolongadas o daños en otros componentes del sistema.

F.4 Comprobación de la tensión sin carga de los elementos del acumulador

La operación consiste en desconectar cada elemento de la batería y medir con un polímetro la tensión entre las bornas.

Las medidas deberán ser muy próximas para todos los elementos, y acordes con las especificaciones del fabricante. Diferencias importantes en un elemento es signo de

posible avería de este. Todas las medidas se realizarán con el nivel correcto del electrolito, esto es, después de proceder al relleno de la batería en caso necesario.

F.5 Medida de la densidad del electrolito

La medida solo es posible en las baterías en las que el electrolito es accesible, y esta se realizara con el nivel de este en su valor correcto. Para la medida basta utilizar un densímetro de flotador. Las densidades deben ser similares en todos los casos, y concordantes con las especificaciones del fabricante de la batería. Diferencias importantes son señal de posible avería del equipo.

F.6 Comprobación de la utilización del acumulador.

Como se ha señalado, las averías más frecuentes en los acumuladores son debidas a un uso excesivo de la instalación, es decir, al conectar cargas excesivas. El instalador debe tratar de averiguar este punto, coma comprobando:

- El estado de carga del acumulador, y comprobando con el nivel de radiación solar de los días previos.

- Los consumos, cuando hay contadores, y compararlos con los previstos.

- El número de cortes por baja tensión producidos en el período entre revisiones, cuando existe este equipo.

G. otras operaciones de mantenimiento

Inspección general del Estado de toda la instalación realizado ocasionalmente, consiste en realizar maniobras de conexión desconexión (según indicaciones del instalador) y advertir al técnico.

19.1. Mantenimiento Correctivo de las Instalaciones Fotovoltaicas:

El mantenimiento correctivo consiste en el conjunto de intervenciones técnicas realizadas para reparar fallas o anomalías detectadas en el sistema fotovoltaico, con el objetivo de restablecer su funcionamiento normal y garantizar la continuidad en la generación eléctrica. A diferencia del mantenimiento preventivo, que busca anticipar fallos, el correctivo actúa una vez que el desperfecto ya ha ocurrido.

Importancia del Mantenimiento Correctivo En instalaciones fotovoltaicas conectadas a la red o autónomas, las averías pueden afectar gravemente la eficiencia del sistema e incluso generar

riesgos eléctricos o estructurales. Por ello, es fundamental contar con protocolos claros de actuación correctiva, minimizando tiempos de inactividad y pérdidas energéticas.

Principales Situaciones que Requieren Mantenimiento Correctivo Fallas en módulos fotovoltaicos:

Presencia de micro fisuras, puntos calientes, delaminación o rotura de vidrio.

Baja producción inexplicable de un módulo o grupo de módulos.

Problemas en el cableado:

Cortocircuitos, deterioro por rayos UV, sobrecalentamiento o desconexión accidental.

Fallo en el inversor:

Mensajes de error, interrupción en la inyección de energía a la red, sobrecalentamiento o reinicios inesperados.

Averías en acumuladores (si aplica):

Sulfatación, pérdida de capacidad, fugas de electrolito o mal funcionamiento en ciclos de carga y descarga.

Mal funcionamiento del sistema de regulación y control:

Desconfiguración de parámetros, fallo en sensores o interrupción de comunicaciones con el sistema de monitoreo.

Fallas en protecciones eléctricas:

Disparos frecuentes de interruptores, fusibles fundidos o ausencia de desconexión automática en fallas.

Etapas del Proceso Correctivo Detección de la falla: puede ser visual, mediante el sistema de monitoreo o alertas del inversor.

Diagnóstico técnico: identificación precisa de la causa raíz mediante pruebas y mediciones.

Intervención correctiva: reparación, reemplazo o ajuste del componente afectado.

Verificación funcional: aseguramiento del restablecimiento de parámetros nominales.

Registro y documentación: anotación de la intervención en bitácora técnica, con fecha, equipo afectado y solución aplicada.

Consideraciones Clave Toda intervención correctiva debe ser realizada por personal calificado, siguiendo normas de seguridad eléctrica.

Es fundamental disponer de repuestos críticos en stock (fusibles, conectores, cables, protecciones, etc.).

La reincidencia de fallas puede indicar deficiencias en el mantenimiento preventivo o errores de diseño/instalación.

El mantenimiento correctivo no puede sustituir al preventivo, pero sí es complementario y esencial para mantener la operatividad del sistema en el largo plazo. Su planificación debe formar parte de un programa integral de gestión técnica de la instalación fotovoltaica.

19.2. Averías de los paneles fotovoltaicos y su conexionado Los casos de averías detectados en la práctica son:

B. Rotura de vidrio en los paneles

La penetración de agua en el interior del panel y la consecuente oxidación del circuito interior de las células y soldaduras de conexión.

Fallos en el conexionado y entrada de agua en la caja de bornas del panel.

Ensuciamiento o sombras parciales, que generan averías en las células.

Defectos de fabricación (muy escasos).

B.1 Rotura de vidrio

La rotura de vidrio se produce usualmente por acciones desde el exterior, como son golpes, pedradas, etc., y rara vez por fatiga térmica debida a problemas del montaje del cristal. También se han detectado algunos casos de rotura en el transporte a obra.

La rotura del cristal como al ser templado, se produce siempre en forma de astillado total de la superficie, hoy notándose perfectamente el lugar del golpe, hoy lo que permite distinguir los pocos casos de fallo por fuerza de tensión térmica. El astillado reduce el rendimiento aproximadamente en un 30% pero el panel puede constituir en uso. Por esta razón como lo más normal es añadir un panel más a la instalación y dejar el averiado, aumentando así la potencia.

B.2 Penetración de humedad en el interior del panel

Aunque esta es una avería poco frecuente como puede producirse por golpes externos, degradación del material encapsulante o defectos de fabricación. Cuando penetra humedad hasta el circuito de las células y sus conexiones, aparecen corrosiones que reducen e incluso rompen el contacto eléctrico de los electrodos con el material de las células, impidiendo la recogida de electrones y haciendo inútil de

esta forma el panel solar. La tensión y la intensidad caen a cero y el panel debe ser sustituido de inmediato.

Fallos en las conexiones de los paneles en instalaciones bien realizadas no se detectan casos de aflojamiento de los conectores del cableado de los paneles, ni de su oxidación, ya que son de latón. Se ha detectado ciertos casos de entrada de agua en la caja de conexiones, y fallos de los capuchones de protección en los paneles antiguos (actualmente todos usan cajas de conexión).

La presencia de agua en los contactos produce caídas de tensión en el circuito y, consecuentemente, reducción de la potencia generada.

La reparación consiste en la limpieza de los terminales o bornas de conexión, y el cambio de la junta de la caja de conexiones o de los capuchones de goma de los terminales.

Calidad en el mantenimiento de instalaciones fotovoltaica

- . Calidad en el mantenimiento
- . Herramientas de calidad
- . Documentación técnica de la realidad
- .

19.3. Calidad en el mantenimiento.

Cuando hablamos de calidad en el mantenimiento podemos considerarla como un tipo de calidad en los servicios HP para conseguir una buena calidad de los productos o servicios hay que tener en cuenta 3 aspectos importantes:

- Dimensión técnica: hoy engloba los aspectos científicos y tecnológicos que afectan al producto servicio.
- Dimensión humana: cuida las buenas relaciones entre clientes y empresas.
- Dimensión económica: Intenta minimizar costos tanto para el cliente como para la empresa.

A. Dimensión técnica

- La calidad de conformidad: hoy en la medida en que el servicio realizado, en este caso el mantenimiento de la instalación, hoy se

corresponde con las especificaciones del diseño y la concuerda con las exigencias del proyecto.

- La calidad de funcionamiento: indicativo de unos buenos resultados obtenidos a través del mantenimiento.
- control de los equipos de inspección, medida y ensayo: HP elaborar un inventario, home plan anual de calibración, controlar la calibración y coma realizar a su vez un mantenimiento preventivo de los equipos y herramientas a empleados

B. Dimensión humana

Cuidar las buenas relaciones con el cliente, hola en este caso con el usuario o propietario de la instalación fotovoltaica, hoy consiste en averiguar que quieren y esperan de nuestro servicio de mantenimiento, para así orientar nuestra actuación hacia la mejor satisfacción de este. Dar el mejor servicio se debe considerar el conjunto de prestaciones que el cliente quiere:

- El valor añadido que un buen servicio de mantenimiento le da a la instalación fotovoltaica
- El servicio en sí: Qué operaciones se realizan que no podría realizar el usuario.
- La experiencia de la empresa encargada del mantenimiento

C. Dimensión Económica

La Realización que se establece entre el cliente, en este caso puede ser el usuario de la instalación o su propio propietario, y la empresa encargada del mantenimiento tiene que ser favorable económicamente para ambos.

Esto se consigue minimizando los costos tanto para el cliente como para la empresa.

De cara al cliente mediante presupuestos ajustados, ahorro obtenido al evitar fallos de la instalación mediante un buen mantenimiento, reducción de los gastos de reparación, y de cara a la empresa realizando una gestión eficaz de recursos económicos., mediante contratos de mantenimiento los equipos y herramientas empleados en el montaje de la instalación, etc.

20. Pliegos de condiciones técnicas

En el pliego de condiciones técnicas, del proyecto de la instalación, se exponen las condiciones generales y económicas, así como las técnicas y particulares. Estas condiciones deben cumplir unos requisitos mínimos que indica la normativa aplicable, para asegurar su calidad, en beneficio del usuario y del propio desarrollo de esta tecnología.

20.1. Normativa sobre calidad

Sería otro manual completo el estudio de la normativa de calidad aplicable a cada aspecto del mantenimiento (servicio, contratos, materiales, equipos, procedimientos, etc.) Pero podemos decir, englobando toda esta normativa, que existen dos familias de normas relacionadas con la actividad de calidad.

1 familias de norma Iso 9000 Son el conjunto de normas internacionales producidas por el comité técnico Iso/TC 176. Este conjunto de normas comprende:

- Todas las normas numeradas como ISO 9000 a ISO 9004 incluyendo las partes que se derivan de cada ISO 9000 e ISO 9004
- Todas las normas ISO numeradas ISO 10001 en adelante incluyendo todas sus partes.
- La norma ISO 8402 sobre vocabulario.

Están relacionadas con las organizaciones que implantan sistemas para la calidad.

2 Familia de Normas EN 45000 son el conjunto de normas que recoge todas las normas EN 45001 en adelante incluyendo cada una de sus partes y están relacionadas con las entidades que certifican sistemas de la calidad, productos o personas en este campo.

-Herramientas de calidad aplicadas a la mejora de las operaciones de mantenimiento

-Cuando queremos evaluar la calidad del mantenimiento podemos emplear una serie de técnicas estadísticas.

20.2. Algunas de estas técnicas, que se conocen como “Las 7 herramientas de calidad

“son:

. Diagrama de causa-efecto .

Plantilla de inspección.

- . Gráficos de control.
- . Diagrama de flujo.
- . Histogramas
- . Gráficos de Pareto
- . Diagrama de dispersión

Categorías de Causa – Diagrama de Ishikawa (Causa-Efecto)

1. Materiales Módulos fotovoltaicos sucios o con residuos adheridos

Inversores con fallas de funcionamiento

Cables deteriorados o defectuosos

Reguladores mal configurados o inapropiados

Componentes eléctricos de baja calidad

Acumuladores degradados por uso o antigüedad

2. Método Ausencia de mantenimiento preventivo sistemático

Procedimientos operacionales inadecuados Frecuencia

de inspección incorrecta

Falta de seguimiento técnico y documental

Errores en la planificación del mantenimiento

3. Mano de Obra Personal técnico sin capacitación específica Manipulación inadecuada de los equipos

Conexiones erróneas o falsos contactos

Falta de supervisión en la instalación y mantenimiento

4. Medio Ambiente Presencia de sombras proyectadas (árboles, construcciones) Acumulación de polvo, smog o residuos atmosféricos

Altas temperaturas que afectan la eficiencia de los módulos

Humedad excesiva o precipitaciones frecuentes

5. Maquinaria Fallas en el sistema de monitoreo y control

Equipos auxiliares mal calibrados o averiados

Instalación con errores técnicos o desajustes estructurales

Interpretación: Materiales: Componentes de baja calidad o con desgaste prematuro afectan directamente la eficiencia del sistema.

Método: La falta de un plan de mantenimiento preventivo adecuado o procedimientos incorrectos reducen el rendimiento.

Mano de obra: Técnicos sin la capacitación adecuada pueden instalar o mantener mal los equipos.

Medio ambiente: Factores externos como polvo, sombras o temperatura elevada disminuyen la captación solar.

Maquinaria: Equipos como inversores, reguladores o acumuladores pueden presentar fallas técnicas que afectan la generación.

¿Cómo Hacerlo?

Si queremos emplear esta herramienta en la mejora de la calidad del mantenimiento de una instalación fotovoltaica, para empezar, hay que decidir qué características de la calidad en el mantenimiento queremos examinar y continuaremos con los siguientes pasos:

1. Dibujamos un diagrama en blanco.
2. Escribimos de forma breve el problema o el efecto.
3. Escribamos las categorías que consideremos apropiadas a nuestro problema: maquina, mano de obra, materiales, métodos, son los más comunes.
4. Realizamos una lluvia de ideas de posibles causas y relacionamos a cada categoría.
5. Preguntamos ¿por qué? A cada causa, no más de dos o tres veces.
6. Las variaciones en las causas seleccionadas deben ser de fácil implementación y de alto impacto.

Histograma

Un histograma es una representación gráfica de una variable en forma de barras, como por ejemplo el número de operaciones de mantenimiento realizadas en determinado periodo de tiempo. La superficie de cada barra es proporcional a la frecuencia de los valores representados.

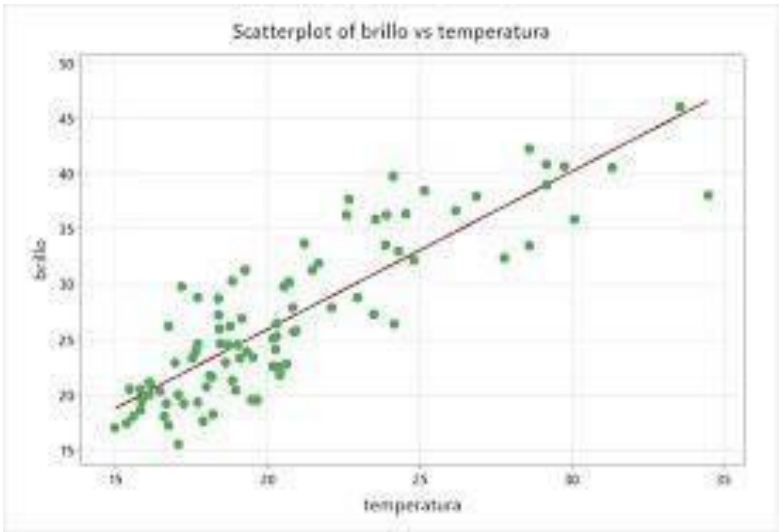
En el eje vertical se representan las frecuencias, y en el eje horizontal los valores de la

Operaciones de mantenimiento y sus actuaciones

Operación de mantenimiento	Actuaciones en los últimos 5 años
Campo de captadores	16
Baterías	22
Inversor y Regulador	10
Puesta a Tierra	10
Protecciones	14

Fuente: Centro de Energía Renovables y eficiencia energética
Imarcoain (Navarra)

Diagrama de dispersión



Fuente: <https://www.google.com/>

Este diagrama es de utilidad cuando queremos mejorar una operación de mantenimiento como puede ser la comprobación del estado de las variables.

Durante las operaciones de mantenimiento de las baterías podemos medir los valores de la densidad del electrolito y del estado de carga de las baterías.

Con estos pares de valores obtenidos podríamos realizar un diagrama de dispersión que nos indicara la relación que existe entre las dos medidas o variables estudiadas.

Podemos obtener así la dependencia de una variable de otra: por ejemplo, la dependencia del estado de la carga de la batería con respecto a la densidad del electrolito, de manera que en un futuro podamos estimar el estado de la carga de la batería (sin medirlo) mediante la simple observación de la densidad del electrolito. Esto puede ayudarnos a realizar un mantenimiento más eficaz y de mayor calidad.

20.3. Documentación técnica de la calidad

A. Informe y partes de control

Una vez realizada la visita técnica por el responsable encargado del mantenimiento de la instalación, este debe realizar un informe o un parte de control en el que indique:

- Tipo de operación de mantenimiento realizada (inspección, comprobación)
- Objeto de la operación (paneles, baterías)
- Periodicidad
- Descripción de la labor realizada (lo más detallada posible)
- Observación
- Fecha
- Firma del técnico

- Otros: fecha próxima visita, recomendaciones al usuario

Informe de mantenimiento

Manual De mantenimiento de instalaciones fotovoltaicas modelo de informe	
Operación de mantenimiento	referenciar la correspondiente según el manual de mantenimiento
Objeto	paneles, baterías.
Periodicidad	6 meses, anual...
Descripción	detallar las labores realizadas
Observaciones	cualesquiera que pueda ser de interés para el seguimiento posterior del estado de la instalación
Fecha:	Técnico:

Modelo general de informe de mantenimiento.

B. Manual de mantenimiento

Como ya hemos comentado anteriormente, el mantenimiento de la instalación por parte del técnico suele suponer por lo menos la realización de visitas técnicas de periodicidad de variable en función de las características de la instalación (generalmente entre 1 como mínimo y 4 como máximo al año)

En estas visitas el técnico se vale del manual de recepción que incluye:

- Las operaciones de mantenimiento de aplicación a la instalación concreta.
- Las especificaciones particulares necesarias.
- Los modelos de informes o partes de control.
- La documentación de fabricantes de los equipos de la instalación.

Operación De Mantenimiento	
Sistema	Campo fotovoltaico
Operación	comprobación de las conexiones de los paneles
Frecuencia	6 meses
Observaciones: - comprobación del apriete y estado de los terminales de los cables de conexionado de los paneles.	
- Comprobación de la estanquidad de las cajas de terminales o del estado de los capuchones de protección de los terminales. - En caso de observarse fallos de estanquidad, se procederá a la sustitución de los elementos.	

21. Evaluación Económica del Mantenimiento Preventivo en Sistemas Fotovoltaicos:

La evaluación económica del mantenimiento preventivo en instalaciones fotovoltaicas es fundamental para determinar la viabilidad y rentabilidad del sistema a lo largo del tiempo. Esta evaluación considera tanto los costos asociados a la implementación del plan de mantenimiento, como los beneficios económicos derivados del aumento en la eficiencia operativa, la reducción de fallos y la prolongación de la vida útil del sistema.

1. Costos Directos del Mantenimiento Preventivo Concepto Frecuencia Costo Unitario (CLP)
- Costo Anual Estimado (CLP) Limpieza de paneles Trimestral 45.000 180.000 Inspección

técnica general Semestral 75.000 150.000 Verificación del inversor y conexiones Semestral 60.000 120.000 Reemplazo de fusibles/protecciones Anual 30.000 30.000

Monitoreo remoto Continuo (mensual) 15.000 180.000 Total estimado anual 660.000 CLP

2. Costos Evitados por Fallas No Prevenidas (Estimados) Tipo de Falla Costo Promedio por Evento (CLP) Frecuencia Anual Sin Mantenimiento Costo Total (CLP) Inversor dañado 800.000 0,3 veces 240.000 Módulo reemplazado por suciedad 300.000 1 vez 300.000 Fallas de cableado o conexiones 150.000 1,5 veces 225.000 Pérdida de producción (kWh no vendidos) 100.000 - 100.000 Total de costos evitados 865.000 CLP
3. Beneficio Neto Estimado del Mantenimiento Preventivo Beneficio Neto Anual = Costos Evitados – Costo del Mantenimiento Beneficio Neto = 865.000 – 660.000 = 205.000 CLP
4. Análisis Costo-Beneficio Índice C/B = Costos Evitados / Costo del Mantenimiento = 865.000 / 660.000 $\approx$ 1,31

Un índice C/B mayor a 1 indica que la inversión en mantenimiento preventivo es económicamente rentable, ya que los beneficios superan los costos.

Conclusión Económica La implementación de un programa de mantenimiento preventivo en instalaciones fotovoltaicas en la comuna de Florida no solo mejora la eficiencia energética y la confiabilidad del sistema, sino que también resulta económicamente justificable. La relación costobeneficio demuestra que mantener una rutina estructurada de inspección y limpieza reduce la probabilidad de fallas costosas y aumenta la rentabilidad general del sistema.

21.1. Técnicas de Mantenimiento Preventivo en Sistemas Fotovoltaicos

El mantenimiento preventivo tiene como objetivo anticipar y mitigar fallas antes de que ocurran, asegurando el funcionamiento eficiente y seguro del sistema fotovoltaico. Las siguientes técnicas son fundamentales para mantener el rendimiento y prolongar la vida útil de la instalación:

1. Inspección Visual Sistemática

Consiste en revisar periódicamente todos los componentes visibles de la instalación:

- Detección de suciedad, grietas o daños en los módulos.
- Verificación de oxidación o corrosión en estructuras metálicas.
- Identificación de cables expuestos, sueltos o deteriorados.
- Comprobación del estado de los conectores y bornas.

2. Limpieza de Superficies Fotovoltaicas

La acumulación de polvo, hojas, excrementos o contaminación reduce la eficiencia de conversión. La limpieza debe realizarse con:

- Agua desmineralizada o con bajo contenido de minerales.
 - Cepillos suaves o esponjas no abrasivas.
 - Frecuencia recomendada: cada 3 o 4 meses, según el entorno.
-

3. Medición de Parámetros Eléctricos

Permite detectar anomalías antes de que se conviertan en fallas mayores:

- Verificación de la tensión, corriente y potencia de salida.
 - Comparación de datos con valores nominales de diseño.
 - Revisión del correcto funcionamiento del inversor.
-

4. Termografía Infrarroja

Se utiliza una cámara termográfica para identificar puntos calientes (“hot spots”) en:

- Células dañadas o sombreadas.
 - Conexiones eléctricas con resistencia anormal.
 - Fallos en el inversor o protecciones eléctricas.
-

5. Verificación de la Estructura Soporte

Se inspecciona el estado físico y mecánico del sistema estructural:

- Tornillos y anclajes bien sujetos.
 - Ausencia de deformaciones o corrosión.
 - Alineación adecuada para evitar tensiones mecánicas.
-

6. Pruebas Funcionales de Equipos de Protección Incluye:

- Comprobación de interruptores, seccionadores y fusibles.
 - Ensayo de sistemas de puesta a tierra.
 - Revisión de protección contra sobretensiones.
-

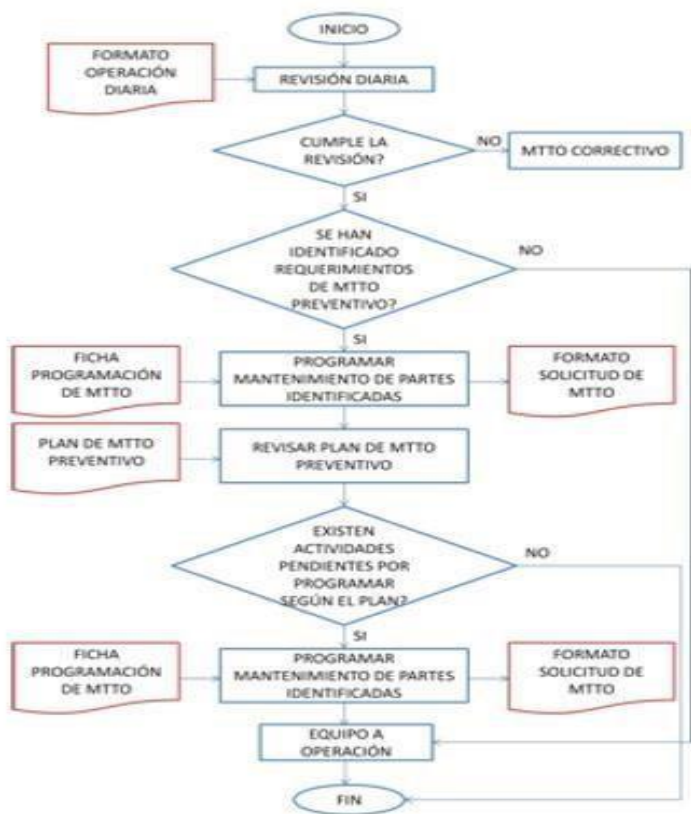
7. Actualización y Calibración del Sistema de Monitoreo

El sistema de control y monitoreo requiere revisión periódica:

- Verificación de sensores de irradiancia, temperatura y energía.
- Calibración de dataloggers y controladores.
- Actualización de firmware de los inversores si corresponde.

Conclusión

La aplicación sistemática de estas técnicas de mantenimiento preventivo garantiza la operación eficiente de los sistemas fotovoltaicos, minimiza los riesgos de fallos y asegura una mayor vida útil de los componentes críticos, favoreciendo el retorno económico de la inversión.



Gestión del Mantenimiento/ M.Q.N.



Gestión del Mantenimiento/ M.Q.N.

21.2. Tabla de Presupuesto Anual para Mantenimiento Preventivo de Sistema Fotovoltaico

N.º concepto	Costo Unitario (CLP)	Total, Anual (CLP)
1 limpieza de paneles solares	Trimestral (4veces)	45.000 .180.000
2 inspección visual general	Semestral (2 2veces)	60.000 120.000
3 revisión eléctrica del inversor y cableado	Semestral (2 veces)	70.000 140.000
4 verificación de sistema de puesta a tierra	Anual (1 vez)	35.000 35.000
5 medición de parámetros y test de rendimiento	Anual (1 vez)	50.000 50.000

6	termografía infrarroja	(1 vez)	85.000 85.000
	Anual		
7	informe técnico y registro de mantenimiento	(4 veces)	20.000 80.000
	Trimestral		
Total, Estimado Anual			690.000 CLP

Observaciones:

Este presupuesto corresponde a una instalación de tamaño mediano (5–10 kWp).

Los valores son estimativos y pueden variar según proveedor y condiciones de acceso.

El presupuesto no contempla reparaciones correctivas o reemplazos mayores de componentes.

22. Conclusión

La incorporación de sistemas fotovoltaicos en la comuna de Florida constituye un avance estratégico hacia la transición energética sostenible. Sin embargo, su eficiencia y vida útil dependen directamente de la implementación de un mantenimiento preventivo sistemático, capaz de reducir pérdidas operativas, optimizar el rendimiento energético y garantizar la continuidad del servicio.

Este estudio permitió establecer que la falta de mantenimiento planificado, especialmente en entornos con alta exposición a factores climáticos, puede disminuir significativamente la eficiencia de los paneles solares. En este sentido, un programa de mantenimiento preventivo —basado en inspecciones periódicas, limpieza de módulos, monitoreo de parámetros eléctricos y verificación de estructuras— resulta fundamental para preservar la integridad del sistema y maximizar el retorno sobre la inversión.

Se concluye que el mantenimiento preventivo debe integrarse desde la etapa de diseño del sistema fotovoltaico como una práctica técnica esencial, no sólo para proteger los activos, sino también para fortalecer el compromiso con una matriz energética limpia, eficiente y sostenible.

23. Bibliografía

Gestión del mantenimiento/Marcelo Quiroz Neira

Centro de Energía Renovables y eficiencia energética Imarcoain (Navarra)

24. Linografía:

<https://www.google.com/> <https://www.repsol.com/es/energia-futuro/futuro-planeta/energia-solar/index.cshtml>