



**TECNOLOGÍAS DISPONIBLES PARA LA LIMPIEZA DE SISTEMAS
FOTOVOLTAICOS**
Modalidad: SEMINARIO

MIGUEL ÁNGEL DIAZ ZÚÑIGA

CC. 1098743831

JUAN GABRIEL MORENO BARAJAS

CC 1102359986

**UNIDADES TECNOLOGICAS DE SANTANDER
CIENCIAS NATURALES E INGENIERIA DE TELECOMUNICACIONES
TECNOLOGIA EN ELECTRICIDAD INDUSTRIAL
SEMINARIO DE FORMACIÓN EN ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA
13 AGOSTO DE 2021**



**TECNOLOGÍAS DISPONIBLES PARA LA LIMPIEZA DE SISTEMAS
FOTOVOLTAICOS**
Modalidad: Seminario

MIGUEL ÁNGEL DIAZ ZÚÑIGA
CC. 1098743831

JUAN GABRIEL MORENO BARAJAS
CC 1102359986

Trabajo para optar título de
Tecnólogo en electricidad industrial

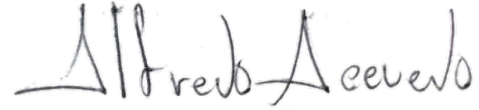
Docente instructor
Ing. Alfredo R. Acevedo P.

Docente director
Ing. Verena Mercado

Grupo de investigación – GIE

**UNIDADES TECNOLOGICAS DE SANTANDER
CIENCIAS NATURALES E INGENIERIA DE TELECOMUNICACIONES
TECNOLOGIA EN ELECTRICIDAD INDUSTRIAL
SEMINARIO DE FORMACIÓN EN ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA
13 DE AGOSTO DE 2021**

Nota de aceptación



Firma del evaluador



Firma del director

DEDICATORIA

A nuestros padres por apoyarnos y a Dios por darnos la sabiduría.

AGRADECIMIENTOS

A nuestros docentes; instructor Ing. Alfredo Acevedo y directora Ing. Verena Mercado, por su orientación y paciencia para desarrollar este documento.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN EJECUTIVO	10
INTRODUCCION	11
1. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN	13
1.1. Planteamiento del Problema	13
1.2. Justificación	15
1.3. Objetivos	17
1.3.1. Objetivo general	17
1.3.2. Objetivos Específicos	17
2. MARCO REFERENCIAL	18
2.1. Marco Conceptual	18
2.1.1. Mantenimiento de un sistema fotovoltaico	18
2.1.2. El mantenimiento predictivo	18
2.1.3. Mantenimiento Periódico	18
2.1.4. Medidas de la energía solar	18
3. ESTADO DEL ARTE	19
4. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	21
4.1. Tipo de investigación	21
4.2. Fases para el desarrollo de objetivos	21
5. DESARROLLO DEL TRABAJO DE GRADO	23
5.1. Requisitos y recomendaciones emitidas por las normas nacionales e internacionales sobre el mantenimiento de sistemas fotovoltaicos acerca de actividades y frecuencia de ejecución	23
5.1.1. Requisitos y recomendaciones emitidas en la Normas ASTM	26
5.1.2. Requisitos y recomendaciones emitidas en la Norma ASTM E 1799 - 96	26
5.1.3. Otras normas que enmarca un programa de mantenimiento de un sistema fotovoltaico.	26
5.2. Análisis de tecnologías disponibles y usadas actualmente para la limpieza de sistemas fotovoltaicos que permiten su identificación de las características, ventajas y desventajas	28
5.2.1. Sistemas de limpieza basado en pértigas y agua, con racionamiento.	30
5.2.2. Sistema de limpieza agua a presión sin racionamiento de agua	32

5.2.3.	Sistema rodillo autopropulsado	35
5.2.4.	Sistemas instalados de limpieza mecanizados-automáticos	37
5.2.5.	Sistema de aire comprimido, sin rozamiento y sin agua	38
5.2.6.	Sistema de Limpieza y Refrigeración	40
5.2.7.	Sistema de limpieza a partir de la humedad del ambiente	40
5.3.	Lineamientos para la limpieza de sistemas fotovoltaicos utilizando tecnologías disponibles en el mercado	43
5.3.1.	Durante la limpieza de los módulos	44
5.3.2.	Limpieza de equipos eléctricos	46
5.3.3.	Vida útil de un equipo eléctrico	47
5.3.4.	Precauciones de las Baterías	47
5.3.5.	Cuidados con el regulador de carga	48
5.3.6.	Elementos y requerimientos para el mantenimiento fotovoltaico	48
5.3.6.1	Limpieza periódica del panel	48
5.3.6.2	Inspección visual de posibles degradaciones (bimensualmente)	49
5.3.7.	Control de la temperatura del panel (trimestralmente)	49
5.3.8.	Control de las características eléctricas del panel (anualmente)	50
5.3.9.	Lineamientos para un procedimiento de inspección visual	51
5.3.10.	Requisitos para un mantenimiento en el módulo	52
5.3.11.	Mantenimiento de un controlador de carga	52
5.3.12.	Mantenimiento del banco de baterías	52
6.	RESULTADOS	53
7.	CONCLUSIONES	57
8.	RECOMENDACIONES	58
9.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	59
10.	APENDICES	¡Error! Marcador no definido.
11.	ANEXOS	¡Error! Marcador no definido.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Tipos de mantenimiento	24
Figura 2. Guía para consolidar un plan de mantenimiento de un sistema fotovoltaico....	24
Figura 3. Pasos para un mantenimiento.....	25
Figura 4. Commercial Module Efficiency	28
Figura 5. Problemas relacionados con los equipos Fotovoltaicos.....	29
Figura 6. Elementos que componen un sistema fotovoltaico.....	30
Figura 7. Limpiezas con pértigas de fibra de carbono	31
Figura 8. Vehículo con grupo motobomba y limpieza presión	32
Figura 9. Plataformas elevadoras para limpieza de sistemas fotovoltaicos	33
Figura 10. componentes básicos de un equipo	33
Figura 11. Rodillo de limpieza autopropulsado.....	35
Figura 12. Fotografía del sistema de autolimpieza.	37
Figura 13. Esquema principio funcionamiento.....	41
Figura 14. Prototipo Propuesto NCPRE	42
Figura 15. Panel solar	45
Figura 16. Limpieza de Paneles	49
Figura 17. Termografía de un panel fotovoltaico.	50
Figura 18. Mantenimientos Factibles para sistemas Fotovoltaicos	51

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Requisitos contemplados en el marco regulatorio y normativo	27
Tabla 2. Ventajas y desventajas sistemas de limpieza con pértigas y agua, con racionamiento	31
Tabla 3. Sistema de limpieza a agua a presión	34
Tabla 4. Ventajas y desventajas del Sistema Rodillo	36
Tabla 5. Ventajas y Desventajas del sistema de autolimpieza	38
Tabla 6. Ventajas y Desventajas Sistema de aire comprimido, sin rozamiento y sin agua	39

RESUMEN EJECUTIVO

El objetivo de este trabajo es evaluar las tecnologías disponibles en el mercado relacionados con la limpieza de sistemas fotovoltaicos para proponer las alternativas adecuadas en función de las normas y tipos de sistemas fotovoltaicos. Es una investigación de tipo descriptiva y exploratoria, desarrollada en tres fases, la primera corresponde a la revisión bibliográfica, la segunda es la definición de requisitos y recomendaciones emitidas por las normas nacionales e internacionales, la tercera es el análisis de las tecnologías disponibles usadas actualmente para determinar sus características, ventajas y desventajas. Los resultados evidencian que, para la limpieza de sistemas fotovoltaicos, se deben tener en cuenta las frecuencias de mantenimiento y las precauciones para realizarlas. Se concluye que los lineamientos para la limpieza de sistemas fotovoltaicos están enfocados a lograr una ejecución eficaz y eficiente del proceso de mantenimiento, lo que permite mitigar efectos degradativos, que genera la lluvia, la contaminación y el polvo en suspensión, que son dinamizadores de la corrosión de algunos componentes del sistema fotovoltaico que impacta en la vida útil en especial de los paneles e inversores.

PALABRAS CLAVE: Tecnologías de limpieza, Mantenimiento, Sistemas Fotovoltaicos, Energía, Desarrollo Sostenible.

INTRODUCCIÓN

Se presenta en este documento el resultado de la revisión bibliográfica, información de la oferta del mercado, leyes y normas técnicas relacionadas con tecnologías disponibles para la limpieza de sistemas fotovoltaicos; dado que esto permite garantizar buenas prácticas de mantenimiento y mejorar la sostenibilidad de herramientas y métodos para el uso de esta fuente de energía, la cual aprovecha la energía solar generando mayores impactos ambientales.

Según Minenergía (2013) un elemento importante de este documento es que se identificó que el proceso de limpieza en el marco de un plan de mantenimiento de un sistema fotovoltaico debe ser ejecutado por profesionales, con competencias conforme a las leyes 51 de 1986 y 842 de 2003, adicional a ello es importante considerar el nivel de riesgo completando los lineamientos, el ministerio de minas y energía realizó un análisis del nivel de riesgos por rayos así como de las medidas de proyección contra rayos, también es importante considerar tanto el análisis de riesgos y origen eléctrico como las medidas de reducción, finalmente realizar el análisis del nivel de tensión necesario y contemplar los factores de pérdidas, el valor de la energía y las cargas resultantes.

Complementando lo anterior, es importante este trabajo de investigación, dado que actualmente ha crecido en forma significativa la demanda de instalación, mantenimiento y uso de sistemas de energía solar, al mismo tiempo que se está fortaleciendo la regulación de este sector y de la operación de los mismos, por ejemplo, la ley 17152 del 2014, motiva la implementación y uso de energía renovables; esta ley también ayuda a la regulación de aspectos de diseño, mantenimiento y operación de plantas menores y zonas no interconectadas como

la propuesta en la resolución 008 de 2012 y la resolución 004 de 2014. En cuanto a la autogeneración a gran escala la comisión reguladora de energía expidió la resolución 024 de 2015, la cual establecen las condiciones para la conexión de auto generadores del sistema interconectado nacional, así como las condiciones para la regulación del acceso al respaldo de la red y entrega de excedentes. (Comisión reguladora de energía y gas, 2017)

Para desarrollar actividades de limpieza en el marco de planes de mantenimiento, se requiere verificar la competencia certificada del personal que lo realizará, adicional, contar con la claridad de los riesgos y el previo estudio de un marco regulatorio, revisar aspectos de normas técnicas relacionados con la limpieza como evitar el uso de detergentes abrasivos con sales minerales para así garantizar siempre el uso de esponjas suaves.

1. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

1.1. Planteamiento del Problema

La problemática relacionada con un ineficaz e ineficiente proceso de mantenimiento de los sistemas fotovoltaicos, se evidencia principalmente en los efectos degradativos, según González (2015) estos efectos son obstrucciones para el normal funcionamiento de los vasos, las conexiones, y en las borneras del sistema fotovoltaico; entre las causas está el agua lluvia, contaminación y polvo en suspensión que pueden generar corrosión en algunos elementos del sistema fotovoltaico, reduciendo la vida útil en especial de los paneles e inversores; otra causa es el inadecuado uso de materiales de limpieza que generan desgaste de las superficies de los elementos del sistema. Finalmente, en el caso de causas humanas relacionadas con el desconocimiento de recomendaciones y buenas prácticas puede generar fallas funcionales al utilizar agua con bajo contenido de cal, limpiadores de baja presión, agua no destilada; así como, la inadecuada relación de la temperatura entre el agua utilizada para el mantenimiento del módulo y la temperatura del mismo módulo sumado a una baja eficacia en la verificación visual que puede reducir la vida útil de los elementos del sistema, así como aumentar la probabilidad de la materialización de peligros de seguridad y salud ocupacional (Peña, 2018).

Este procedimiento de la limpieza ha sido investigado por Jacob et al. (2016) los cuales aseguran que los paneles que son limpiados con frecuencia producen un 4,16% más energía que aquellos que no cuentan con un proceso de limpieza. Sin embargo, se ha registrado que esta diferencia de energía se puede incrementar hasta alcanzar valores del 15%. Jacob et.,al (2016) indica que este procedimiento se

puede desarrollar en forma artesanal (manual), mecanizada o automatizada y sin importar que tecnología y método se utilice, se requiere de un procedimiento diseñado a partir de lineamientos legales, normas técnicas y buenas prácticas; estas tecnologías y métodos de limpieza evitan que el polvo o cualquier agente que tiene el módulo solar limite la exposición a la radiación, en el mercado se tiene la posibilidad de hallar unidades fotovoltaicas de diferentes tecnologías, se catalogan en generaciones de primera, segunda y tercera; la primera generación es el silicio cristalino insustituible; de segunda generación está integrada con tecnologías de capa fina, la tercera generación por su parte tiene relación con la energía fotovoltaica de concentración, elementos orgánicos, y otras características que todavía no fueron distribuidas a gran escala (García O. , 2016).

Otro elemento importante en la limpieza en el marco de un plan de mantenimiento de sistemas fotovoltaicos son las normas de certificación y garantía; al respecto, la certificación de equipos a utilizar en los sistemas solares es un punto esencial, a fin de que puedan instalarse materiales que cumplan con los siguientes requerimientos: “calidad del servicio, eficiencia, confiabilidad, continuidad y seguridad física de las instalaciones” (Ortiz, 2020, pág. 3)

Para identificar las tecnologías para el mantenimiento de un sistema fotovoltaico, es necesario tener en cuenta no solo aspectos requeridos en el uso, método, tecnologías y competencias del personal, sino también comprender el contexto general que implica el mantenimiento de los sistemas fotovoltaicos, su vida útil y los aspectos ambientales y económicos que implica el uso de estos sistemas.

Este proyecto se enfocó en hacer aportes a los sistemas fotovoltaicos que requieren una limpieza y un mantenimiento frecuente para asegurar el óptimo funcionamiento y su debida sostenibilidad.

Dado todo lo expuesto en este contexto de la descripción de la problemática, para las UTS es de interés conocer tecnologías modernas aplicadas al mantenimiento de los sistemas de generación fotovoltaicos.

Por lo anteriormente expuesto se formula la pregunta de investigación: ¿Cuáles tecnologías para el mantenimiento de sistemas fotovoltaicos presentan mejores resultados con menor impacto económico y ambiental?

1.2. Justificación

La energía derivada por el sol es según Salamanca (2017) una fuente que genera de origen renovable, la cual se logra directamente a partir de la radiación solar mediante un dispositivo semiconductor llamado células fotovoltaicas, o por medio de una disposición de metales sobre un sustrato, es decir, una célula solar de película fina; la vía a la energía eléctrica es un componente fundamental en el desarrollo de la raza humana, en la actualidad, la producción de energía eléctrica es dependiente en gran medida de los recursos fósiles accesibles y la probabilidad de ingreso a esta red de energía, a lo largo de algunas décadas ha estado sujeta estrictamente de la función de uso de estos combustibles para la producción de energía, lo cual ha creado gran afectación al medio ambiente ya que emiten dióxido de carbono en el aire.

El territorio de Colombia tiene aproximadamente una radiación solar de 4.5 kWh/m², siendo la Guajira 6.0 kWh m² el sector del territorio donde la emisión es la más

grande, el territorio tiene un óptimo potencial generalmente para la utilización de energía solar, el área andina posee un nivel de 1.643 kWh/m² anualmente, debido a esto la utilización de la energía solar fotovoltaica podría ser generalizada para la utilización tanto en la esfera urbana como comercial, comúnmente esta tecnología es utilizada en sistemas aislados a la red eléctrica, sin embargo, actualmente hay varios problemas mayormente por desinformación y falta de conocimiento. (Barrera & Castilla, 2018)

Por tal razón Barrera y Castilla (2018) ven conveniente la necesidad de llevar a cabo sistemas de energías alternativas debido a que la población está en incremento constante y con una grande solicitud de energía a nivel nacional como mundial, los requerimientos energéticos tienen la posibilidad de ser de dos maneras ya sea convencionales y no convencionales en regiones de difícil ingreso, las cuales no están interconectadas y se encuentran apartadas de la ciudad, cabe decir, que la manera convencional fue afectada y reducida además de ser bastante elevada respecto al costo, distinto a la energía solar que ofrece un beneficio de manera más económica y muchísimo más partidario con el entorno ambiental.

En términos de economía Rovira (2012) se justifica este plan a partir de una perspectiva económica dado el horizonte global energético y medioambiental que está en constante cambio, en la actualidad se está presentando una predisposición que va en incremento a inconvenientes como el calentamiento global y la insuficiencia de recursos de energía fósil, esto genera un vacío que conlleva a la necesidad de hacer cambios en la sociedad y hacerla más sustentable en base a energías renovables sensibilizando sobre las perturbaciones de la actividad humana y su incidencia en el ambiente generando conciencia sobre los impactos derivados de la actividad humana sobre la atmosfera.

Una justificación desde la visión académica, es que este trabajo pretende generar un documento que sirva de material de consulta para que los miembros de la comunidad profundicen en el tema y orienten futuras investigaciones al respecto de los inconvenientes de determinación que puedan presentarse durante el análisis y examen del sistemas fotovoltaicos, para así facilitar su promoción en las comunidades acerca del uso de sistemas diseñados para emplear fuentes renovables como la energía proveniente del sol.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Evaluar las tecnologías disponibles en el mercado relacionados con la limpieza de sistemas fotovoltaicos para proponer las alternativas adecuadas en función de las normas y tipos de sistemas fotovoltaicos

1.3.2. Objetivos Específicos

- Definir los requisitos y recomendaciones emitidas por las normas nacionales e internacionales sobre el mantenimiento de sistemas fotovoltaicos con el fin de describir las actividades y frecuencia de ejecución.
- Analizar las tecnologías disponibles y usadas actualmente para la limpieza de sistemas fotovoltaicos para determinar sus características, ventajas y desventajas.
- Determinar los lineamientos para la limpieza de sistemas fotovoltaicos utilizando tecnologías disponibles en el mercado teniendo en cuenta las tecnologías.

2. MARCO REFERENCIAL

2.1. Marco Conceptual

2.1.1. Mantenimiento de un sistema fotovoltaico

El proceso de mantenimiento de las operaciones que ofrece una persona para brindar una medida que sustente la existencia de un servicio de calidad, cualquiera que sea la tarea que se realice dentro de un sistema, subsistema, dispositivo o maquinaria para lograr su tiempo de vida útil o retorne a prestar una actividad en el sistema. Se puede dividir en 2 tipologías de servicio de mantenimiento, por un lado, el mantenimiento correctivo y por otro lado el preventivo (Laguna, 2018).

2.1.2. El mantenimiento predictivo

Para el mantenimiento predictivo es necesario realizar ensayos no destructivos, como medida de vibraciones, medición de temperaturas, termografías, intensidades, tensiones (Sanchez, 2017).

2.1.3. Mantenimiento Periódico

El mantenimiento preventivo se realiza cada lapso previamente definido y debe hacerse bajo procedimientos aprobados con el propósito de ejercer las labores para finalmente realizar cambio de piezas si es necesario (Laguna, 2018).

2.1.4. Medidas de la energía solar

1 caloría es el calor que se requiere para incrementar la calidez del agua de 1 mol de agua a 1°C (UTS, 2016): 1 BTU es el nivel de temperatura que se requiere para subir la calidez de 1 Lb de agua a 1°F, es la energía requerida para subir una libra a un trayecto de un pie y 1 kilowatt-hora es la energía que se necesita por un kilowatt laborando alrededor de una hora.

3. ESTADO DEL ARTE

En la publicación denominada limpieza y mantenimiento Zapata (2019) manifiestan que es una tarea con mayor importancia de lo que pueda parecer, dado que los paneles al estar expuestos a la intemperie y al pasar el tiempo, se deterioran debido al polvo en suspensión que existe en el ambiente. Al igual que excrementos de aves, el polen de las flores, hojas de árboles, etc. El resultado fue concluir que en situaciones de suciedad acumulada se pueden producir pérdidas de hasta 50% sobre la producción óptima y que se debe planificar el mantenimiento soportado en una limpieza efectiva.

El proyecto denominado “lineamientos para una correcta limpieza de un sistema fotovoltaico” escrito por Gonzalez y Nikolova (2015) se desarrolló un objetivo de consolidar aspectos claves para desarrollar la limpieza en él se concluyó que se debe hacer cada 3 meses, sin embargo, resaltan que se debe realizar cada que un objeto extraño este encima de los paneles y se concluyeron algunos lineamientos importantes enfocados en el debido cuidado a cableados rasgados, adicional a ello, la oxidación de los terminales o de la distribución debe ser limpiada con materiales adecuados.

El proyecto presentado por Cárdenas y Jaimes (2019) demonimado “Factibilidad para la creación de una empresa prestadora de servicio de implementación de energías Fotovoltaicas”, en el cual se tiene como objetivo principal el Estudio de la factibilidad para la creación de una empresa prestadora de servicios de implementación de energías fotovoltaicas para el casco urbano del sector residencial en los estratos cuatro y cinco en el municipio de Cúcuta el cual le apunto en su alcance en la factibilidad para la creación de una empresa prestadora de

servicio de implementación de energías fotovoltaicas para los estratos 4 – 5 en el casco urbano de la ciudad de Cúcuta de Norte de Santander.

En la publicación hecha por Melendez.,et., al (2017) en su artículo “Aspectos técnicos y regulatorios para la implementación de generación eléctrica fotovoltaica a nivel residencial en Colombia” el cual plantea que los paneles solares son elementos de fácil mantenimiento, considerando que no tiene partes móviles a excepción que se cuente con un sistema de seguidor solar; se resaltaron las ventajas de implementar un sistema fotovoltaico interactivo para alimentar cargas residenciales, entre la más importante se destaca que este tipo de sistema cuenta con respaldo de la red, lo que permite prescindir del uso de baterías y de esta forma reducir la inversión inicial y finalmente en el momento de implementar un sistema fotovoltaico usando topologías y tecnología actual siguiendo los lineamientos de la NTC-2050, se encontrará un vacío de carácter técnico, por lo tanto es imprescindible actualizar esta norma.

4. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

Se desarrolló una investigación de tipo descriptiva y exploratoria, basada en tres fases, la primera corresponde a la revisión bibliográfica, la segunda es la definición de requisitos y recomendaciones emitidas por las normas nacionales e internacionales, la tercera es un análisis de las tecnologías disponibles usadas actualmente para determinar sus características, ventajas y desventajas. Se realizó una búsqueda de información con fuentes secundarias para luego consolidar una consulta de las normas internacionales y el marco regulatorio que marcara un plan de mantenimiento de una instalación fotovoltaica.

4.1. Tipo de investigación

La delineación de los instrumentales de recolección de información de una investigación de tipo descriptiva.

4.2. Fases para el desarrollo de objetivos

La fase uno se basó en una revisión Bibliográfica, para ello se revisan documentos de estudios anteriores tomando fuentes confiables desde una visión académica como el buscador scopus, Dialnet, Google académico entre otros, se filtra la información tomando referencias y aplicando las respectivas citas bibliográficas bajo normas APA séptima edición. Luego, la segunda fase consistió en la definición de requisitos y recomendaciones emitidas por las normas nacionales e internacionales sobre el mantenimiento de sistemas fotovoltaicos, al respecto se identificarán los lineamientos de entidades como Agencia de Energía a nivel Internacional , GREG, RETIE, el consejo mundial de energía entre otras, para consolidar lo relevante al

respecto y priorizar los lineamientos y recomendaciones en temas del mantenimiento y su respectiva tecnología que está disponible actualmente.

Una tercera fase se desarrolló iniciando con una definición de requisitos y recomendaciones emitidas por las normas nacionales e internacionales sobre el mantenimiento de sistemas fotovoltaicos, al respecto se identificarán los lineamientos de entidades como la Agencia de Energía a nivel Internacional, la GREG y el RETIE entidades a nivel Nacional, el consejo mundial de energía entre otras, para consolidar lo relevante al respecto y priorizar los lineamientos y recomendaciones en temas del mantenimiento y su respectiva tecnología que está disponible actualmente; todo lo anterior permitió desarrollar la tercera fase la cual se realizó por medio de un análisis de las tecnologías disponibles y usadas actualmente para la limpieza de sistemas fotovoltaicos para así determinar sus características, ventajas y desventajas, se indagará con búsqueda web en la web, portafolios de servicios de empresas, fichas técnicas de tecnologías para limpieza de sistemas fotovoltaicos, para hacer un listado que permita conocer en forma sistémica la oferta actual.

La cuarta fase consistió en plantear unos lineamientos para la limpieza de sistemas fotovoltaicos utilizando tecnologías disponibles en el mercado teniendo en cuenta las tecnologías, se presentarán diagramas, listas de chequeo e informas que sean guía.

5. DESARROLLO DEL TRABAJO DE GRADO

Se expone a continuación el desarrollo de los 3 objetivos específicos de este documento, el primero de ellos fue definir los requisitos y recomendaciones emitidas por las normas nacionales e internacionales sobre el mantenimiento de sistemas fotovoltaicos que facilitó la descripción de las actividades y frecuencia de ejecución; el segundo, consistió en analizar las tecnologías disponibles y usadas actualmente para la limpieza de los sistemas lo que permitió la identificación de sus características, ventajas y desventajas; el tercero consistió en determinar los lineamientos para la limpieza con las herramientas tecnológicas disponibles en el mercado.

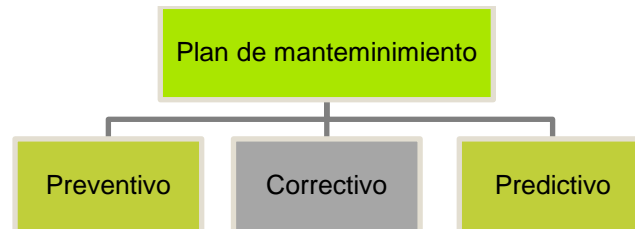
5.1. Requisitos y recomendaciones emitidas por las normas nacionales e internacionales sobre el mantenimiento de sistemas fotovoltaicos acerca de actividades y frecuencia de ejecución

Revisada la bibliografía y según García (2019) se pudo evidenciar que el plan de mantenimiento anual de sistemas fotovoltaicos incluye como una de las principales actividades la limpieza de los 4 elementos del sistema y contempla una lista de inspecciones que deben realizarse de manera periódica.

Según Palencia (2016) el mantenimiento preventivo incluye inspecciones periódicas visuales y físicas, así como actividades de verificación necesarias para cumplir con los manuales de operación contemplando dentro de ello los peligros de seguridad y salud.

En la figura 1 se muestran los tipos de mantenimiento que utilizan para la inspección de los sistemas fotovoltaicos.

Figura 1.
Tipos de mantenimiento



Nota. Adaptado de Ministerio Federal de Protección de medio Ambiente (2016)

Se expone a continuación un resumen de los pasos que se encuentran en la guía para consolidar un plan de mantenimiento de un sistema fotovoltaico.

Figura 2.

Guía para consolidar un plan de mantenimiento de un sistema fotovoltaico



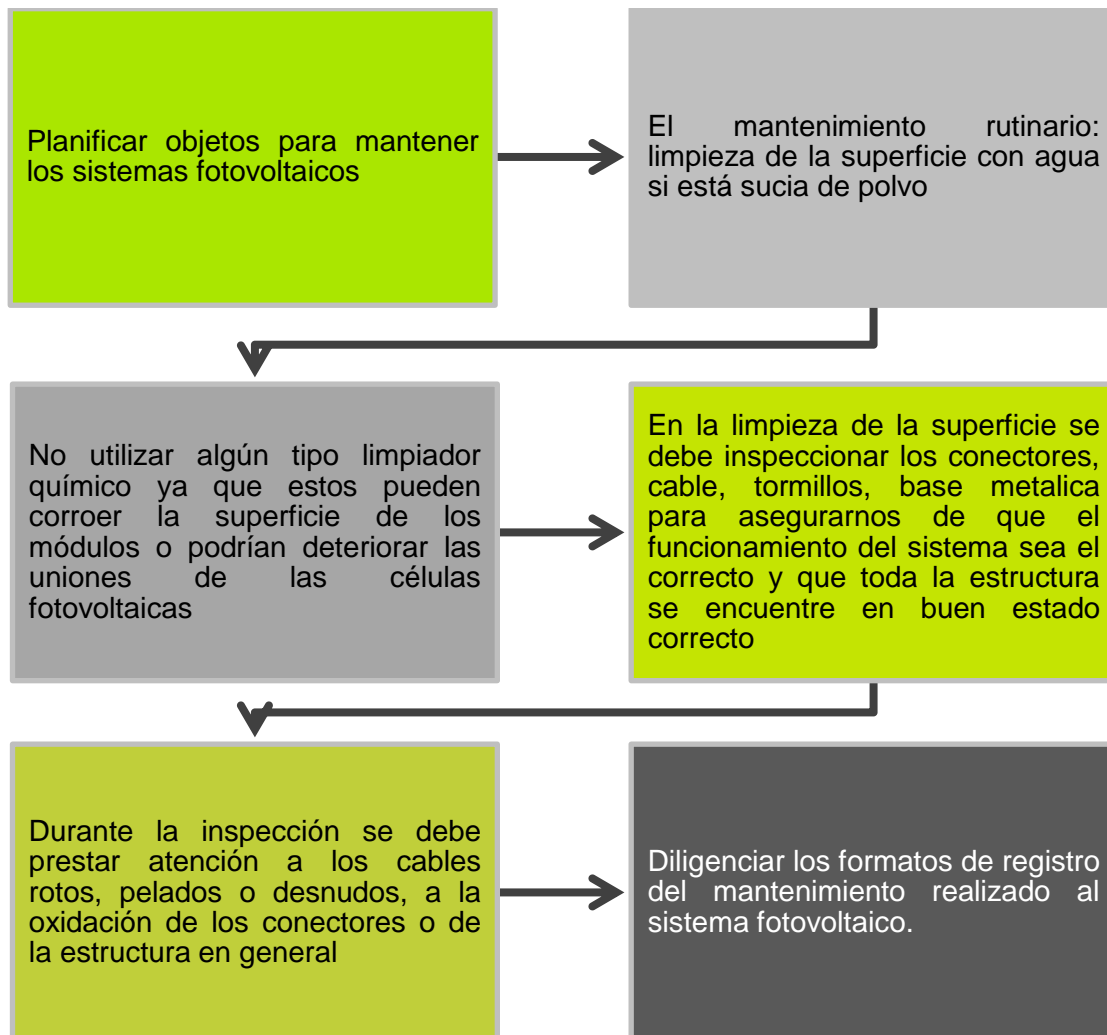
Nota. Adaptado de Mateo. (2016)

Dado que el mantenimiento tiene un soporte técnico, administrativo y efectos en aspectos económicos, ambientales y de gestión de riesgos, en la figura 3 se

muestran los pasos a realizar según las normas nacionales e internacionales para el mantenimiento de sistemas fotovoltaicos.

Figura 3.

Pasos para un mantenimiento



Nota. En la figura anterior se muestran los pasos para realizar un correcto mantenimiento de los sistemas fotovoltaicos como por ejemplo; planificar el mantenimiento de módulos, no usar limpiadores entre otro. *Adaptado de Ministerio Federal de Protección de Medio ambiente. (2016)*

5.1.1. Requisitos y recomendaciones emitidas en la Normas ASTM

- Realizar una adecuada verificación que no haya proyección de sombras sobre el modelo para luego hacer la limpieza del módulo y examinar conectores y terminales en búsqueda de fallas, golpes y si es necesario realizar reemplazos.
- Revisar el eje de orientación y de ser necesario redireccionar la corriente de fuga según la norma ASTM e-1462-95, la continuidad a tierra de conformidad con la normal ASTM e. 1462-95 y finalmente estimar el nivel de voltaje de salida del módulo conforme a las descripciones realizadas por el fabricante.
- Inspeccionar si las tuercas y tornillos están correctamente apretadas al arreglo y si se encuentran tornillos flojos darles solución, buscar soldadoras agrietadas y anclaje firme.

5.1.2. Requisitos y recomendaciones emitidas en la Norma ASTM E 1799 - 96

Lineamientos para un adecuado examen ocular de los sistemas fotovoltaicos, los cuales tienen la posibilidad de efectuarse previa y posteriormente a las pruebas de estrés ambiental como la prueba E 1038, E1171 o E 1596; esta regla ASTM E 1799-96 observa los métodos y elementos requeridos para las inspecciones oculares de las unidades fotovoltaicas.

5.1.3. Otras normas que enmarca un programa de mantenimiento de un sistema fotovoltaico.

En la tabla 1 se puede evidenciar el listado de normas, decretos, leyes o resoluciones con sus respectivos objetivos y la aplicabilidad que enmarcan un plan de mantenimiento de un sistema fotovoltaico. Se contemplan la norma ASTM

E1799-96 y E1462-95, decretos como el Decreto 2469 de 2014, leyes como 1715 de 2014 y resoluciones como la del Ministerio de Ambiente 2000 de 2017.

Tabla 1.

Requisitos contemplados en el marco regulatorio y normativo

Nombre	Objeto	Aplicabilidad
ASTM E1799-96 y E1462-95.	Procedimiento de examen, calculo e inspección de puntos clave en el sistema fotovoltaico (Muñoz, 2013)	Facilita la tarea de mantenimiento preventivo, por medio de operaciones de reconocimiento, control y vigilancia del sistema fotovoltaico.
ASTM E1038, E1171 o E1596.	Procedimiento de inspecciones visuales de los módulos fotovoltaicos (Muñoz, 2013).	Inspecciones oculares pre y posterior a los sometimientos de estrés ambiental
Decreto 2469 de 2014	Política energética	Lineamientos de política energética en materia de entregas.
Decreto 2143 de 2015	Reglamentación del Sector Administrativo de Minas y Energía.	Regulación complementaria del Sector Administrativo de Minas y Energía.
Decreto 1543 de 2017 (República de Colombia, 2017)	Energías No Convencionales.	Reglamento que regula el Fondo de Energías No Convencionales y Gestión Eficiente Energética.
Ley 1715 de 2014 (Congreso de la República de Colombia, 2014)	Integración de las energías renovables no convencionales al sistema energético nacional	La ley 1715 de 2014 se creó con el fin de reglamentar la integración de las energías renovables no convencionales.
Decreto 2492 de 2014 (Congreso de la Republica de Colombia, 2014)	Implementación de mecanismos de respuesta de la demanda de energía renovable.	Disposiciones en materia de mecanismos de respuesta a la demanda.
Resolución Ministerio de Ambiente 2000 de 2017 (Congreso de la república de Colombia, 2014)	Exclusión de IVA	Procedimiento ante ANLA para exclusión de IVA








Nota. La tabla describe los requisitos contemplados en el marco regulatorio y normativo.

Elaboración propia. 2021

5.2. Análisis de tecnologías disponibles y usadas actualmente para la limpieza de sistemas fotovoltaicos que permiten su identificación de las características, ventajas y desventajas

Normalmente pueden encontrarse modelos de diferentes tecnologías: la de primera generación compuesta por silicio cristalino básico, la de segunda generación comprende tecnologías de capa fina y la de tercera generación tiene relación con la energía fotovoltaica de concentración con elementos orgánicos (Ver figura 4)

Figura 4.
Commercial Module Efficiency

Commercial Module Efficiency							
Tecnología	Capa fina o "Thin Film"					Silicio cristalino	
	(a-Si) 	(CdTe) 	Cl(G)S 	a-Si/μc-Si 	Dye s. cells 	Mono 	Multi 
Rendimiento de célula	4-8%	10-11%	7-11%	7-9%	2-4% (LAB)	13-19%	11-15%
Rendimiento del módulo							
Área necesaria/kW (para módulos)	~15m ²	~9 m ²	~10 m ²	~12 m ²		~7 m ²	~8 m ²

Nota. En la figura se muestran los tipos de tecnologías disponibles que actualmente son usadas para la limpieza y mantenimiento de sistemas fotovoltaicos. *Obtenido de Energía Solar Fotovoltaica, Colegio Oficial de Ingenieros y Telecomunicaciones. (2017)*

Para dar mayor claridad, se muestra la figura 5, algunos problemas relacionados con los equipos fotovoltaicos, que pueden prevenirse con un buen plan de mantenimiento.

Figura 5.

Problemas relacionados con los equipos Fotovoltaicos

Problemas relacionados con los fotovoltaicos		
Módulos fotovoltaicos	Cables CC y conectores	Inversores fotovoltaicos
Estandarización IEC (IEC 61215, IEC 61646, IEC 62108 & IEC 61730)	Estandarización mejorada	Estandarización IEC (IEC 62109)
Vida útil garantizada por los fabricantes de módulos fotovoltaicos (90% después de 10 años y el 80% después de 25 años)	Aumento, en la variedad de conectores	
	Vida útil de los cables mejorada, actual mente 45 años.	
	Disponibilidad en el mercado de protecciones para cables.	
	Monitorización de aislamiento por los inversores	
	Interruptores (CA o CC)	

Problemas relacionados con la planificación, diseño e instalación

No hay juntas de dilatación: disponibilidad de nuevas estructuras de montaje y juntas flexibles.

Metales incompatibles.

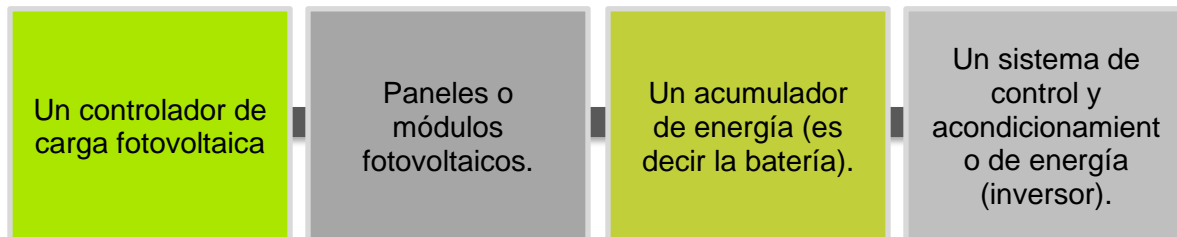
Dimensionamiento incorrecto del inversor FV / cables: disponibilidad de nuevas herramientas de simulación y diseño.

Nota. La figura muestra anterior muestra los principales problemas relacionados con los equipos fotovoltaicos. *Obtenido de Energía Solar Fotovoltaica, Colegio Oficial de Ingenieros y Telecomunicaciones, García. (2017)*

Otro elemento importante en el mantenimiento son las normas de certificación, la cual exige que se cumpla con: *“calidad del servicio, eficiencia, confiabilidad, continuidad, seguridad física de las instalaciones”* (Ortiz, 2020).

Figura 6.

Elementos que componen un sistema fotovoltaico



Nota. La figura 6, muestra los 4 elementos que componen un sistema fotovoltaico. adaptado de *Energía Solar Fotovoltaica, Colegio Oficial de Ingenieros y Telecomunicaciones García* (2017).

5.2.1. Sistemas de limpieza basado en pértigas y agua, con racionamiento.

Es un sistema frecuentemente utilizado y se basa en la limpieza mecánica con pértigas especiales para vidrio empleando como apoyo un sistema de equipos de bombeo de agua y mangueras habitualmente ensamblado dentro de un vehículo para desplazarlos, que trata el agua mediante sistemas de filtros de partículas y un descalcificador cuyo propósito es el de evitar la aglomeración de cal que habitualmente tiene el agua.

La función de verter el agua se realiza mediante pértigas de fibra de carbono y poliéster de densidad y grosor adecuados, utilizados para realizar la limpieza de vidrio y especialmente diseñadas para evitar la ralladura, aunque usualmente hay que tener en cuenta algunos fabricantes de módulos ya que en sus especificaciones no se permite la limpieza a presión.

Figura 7.

Limpiezas con pértigas de fibra de carbono



Nota. La figura 7 muestra el operario que hace la limpieza de las celdas, con su respectivo tapabocas, el cual sacude las impurezas con un soplador de aire, adicional a ello, esto requiere que se desconecte antes el circuito de paneles solares para posteriormente enjuagar la superficie de los módulos solares. *Energías Renovables.* (2019)

Tabla 2.

Ventajas y desventajas sistemas de limpieza con pértigas y agua, con racionamiento

VENTAJAS	DESVENTAJAS
La exigencia del entrenamiento para su uso por parte del personal es poco.	Alto consumo de agua.
Los costos de inversión son relativamente bajos	Los tiempos de recarga de agua y desplazamiento de equipo, afecta la productividad.
Es idóneo en plazas pequeñas y se puede contar al igual que emplear a gentes del lugar para especializarlos en estas tareas.	Es operado por mínimo dos personas.

Nota. En la tabla 2, se pueden evidenciar las ventajas y desventajas del sistema de limpieza con pértigas y agua con método que garantiza el racionamiento.

5.2.2. Sistema de limpieza agua a presión sin razonamiento de agua

Este sistema de limpieza se realiza mediante un vehículo dotado de agua de menos de 2000 L y una motobomba. Como se muestra en la figura número 8, la cual ilustra un vehículo que tiene adecuada la pistola a presión manejada por un operario mientras otro conduce.

Figura 8.

Vehículo con grupo motobomba y limpieza presión

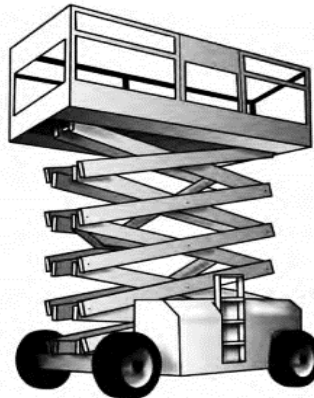


Nota. En la figura No 8 se puede apreciar uno de los instrumentos que se usa para la limpieza de los paneles el cual se trata de un carro con motobomba que usa limpieza a presión, *Obtenido de Energías Renovables. (2019)*

Este mecanismo de limpieza se encuentra en dos versiones: primero para instalaciones fijas en el cual se cuenta con un operario que se encarga del manejo de la pistola a presión y el segundo que se encarga de manejar las instalaciones con estructuras de seguimiento grandes, existen otras versiones como se evidencia en la figura 9. La cual ilustra una plataforma elevadora para la limpieza del sistema fotovoltaico.

Figura 9.

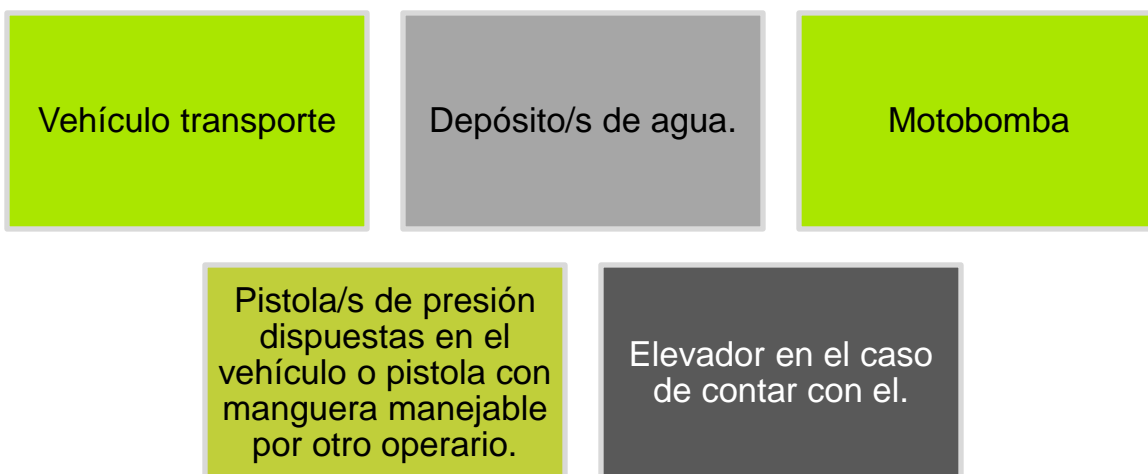
Plataformas elevadoras para limpieza de sistemas fotovoltaicos



Nota. La figura No 9 muestra un vehículo el cual es utilizado para la limpieza de sistemas fotovoltaicos el cual tiene una plataforma para que el operario realice la limpieza en alturas. *Obtenido de (Energías renovables, 2019)*

Figura 10.

componentes básicos de un equipo



Nota. Los componentes básicos del equipo se muestran en la figura 10 que contempla un vehículo de transporte, el respectivo dispositivo de agua, la motobomba, la pistola de presión y el elevador.

Tabla 3.

Sistema de limpieza a agua a presión

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Se puede realizar el mantenimiento a las instalaciones con estructuras de grandes dimensiones	El consumo de agua superior que en otros sistemas de limpieza.
Es adecuado para lugares pequeños, si se homologa para la circulación por vías de transporte	Son necesarios mínimo 2 operarios.
De igual manera se busca el aprovechamiento del tiempo y enseñarles algunas labores de mantenimiento y limpieza para dar cumplimiento a los estándares de calidad.	Se necesita estar certificada tanto práctica como teóricamente
Se puede realizar la reducción del consumo de agua si se les dan adecuada capacitación a los operarios para que utilicen bien el sistema.	Existe una probabilidad de daño o avería en los equipos.
Se gana tiempo en: Recarga de agua y desplazamiento de equipo.	Consumo de combustible.
	Posibilidad de dificultades de acceso y maniobrabilidad en determinadas instalaciones.

Nota. En la tabla 3 se exponen las ventajas y desventajas de un sistema de limpieza de agua a presión, al respecto se refleja la utilidad para aplicarla en instalaciones de estructuras de grandes dimensiones y hace también claridad acerca de la eficiencia en el uso del combustible.

5.2.3. Sistema rodillo autopropulsado

Consiste en un vehículo autopropulsado con un rodillo de limpieza y cerdas suaves para no causar daño en el área de la unidad.

Figura 11.

Rodillo de limpieza autopropulsado



Nota. Como se refleja en la figura 11, la persona que opera se sitúa en una zona con una vista óptima de la instalación y la limpieza se realizará con agua descalcificada que evita que los residuos de cal acorten la vida del sistema, *Obtenido de Montero (2011)*

En algunos casos este tipo de limpieza sigue un protocolo más específico que se detalla a continuación: Pre limpieza con pulverización de mezcla de agua y producto detergente ecológico especial para módulos fotovoltaicos, limpieza con rodillo giratorio y aclarado con agua y/o producto aclarante con lámina protectora pulverizada.

Para poder realizar este tipo de limpieza es necesario que los pasillos entre hileras de las instalaciones sean de menos de 3 m para poder proceder a la limpieza.

Elementos básicos de un equipo de esas características son: vehículo transporte,

depósito de agua, motobomba, el cuadro de control automático en el caso de contar con él en su defecto se encontrará con medidas de protección del módulo, brazo manejable, cabeza de rodillo compuesto de: rodillo, secador e hilera de pulverizadores.

Tabla 4.

Ventajas y desventajas del Sistema Rodillo

VENTAJAS	DESVENTAJAS
El valor de la inversión es alto.	Se recomienda emplear agua descalcificada para prevenir problemas de averías en pulverizadores.
La facilidad de realizar la limpieza en instalaciones con estructuras de seguimiento de grandes dimensiones.	Es necesario que los operarios o las personas que van a estar a cargo del sistema tengan conocimientos y experiencia en el tema.
Se puede pedir permiso para poder realizar la circulación por vía de transporte.	El aumento en la probabilidad de daños en los equipos.
la capacitación que se le da a los operarios es sumamente sencilla y pueden ser utilizadas de manera rápida.	Excesivo uso de combustible.
El ahorro de agua es considerable	Posibilidad de dificultades de acceso y maniobrabilidad en determinadas instalaciones.
se ahorra tiempo en recarga de agua y desplazamiento del equipo.	Necesidad de incluir mecanismo de control automático de protección de los módulos.
Se necesita un solo operario o persona que se haga cargo del mantenimiento.	

Nota. En la tabla se observa el sistema de rodillo.

5.2.4. Sistemas instalados de limpieza mecanizados-automáticos

Son caracterizados por estar instalados en su misma estructura de sujeción de módulos, atendiendo a los criterios de este análisis existen algunas variedades: con la reducción del consumo de agua, el sistema consta de un cepillo rodillo elaborado en nylon de 6.6 mm, la longitud máxima que va recorriendo los paneles es de 10 m y está fijado a la estructura en su máximo recorrido en longitud de 100 m aunque podría adaptarse a mayores distancias como se puede observar en la figura número 12.

Figura 12.

Fotografía del sistema de autolimpieza.



Nota. La figura No 12 se expone un sistema que cuenta con unos rieles para que el rodillo pueda desplazarse, inicialmente este sistema no funciona con agua, aunque en ocasiones cuando llueve suele accionarse.

Este sistema se acomoda a sistemas fijos y con seguimiento, también dispone de sensor de precipitaciones eléctrico graduable y un sistema ajustable a cada necesidad de aseo, sus primordiales propiedades son: rapidez de rotación del cepillo 140 rpm y rapidez de desarrollo del cepillo. También se pueden montar

sistemas similares con agua.

Sin racionamiento de agua: Este sistema es similar, también están instalados en la propia estructura de módulos y necesita unos rieles para desplazarse. Por estos rieles se desplaza longitudinalmente una cabeza que cuenta con una serie de pulverizadores por donde sale agua a presión.

Tabla 5.

Ventajas y Desventajas del sistema de autolimpieza.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Válido para instalaciones inaccesible como las cubiertas.	Posibilidad de averías de los equipos.
No es necesario vehículo y se ahorra el transporte.	Equipo caro.
No es necesario personal para realizar las limpiezas.	En un parque de grandes dimensiones con muchas estructuras de seguimiento, se requiere la instalación de muchos equipos. Elevado coste.
Se optimizar el agua consumida.	Adaptación de las estructuras de los módulos.
Se gana tiempo en: Recarga de agua y desplazamiento de equipo.	Necesidad de disponer de agua disponible en el parque en el caso de emplear el método CON AGUA.
	Consumo eléctrico de los dispositivos.

Nota. La tabla describe las Ventajas y Desventajas del sistema de autolimpieza.

5.2.5. Sistema de aire comprimido, sin rozamiento y sin agua

Este sistema de limpieza se basa en una pistola de aire comprimido que mediante una manguera se une a un compresor, la presión del aire es tal que consigue quitar

parte de la suciedad y no daña el vidrio. Esta presión está entre los 3 y 5 bares de presión, este sistema no necesita el uso de agua ni aditivos adicionales y a su vez puede ser de dos tipos:

Manual: En este sistema los operarios recorren a la instalación a pie con un equipo de aire comprimido. El compresor puede estar en el suelo y el operario puede ir despejándolo con un carrito o lo puede llevar en la espalda.

Mecanizado: En este caso el sistema consta de un vehículo que se desplaza por la instalación de tal manera que las pistolas de aire comprimido actúan sobre los módulos.

Tabla 6.

Ventajas y Desventajas Sistema de aire comprimido, sin rozamiento y sin agua

VENTAJAS	DESVENTAJAS
No es necesario vehículo en el caso del sistema MANUAL.	Dificultad para grandes estructuras de seguimiento. Esta dificultad es menor si se utiliza la opción del sistema mecanizado
Se necesita poca formación y experiencia para los equipos de operarios.	Consumo eléctrico de los dispositivos.
No se consume agua	No tan efectivo como en los casos que utilizan agua o rozamiento.
Se gana tiempo en: Recarga de agua y desplazamiento de equipo.	Depende de la eficacia del operario.
Es adecuado para parques pequeños dispersos. Se puede contar y	
Se necesita pocos operarios (1 en todos los casos).	

El manual puede ser un buen sistema en las instalaciones sobre cubierta de difícil acceso.

Puede ser adecuado para parques pequeños dispersos. En el caso sistema mecanizado se debe homologar para la circulación por vías de transporte. Esto encarece la inversión.

Nota. En la tabla número 6 se pueden observar las ventajas y desventajas de este sistema de limpieza utilizando la comprensión del aire de modo que explique claramente si es un sistema viable o no según lo que se adapte a las necesidades.

5.2.6. Sistema de Limpieza y Refrigeración

Este sistema de limpieza tiene una función de refrigeración de los módulos fotovoltaicos para aumentar su rendimiento, su funcionamiento es el siguiente:

Limpieza de la suciedad, control de la temperatura y refrigeración de placas solares, mediante dos procesos diferentes: Refrigeración basada en Agua la cual consiste en un procedimiento de enfriamiento y autolavado con base en agua, recobrar y reutilizar la mayoría de agua que ha sido utilizada, comprimir la temperatura de placas solares y finalmente obtener la aplicabilidad para construcciones estáticas.

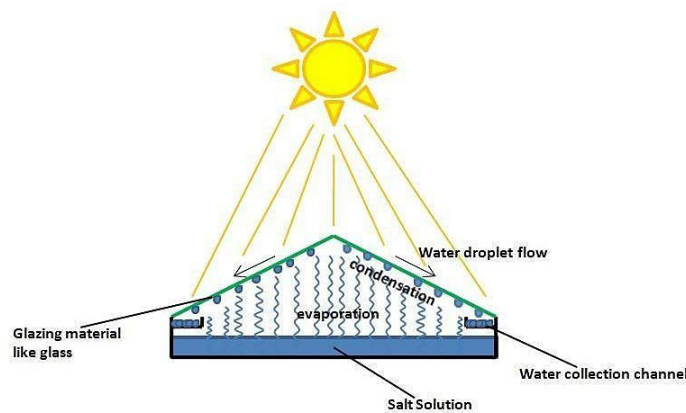
5.2.7. Sistema de limpieza a partir de la humedad del ambiente

El sistema de limpieza se basa en la humedad ambiental y la absorción de la

misma utilizando sustancias que poseen propiedades absorbentes, el sistema absorbe la humedad del ambiente, que luego se filtra para ser utilizados en la limpieza del módulo tal como se muestra en la figura No 13.

Figura 13.

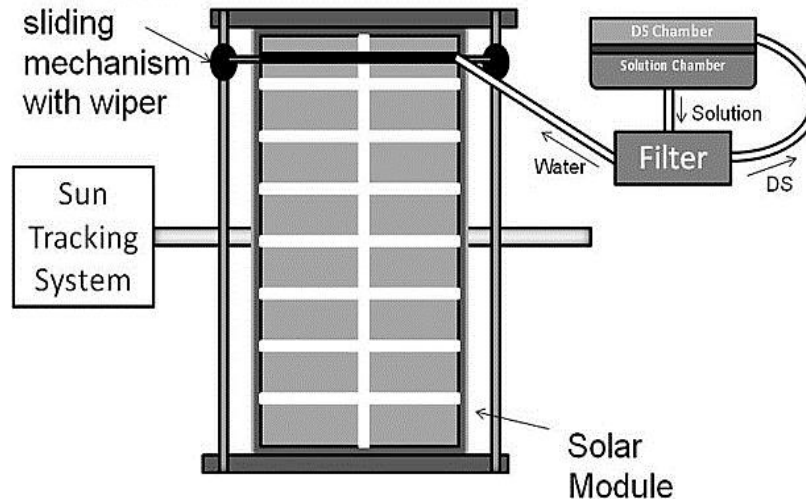
Esquema principio funcionamiento.



Nota. La figura No 13 nos ilustra la deliquescencia, por el cual una sustancia absorbe la humedad de la atmósfera. *Obtenido de (Energías renovables, 2019)*

La solución debe ser filtrada o purificada antes de que pueda ser utilizada para la limpieza de los paneles fotovoltaicos, la evaporación se puede hacer con la ayuda de la radiación emitida por el sol empleando una cámara, el calentamiento de la solución produce gas de agua que se concentra en una superficie más fría formando gotas de agua, luego de esto las gotas se recogen para ser utilizadas en la limpieza de los módulos.

Figura 14.
Prototipo Propuesto NCPRE



Nota. En la figura 14 se muestra un prototipo propuesto por NCPRE (National Centre for Photovoltaic Research and Education), consta de una cámara piramidal para la filtración de la solución, uno de los parámetros fundamentales es el ángulo de inclinación de la cubierta que es el ángulo del acristalamiento respecto la superficie horizontal y los paneles fotovoltaicos se montan normalmente en marcos fijos o en marcos móviles con los sistemas de seguimiento solar.

El mantenimiento se puede realizar con el apoyo de la gravedad dependiendo de la inclinación de los módulos fotovoltaicos, además, se puede instalar un mecanismo limpia brisas en los paneles.

5.3. Lineamientos para la limpieza de sistemas fotovoltaicos utilizando tecnologías disponibles en el mercado

Los lineamientos de limpieza se exponen a continuación, lo cual están enmarcados en los parámetros de un plan de mantenimiento para los sistemas fotovoltaicos.

Para realizar el mantenimiento de paneles solares es necesario tener en cuenta que se debe hacer un aseo trimestral, también cuando un artefacto o elemento extraño se encuentre posicionado por encima se debe tener en cuenta los daños que se ocasionen por lluvia, el polvo o la contaminación.

En los paneles rotos el sistema de mantenimiento consiste en la revisión de normas de seguridad industrial, hacer una revisión visual a cerca de los cables pelados, dañados o con oxidación de terminales, dado que las acciones de limpieza generan un alto riesgo físico para los operarios que lo realizan.

En el mantenimiento de baterías es importante el reconocimiento ocular una vez al mes, paralelamente se debe evidenciar si sufren de; Desgaste, sulfatación, voltaje global, voltaje de los vasos individualmente 8 cada 3 meses, constancia del electrolito, tenacidad y temperatura.

El mantenimiento de los reguladores de carga está basado en conservar aseado el regulador, comprobar si los cables permanecen de manera correcta conectados y comprobar los puntos de estabilidad.

Para los inversores es importante mantenerlos limpios y comprobar si el cableado permanece de manera correcta en los Bornes.

Sin embargo, se debe tener en cuenta que la acumulación de polvo y suciedad al igual que objetos como hojas, papeles, excremento de animales, ramas de árboles entre otros que en los módulos fotovoltaicos impiden el ingreso de la energía, esto ocasiona una disminución de energía eléctrica generada.

Antes de realizar el mantenimiento es necesario considerar estas siguientes precauciones de seguridad: Leer las indicaciones de aseo del fabricante del módulo, tomar cada una de las disposiciones de estabilidad correctas: EPP, plataforma elevadora y/o andamio, se debe garantizar que el circuito está desconectado del inversor antecedente de empezar el aseo, no se debería transitar sobre los módulos fotovoltaicos, no solo perjudica a los módulos, adicionalmente se corre el peligro de resbalar, es preciso utilizar bastones telescópicos no conductores y mangueras para tocar los módulos fotovoltaicos; se debe corroborar que no hay módulos desgarrados. Jamás rociar agua encima de los módulos deteriorados; detectar regiones de peligro que serían bastante resbaladizas al caerles agua y planear hacia que dirección va a gotear el agua (presencia de drenajes) y en caso de utilizar artículos químicos, recoger el agua utilizada.

5.3.1. Durante la limpieza de los módulos

El aseo se ejecutará con agua (sin agentes abrasivos ni aparatos metálicos), de preferencia se va a hacer fuera de las horas centrales del día para evadir variaciones violentas de temperatura entre el agua y la unidad (sobre todo en estaciones cálidas) (Delgado, 2012).

Es recomendable usar cantidades abundantes de agua y un intensivo aseo con cepillos suaves o utensilios como esponjas o telas de algodón, es conveniente lavar con agua desionizada para prevenir las manchas.

Figura 15.
Panel solar



Nota. En la figura No 16 la continuidad con que se le haga mantenimiento o limpieza a este lugar depende de diferentes factores ya sean la lluvia, la contaminación o partículas de polvo en suspensión entre otras, lo ideal es que la limpieza sea solicitada mensualmente o dos veces al mes en caso de que sea posible, *Obtenido de (Peñaloza, 2018).*

Los lineamientos de procedimiento preventivo son:

- No poseen piezas desplazables que se deterioren.
- No tienen dentro líquidos o vapores que logren desbordarse o escaparse.
- No agotan combustible para operar.
- Poseen una responden de manera instantánea, logrando una plena fabricación eléctrica rápidamente.
- No generan contaminación ambiental al producir energía eléctrica.
- Necesitan poco mantenimiento si permanecen de manera correcta elaborados y fijados.

- El 85% de las células se producen de silicio, el segundo factor más exuberante en la corteza terrestre.
- Son modulares, por lo cual permiten un extenso rango de aplicaciones solar eléctricas. Poseen una eficiencia de transformación de luz solar a electricidad subjetivamente alta.

La inspección ocular de las baterías debería efectuarse mensualmente, por consiguiente, se propone revisar si surge alguno de los próximos efectos degradativos. (González, 2015).

1. Corrosión: Hace que la corriente no se desplace uniformemente por todas las secciones de la batería.
2. Sulfatación: surge una vez que la batería labora en etapas de carga deficitarios, se identifica por el surgimiento de vidrios de color azul verdoso en la bornea positiva primordialmente.
3. Limpieza: Fregar los vasos con una tela empapada, los terminales con un cepillo metálico y en las borneras se debería utilizar vaselina para evitar el desgaste.

5.3.2. Limpieza de equipos eléctricos

Para realizar una adecuada limpieza de equipos eléctricos se deben seguir correctamente los siguientes pasos: (Universidad Nacional de Colombia , 2018)

Descontaminación: Es el proceso utilizado para eliminar microorganismos en algunos casos también puede referirse a la neutralización de sustancias químicas, peligrosas y materiales radioactivos.

Desinfección: Es el proceso que extermina o destruye la mayoría de los microorganismos patógenos.

Limpieza: Eliminación de materia orgánica que se encuentra presente en superficies instrumentos o equipos.

Equipo biomédico: Es un instrumento médico operacional y funcional que reúne sistemas y subsistemas eléctricos o hidráulicos. (Universidad Nacional de Colombia , 2018)

5.3.3. Vida útil de un equipo eléctrico

La vida útil de los dispositivos que se manipulan en las operaciones cotidianas es de suma importancia ya que son los principales medios con los cuales se cumplen los objetivos de la industria independientemente del rango al que pertenezcan, este lapso de vida está determinado por los factores de uso y ambientales a los cuales está expuesto el equipo. (Universidad Nacional de Colombia , 2018)

5.3.4. Precauciones de las Baterías

Entre las precauciones para tener en cuenta en el procedimiento de mantenimiento preventivo o en la limpieza de baterías se deben considerar los lineamientos que se contemplan en la tabla N°10

Las precauciones de las baterías son:

- **Riesgo de choque eléctrico:** El riesgo de recibir una descarga empieza una vez que la bancada de baterías tenga un voltaje superior a 60V.
- **Riesgo al cortocircuitar los bornes con artefactos metálicos:** Se ofrece la utilización de equipos apropiadamente separados
- **Riesgo de explosión:** La batería haciendo un trabajo de sobre descarga genera vapores que tienen la posibilidad de ser enormemente explosivos.
- **Evadir derramar ácido de batería:** debido a que esto puede producir erosiones en la dermis, ojos y quemaduras de prendas.

- Jamás juntar los conectores de una batería, esto podría provocar un corto circuito.

5.3.5. Cuidados con el regulador de carga

A continuación se expone en la tabla No 9 los cuidados para tener en cuenta en el mantenimiento preventivo relacionado con las actividades de limpieza de un regulador de carga.

Los cuidados con el regulador de carga son:

- El regulador debería estar en un espacio seco, no posibilite que se humedezca con ningún tipo de líquido.
- No retire el regulador del sistema fotovoltaico.
- Una vez que el regulador señala menos del 50%, no se debería prender ningún artefacto que se encuentre acoplado a este sistema hasta que el sol vuelva a llenar las baterías.
- Sólo un técnico acreditado consigue quitar o modificar el regulador.

5.3.6. Elementos y requerimientos para el mantenimiento fotovoltaico

5.3.6.1 Limpieza periódica del panel

El volumen de suciedad que se acumula en el panel puede reducir su rendimiento como las capas de polvo que producen, en su mayoría minimizan el grado de energía solar y la potencia no suele ser significativa. (Delgado, 2012)

Las operaciones de aseo y mantenimiento de los paneles se realizarán mensualmente o bien después de una lluvia de barro u otros factores del clima, la limpieza debe realizarse con agua preferiblemente en horas posteriores al día para

evitar cambios bruscos de temperatura entre el agua y el panel, sobre todo en días soleados o épocas de verano.

Figura 16.

Limpieza de Paneles



Nota. En la figura N°17 se observa el objeto que se usa para la limpieza de los paneles a la luz del día. *Obtenido de (Delgado, 2012).*

5.3.6.2 Inspección visual de posibles degradaciones (bimensualmente)

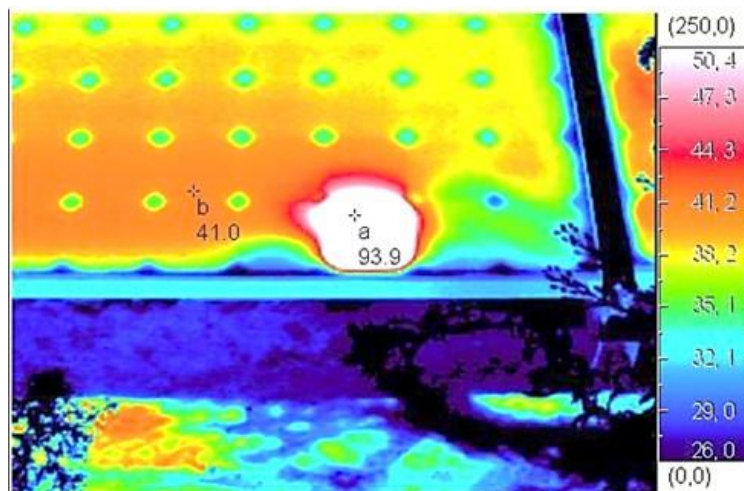
- Se controlará que ninguna célula se encuentre en mal estado (cristal de protección roto, normalmente debido a acciones externas).
- Se comprobará que el marco del módulo se encuentra en correctas condiciones (ausencia de deformaciones o roturas). (Delgado, 2012)

5.3.7. Control de la temperatura del panel (trimestralmente)

se controlará a ser posible mediante termografía infrarroja, que ningún punto del panel esté fuera del rango de temperatura permitido por el fabricante sobre todo en los meses de verano.

Figura 17.

Termografía de un panel fotovoltaico.



Nota. En la figura N°18 se observa el panel fotovoltaico aplicándole termografía infrarroja.
Obtenido de (Delgado, 2012)

5.3.8. Control de las características eléctricas del panel (anualmente)

El control de las características del panel se realizará en un período anual, se revisará el estado de las conexiones, entre otros; la falta de sulfatación de contactos, la no existencia de oxidaciones en los perímetros y capas de las células, comúnmente gracias al acceso de humedad, para después, hacer una corroboración de estado y cohesión de los cableados a los conectores de los paneles y la estanqueidad de la caja de conectores.

Después de esto es necesario comprobar la toma tierra y la resistencia de paso al potencial, también el calor de los enlaces por medio de termografía infrarroja y en caso de presentarse algún enlace con una temperatura por encima de 60 °C se estimará la atención y la magnitud de esta. (Delgado, 2012)

Figura 18.

Mantenimientos Factibles para sistemas Fotovoltaicos



Nota. En la figura N° 19 se observa el mantenimiento que se realiza en estos sistemas fotovoltaicos. *Obtenido de (Delgado, 2012)*

5.3.9. Lineamientos para un procedimiento de inspección visual

Se verifican primero los daños por embarque y se revisa la certificación de la mano de obra para luego proceder a revisar las deficiencias en los soportes de montaje o construcciones junto con el agrietamiento, la distensión o áreas pegadizas de objetos poliméricos.

Otros elementos importantes para verificar son: Burbujeos o laminado de artículos encapsulados, la existencia de objetos extraños, recursos de elevado efecto que son el desgaste de los sujetadores, segmentos mecánicos o recursos de circuitos eléctricos, huecos o desgastes en las cintas consumidas de las capas fotovoltaicas, la decoloración y los quebrados.

5.3.10. *Requisitos para un mantenimiento en el módulo*

1 de los beneficios centrales de los sistemas de energía alternativa es que su sostenimiento es mínimo es por esto que son excelentes en sitios en los cuales es necesario soberanía de desempeño, en modo preventivo es necesario primero considerar el móvil debido a que éste debería estar continuamente limpio, en caso de que se presente suciedad es importante limpiar utilizando una esponja suave para evitar rayar el cristal y en caso de que algún objeto genere sombra sobre la unidad es recomendable cambiarlo de puesto e intentar evadir las sombras sobre el dispositivo.

Otra de las ventajas asociadas al mantenimiento es que las unidades tienen en su frente un cristal templado de 3 a 3,5 mm de grosor que los hace resistentes al efecto y aceptan adicionalmente cualquier tipo de alteración climática.

5.3.11. *Mantenimiento de un controlador de carga*

Se entiende por controlador de carga a un componente que se encuentra aislado de una red eléctrica es decir de la instalación fotovoltaica, para realizar el buen mantenimiento de este es necesario primero comprobar que sus componentes no se encuentren en desgaste, sean falsos o tengan alguna inconsistencia, en caso de ser requerido corregir y cambiar según sea la situación, después, asegurarse que los ajustes de los conectores de la batería estén bien ajustados para finalmente limpiar la suciedad y verificar que el polo a tierra no se encuentre suspendido y que los puertos estén en el lugar que corresponde.

5.3.12. *Mantenimiento del banco de baterías*

Al respecto del mantenimiento y limpieza del banco de baterías, primero se debería verificar el grado del electrolito, luego llenar en caso de que se encuentre por debajo

del grado; limpieza del sulfato conformado en los bornes y cableados utilizando agua y brocha con cerdas de plástico.

6. RESULTADOS

Se logró investigar lineamientos para la limpieza de sistemas fotovoltaicos utilizando tecnologías disponibles en el mercado. Para ello fue necesario primero investigar acerca de los requisitos y recomendaciones emitidas por las normas nacionales e

internacionales sobre el mantenimiento de sistemas fotovoltaicos con el fin de describir las actividades y frecuencia de ejecución. Luego se contemplaron aspectos contemplados por la Agencia de Energía Internacional, GREG, RETIE, el consejo mundial de energía entre otras, para consolidar lo relevante al respecto y priorizar los lineamientos y recomendaciones en temas de mantenimiento y su respectiva tecnología que está disponible actualmente. Se determinaron los requisitos y recomendaciones que contemplan actividades de chequeo, inspección y medición de puntos claves en el sistema: el método de inspección visual de las unidades fotovoltaicas, los lineamientos de la política energética en materia, el decreto exclusivo reglado del Sector Administrativo de Minas y Energía, la legislación sobre la Unión de fuentes renovables no convencionales al sistema de energía, el uso de dispositivos de contestación de la demanda de energía renovable y a mediano plazo ventajas involucradas con excepción de Impuesto al Valor Agregado al usar sistemas de energía fotovoltaica. (Muñoz, 2013)

Se contemplaron cinco (5) aspectos importantes en cuanto a la ejecución del mantenimiento preventivo de los sistemas fotovoltaicos, primero, la descripción de planos construidos, registros fotográficos y consideraciones de seguridad, segundo, estimaciones de rendimiento y estudios de irradiación y sombra, tercero, los manuales de los equipos con indicadores de operación, medidores y mensajes de error, cuarto, los requisitos soportados en una lista de chequeo con actividades de mantenimiento preventivo que aclaren la duración, frecuencia, recursos y riesgos y finalmente la evaluación cualitativa y cuantitativa de la eficacia de actividades desarrolladas. Luego, para complementar, se priorizaron en una figura formulada por el autor, 6 pasos relevantes para poder realizar un mantenimiento de un sistema fotovoltaico adaptado de (Ministerio Federal de Protección de Medio ambiente, 2016).

Se realizó un análisis de las tecnologías disponibles usadas actualmente para la limpieza de sistemas fotovoltaicos para determinar sus características, ventajas y desventajas. Esto se logró por medio de la búsqueda en la web, portafolios de servicios de empresas, fichas técnicas de tecnologías para limpieza de sistemas fotovoltaicos, para finalmente consolidar un listado. En el desarrollo de este resultado se pudo evidenciar que el mantenimiento requiere ser realizado con normas de seguridad y es conveniente que se cuente con la certificación de los equipos a utilizar en los sistemas solares, es un punto esencial, a fin de que puedan instalarse materiales que cumplan con requerimientos de calidad del servicio, eficiencia, confiabilidad, continuidad y seguridad física de instalaciones y el autor propuso una figura que permite conocer en forma específica los elementos de un sistema fotovoltaico la cual adaptado de García (2017) en el objetivo dos se realizó un análisis de las tecnologías disponibles y usadas actualmente para la limpieza, como son: clasificación y análisis de limpieza a presión sin razonamiento de agua; sistema rodillo autopropulsado; sistema de instalación de limpieza mecanizados-automáticos; sistema de aire comprimido sin rozamiento y sin agua; sistema de limpieza y refrigeración y finalmente el sistema de limpieza a partir de la humedad del ambiente.

Se organizaron en el título 5,3 y 6 cuadros tipo fichas técnicas que faciliten la comprensión y claridad de los requerimientos de los sistemas fotovoltaicos el cual se plasmó en 3 aspectos, como son: inspección visual de posibles degradaciones (bimensualmente); control de la temperatura del panel (trimestralmente) y finalmente control de las características eléctricas del panel (anualmente).

Y finalmente, fue posible determinar los lineamientos para la limpieza de sistemas fotovoltaicos utilizando tecnologías disponibles en el mercado. Este tema es importante ya que se logró evidenciar en diagramas, imágenes y listas de chequeo

las cuales son una guía para aquellos interesados en plantear futuras investigaciones con respecto al programa de electricidad industrial. Se organizó y presentó en la documentación del desarrollo del objetivo número cuatro un cuadro de resumen de lineamientos de limpieza en el marco de un plan de mantenimiento de un sistema fotovoltaico; aspectos a tener en cuenta durante la limpieza de los módulos, precauciones de las baterías, limpieza periódica del panel, cuidados con el regulador de carga, elementos y requerimientos para el mantenimiento fotovoltaico, los controles de temperatura, lineamientos para un proceso de inspección visual, requisitos para un mantenimiento en el módulo, mantenimiento de un controlador de carga y finalmente acerca del mantenimiento del banco de baterías.

7. CONCLUSIONES

En la definición de los requisitos y recomendaciones emitidas por las normas nacionales e internacionales sobre el mantenimiento de sistemas fotovoltaicos; se pudo concluir que todos estos lineamientos dan alta importancia a la verificación de las competencias del personal que realiza las labores de limpieza en el marco de los planes de mantenimiento y recomiendan que se debe garantizar que el personal conozca acerca del uso del agua y una detallada verificación visual.

Entre las tecnologías disponibles y usadas actualmente para la limpieza de sistemas fotovoltaicos, se destaca que se pueden desarrollar en forma artesanal (manual), mecanizada o automatizada e independiente de la tecnología y método se requieren de un procedimiento diseñado a partir de lineamientos legales, normas técnicas y buenas prácticas.

Los lineamientos para la limpieza de sistemas fotovoltaicos están centrados en acciones pertinentes y debidamente planificadas y se ejecutan en el marco de un plan de mantenimiento, aseo y desinfección de módulos, precauciones de las baterías del panel del regulador de carga.

Los lineamientos para la limpieza están enfocados hacia la eficacia y eficiencia del proceso de mantenimiento de los sistemas fotovoltaicos, lo que permite mitigar efectos degradativos, por ello la limpieza es una forma proactiva de prevenir los problemas que genera el agua lluvia, la contaminación y polvo en suspensión.

8. RECOMENDACIONES

Es recomendable, que en el programa de tecnología en electricidad industrial se continúen realizando investigaciones acerca de los requerimientos de los sistemas fotovoltaicos en especial respecto a la función de las relaciones entre limpieza y eficiencia teniendo en cuenta los diferentes tipos de tecnologías que se identificaron en este estudio.

Es pertinente que se elabore un estudio acerca de buenas prácticas de mantenimiento de inversores que permita complementar los resultados de este estudio, no obstante, se requiere que se complemente con el impacto que puede generar el polvo, aguas lluvias y contaminación evaluado desde la visión de la vida útil del inversor.

Es conveniente que se promueva en el marco del seminario, estrategias de aplicación de diferentes métodos de la limpieza ampliados hacia los 3 métodos como lo son: manual, mecánica o automatizada, indicadores de eficiencia y presupuestos respectivos.

9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Barrera, W. A., & Castilla, F. A. (2018). *Propuesta de un sistema fotovoltaico para consumo eléctrico en el municipio de Quebradanegra, Cundinamarca*. Bogotá: Universidad Libre de Colombia.
- Cárdenas, A. V., & Jaimes, M. A. (2019). *Factibilidad Para La Creación De Una Empresa Prestadora De Servicio De Implementación De Energías Fotovoltaicas*. Cúcuta: Universidad Libre Seleccional de Cúcuta.
- CELSIA. (30 de Noviembre de 2017). *Energía solar en Colombia*. Recuperado el 28 de Junio de 2021, de <https://eficienciaenergetica.celsia.com/>: <https://eficienciaenergetica.celsia.com/todo-lo-que-debes-saber-sobre-energia-solar-en-colombia/>
- Comisión reguladora de energía y gas. (27 de 12 de 2017). *Regulación de la CREG sobre energías renovables comprende seis grandes temas*. Obtenido de <https://creg.gov.co/>: <https://creg.gov.co/node/8625>
- Congreso de la república de Colombia. (2014). *Energía renovable*. Bogotá.
- Delgado, F. (2012). *Planta solar fotovoltaica 500kW sobre la cubierta de una nave industrial*. Sevilla: Escuela técnica superior e ingeniería.
- Energías renovables. (07 de 04 de 2019). *Nanotecnología pulverizada que incrementa el rendimiento de un panel hasta un 7%*. Obtenido de <https://www.energias-renovables.com/>: <https://www.energias-renovables.com/fotovoltaica/nanotecnologia-pulverizada-que-incrementa-el-rendimiento-de-20190417>
- Fidias, G. A. (2012). *El Proyecto de Investigación Introducción a la Metodología Científica 6a Edición*. Episteme. Obtenido de <https://evidencia.com/wp-content/uploads/2014/12/EL-PROYECTO-DE-INVESTIGACION-C3%93N-6ta-Ed.-FIDIAS-G.-ARIAS.pdf>
- García, F. M. (2017). *Energía Solar Fotovoltaica*. Madrid: Colegio Oficial de Ingenieros y Telecomunicaciones.
- García, O. (2016). *El mantenimiento general*. *Educación Virtual*, 2, 4. Recuperado el 15 de Mayo de 2021
- González, M. (2015). *Mantenimiento de sistemas solares fotovoltaicos*. AEA, 5-7.
- Gonzalez, M., & Nikolova, A. (2013). *Manual de usuario de operación y mantenimiento de sistemas solares FV*. Santo Domingo: Save the Children.
- Henríquez, J. S., & Calderón, V. C. (2012). *Diseño del proceso de evaluación del desempeño del personal y las principales tendencias que afectan su auditoría*. Barranquilla: Scielo.
- Ingeoexpert. (29 de 03 de 2019). *Energía solar fotovoltaica y su generación*. Obtenido de <https://ingeoexpert.com/>: <https://ingeoexpert.com/2019/03/29/que-es-la-energia-solar-fotovoltaica-y-como-se-genera/>
- Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT). (2014). *Condiciones de seguridad y salud exigibles a la maquinaria de obra: plataformas elevadoras móviles*. Madrid: Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo.

- Jacob, Souza, Murcia, Garin, & Tedoldi, G. y. (2016). Influencia de la limpieza en la energía de instalaciones fotovoltaicas. *ASADES*, 38, 1. Recuperado el 11 de Julio de 2021, de file:///E:/Usuario/Downloads/1359-3501-1-SM.pdf
- Laguna, L. (2018). *Concepto y aplicación de la conservación, preservación*. slideshare.
- Mateo, V. M. (2016). *Gestión del montaje de instalaciones solares fotovoltaicos*. Madrid: Ediciones Paraninfo, SA.
- Melendez, J., Cruz, O., J. B., & Quiroga, O. (2017). *Aspectos técnicos y regulatorios para la implementación de generación eléctrica fotovoltaica a nivel residencial en Colombia*. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander.
- Minenergía. (2013). Reglamento técnico de instalaciones eléctricas RETIE. *Minenergía.gov.co*, 1-5.
- Ministerio Federal de Protección de Medio ambiente. (2016). *Guía de operación y mantenimiento de sistemas fotovoltaicos*. Alemania: Ministerio Federal de Protección de Medio ambiente.
- Montero, M. (03 de 03 de 2011). *Diseño y prototipado de un robot autónomo para la limpieza automática de huertas solares*. Obtenido de <https://www.interempresas.net/https://www.interempresas.net/Robotica-industrial/Articulos/50223-Diseno-y-prototipado-de-un-robot-autonomo-para-la-limpieza-automatica-de-huertas-solares.html>
- Moraes, A. M., Morante, F., & Fedrizz, M. C. (2017). *Sistema fotovoltaico para demanda de energía de un esquema de suministro de agua potable*. Sao Pablo: Universidad de São Paulo.
- Muñoz, J. (15 de Mayo de 2013). Procedimiento para la medición y el control de procesos . *Procedimiento*. Calí, Valle del cauca, Colombia: Universidad de San Buenaventura.
- Naciones Unidas. (10 de 06 de 2020). *El apogeo de las energías renovables, el lado esperanzador de la crisis de la pandemia de coronavirus*. Obtenido de <https://news.un.org/https://news.un.org/es/story/2020/06/1475832>
- Ortiz, C. (15 de 05 de 2020). *Política de confiabilidad, seguridad, continuidad y calidad en el sistema eléctrico nacional*. Obtenido de <https://www.lexology.com/https://www.lexology.com/library/detail.aspx?g=8a045ca2-5a8b-49b5-9f73-1ec9e9f1713c>
- Palencia, O. G. (2016). *El mantenimiento general*. Tunja: UPTC.
- Peña, G. A. (2018). *Análisis de la aceptación del uso de energía solar para beneficio doméstico en la comunidad del sector kilómetro 32, Vereda Albania, municipio de san Vicente de Chucurí en el departamento de Santander*. Bogotá: UDFJC.
- Peñaloza, E. J. (2018). *Peñaloza, E. J. estudio de factibilidad para la creación de un sistema de autogeneración de energía solar fotovoltaica para la Sede CCVA de Cúcuta*. Cúcuta: Unad.
- República de Colombia. (11 de Noviembre de 2017). Decreto 1546 de 2017. *Decreto relacionado con energías no renovables*. Bogotá, Cundinamarca, Colombia: DNP.
- Rovira, O. E. (2012). *Análisis del ciclo de vida para el desarrollo de las Reglas de Categoría de Producto de sistemas solares fotovoltaicos para la edificación*. Internacional: core.ac.uk.
- Sanchez, A. M. (2017). *Metodología de aplicación en las organizaciones del mantenimiento predictivo*. Bogotá: Universidad Católica.

- Sandoval, C. (2020). *Proyecto comete solar para optimización de sistemas fotovoltaicos*. Carabobo, Venezuela: Universidad de Carabobo.
- Suárez, L. (13 de Julio de 2020). *Propuesta de diseño de un sistema solar fotovoltaica*. Madrid: WE. Recuperado el 8 de Julio de 2021
- Universidad Nacional de Colombia . (2018). *Guía limpieza y desinfección de equipos biomédicos y dispositivos*. Bogotá: Unal.
- UTS. (2016). Electricidad Industrial. *Unidades tecnológicas de Santander*, 1.
- Zapata, E. (2019). Limpieza y Mantenimiento. *PDIII*, 1.