

DISPOSICIÓN FINAL DEL CICLO DE VIDA DE PANELES SOLARES



Plan de disposición final del ciclo de vida de paneles solares para Soltec Trackers en La Loma - Cesar 2024

Miguel Angel Arias Rodriguez

Corporación Universitaria Minuto de Dios

Rectoría Virtual

Programa Especialización en Gerencia de Proyectos

5 de mayo del 2024

DISPOSICIÓN FINAL DEL CICLO DE VIDA DE PANELES SOLARES

Plan de disposición final del ciclo de vida de paneles solares para Soltec Trackers en La Loma - Cesar 2024

Miguel Angel Arias Rodriguez

Trabajo de Grado presentado como requisito para optar al título de Especialista en Gerencia de Proyectos

Asesor(a)
Doris Amanda Rosero García
Doctora en biología

Corporación Universitaria Minuto de Dios
Rectoría Virtual
Programa Especialización en Gerencia de Proyectos
5 de mayo del 2024

DISPOSICIÓN FINAL DEL CICLO DE VIDA DE PANELES SOLARES

Dedicatoria

Este proyecto de investigación va dedicado a mi familia, que siempre me han brindado su apoyo incondicional para crecer en el ámbito laboral y profesional en las etapas de mi vida.

A mis padres y hermanos que me han inculcado valores, motivación, amor y perseverancia, para alcanzar los objetivos que me he propuesto.

DISPOSICIÓN FINAL DEL CICLO DE VIDA DE PANELES SOLARES

Agradecimientos

A Dios primeramente por la sabiduría y las fuerza que me ha dado para cerrar cada ciclo de mi vida, a mi familia en especial porque son testigo del sacrificio y las ganas que tenemos de salir adelante, a mis padres que me han dado fuerzas para forjar mi carácter y la disciplina para continuar cosechando logros y metas. El camino no fue fácil, pero ver que este logro se hace realidad me llena de orgullo y satisfacción para los que vendrán.

A mis tutoras, Dra. Doris Rosero y Dra. Vanessa Gómez que siempre estuvieron dispuestas a solucionar las dudas y a brindarme lo mejor de su conocimiento en cada una de la open class y asesorías, gracias por la paciencia y la disposición en sus enseñanzas.

:

DISPOSICIÓN FINAL DEL CICLO DE VIDA DE PANELES SOLARES

Contenido

Dedicatoria.....	3
Agradecimientos	4
Lista de tablas	7
Lista de figuras	8
Lista de anexos.....	9
Resumen	10
Abstract.....	11
Introducción.....	12
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	13
1.1 Descripción del problema	13
1.2 La pregunta de investigación	15
1.3 Los objetivos de investigación	15
1.3.1 Objetivo general.....	15
1.3.2 Objetivos específicos.....	15
1.4 Justificación de la investigación	16
2. MARCO DE REFERENCIA.....	17
2.1.Marco de Antecedentes.....	17
2.2. Marco Teórico	18
2.3.Marco normativo	19
2.4.Marco conceptual	21
3. METODOLOGÍA	25
3.1.Enfoque y alcance de la investigación	25
3.1.1.Objetivo específico 1: <i>Identificar los componentes que conforman los paneles solares implementados en la organización.</i>	25
3.1.2.Objetivo específico 2: <i>Analizar las normativas existentes asociadas al contexto de los residuos eléctricos de paneles solares fotovoltaicos después de cumplir su utilidad.</i>	26
3.1.3.Objetivo específico 3: <i>Evaluar técnicamente las diferentes alternativas para una correcta gestión de los residuos provenientes de paneles solares.</i>	26
3.2.Población y muestra	27

DISPOSICIÓN FINAL DEL CICLO DE VIDA DE PANELES SOLARES

3.2.1. Definición de la población.....	27
3.2.2. Cálculo y selección de la muestra	27
3.3. Instrumento(s)	27
3.4. Descripción de procedimientos	28
3.5. Análisis de información.....	28
3.6. Consideraciones éticas.....	29
3.4.1. Análisis de consideraciones éticas	29
3.4.2. Instrumentos de aceptación y autorización	29
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	30
4.1. Objetivo específico 1.....	30
4.1.1. Resultados actividad 1.1	30
4.2. Objetivo específico 2.1.....	35
4.2.1. Resultados Actividad 2.1:.....	35
4.3. Objetivo específico 3.....	39
4.3.1. Resultado actividad 3.1.....	39
4.3.1.1. Reciclaje de paneles solares	39
4.3.1.2. Reciclaje mecánico.....	40
4.3.1.3. Reciclaje térmico.....	41
4.3.2. Diagnostico general de la gestión de residuos	42
4.4.1. Resultados bibliográficos	44
5. CONCLUSIONES	47
Referencias.....	48

DISPOSICIÓN FINAL DEL CICLO DE VIDA DE PANELES SOLARES

Lista de tablas

Tabla 1: <i>Marco normativo que rige el manejo de paneles solares en Colombia</i>	19
Tabla 2: <i>Características del panel solar tipo 1 de 430w bifacial</i>	30
Tabla 3: <i>Características del panel solar tipo 2 de 540w bifacial</i>	32
Tabla 4: <i>Componentes que conforman los paneles solares en la organización</i>	33
Tabla 5: <i>Componentes para fabricación de un panel de silicio policristalino en China</i>	34
Tabla 6: <i>Marco normativo para la disposición final de residuos eléctricos y electrónicos</i> .	35
Tabla 7: <i>Porcentaje comparativo de los 2 procesos de reciclaje</i>	42
Tabla 8: <i>Bibliografías consultadas en la investigación</i>	45

Lista de figuras

Figura 1: <i>Partes de un panel solar fotovoltaico constituido por muchas celdas</i>	21
Figura 2: <i>Parque solar fotovoltaico la loma en departamento del Cesar</i>	22
Figura 3: <i>Parque solar fotovoltaico la loma - Cesar, paneles solares</i>	23
Figura 4: <i>Parque solar fotovoltaico la loma paneles en plan de disposición final</i>	24
Figura 5: <i>Arreglo de paneles solares de 460W bifaciales</i>	31
Figura 6: <i>Clasificación de los residuos de los paneles fotovoltaicos</i>	40
Figura 7: <i>Proceso de reciclaje térmico y mecánico como plan de disposición</i>	41
Figura 8: <i>Características de una celda solar fotovoltaica</i>	44

Lista de anexos

Anexo 1: *Ficha técnica de panel solar de 460W utilizado en la organización.....55*

Anexo 2: *Ficha técnica de panel solar de 540W utilizado en la organización.....57*

Resumen

El presente proyecto de investigación se planteó como estudio para un plan de disposición final del ciclo de vida de paneles solares, teniendo en cuenta el crecimiento exponencial y acelerado de las energías renovables, la energía solar se presenta como una solución fundamental a la necesidad energética mundial, como utilización de una energía alternativa y que contribuye al mejoramiento del medio ambiente. El enfoque fue de tipo exploratorio cualitativo que me permitió focalizarme, en comprender o explicar el comportamiento de un grupo de fenómenos, un hecho o un tema, en el cual se buscó realizar una extensiva revisión bibliográfica. Se considero que la gestión para el desensamble de proyectos solares fotovoltaicos genera un mercado saliente en este sector de la industria. Los residuos generados por un módulo solar, pueden ser aprovechados en un 85% aproximadamente, teniendo en cuenta el método de tratamiento que se constituya para dicho proceso. A nivel nacional resulto inquietante el desconocimiento por parte de los fabricantes, entidades y consumidores hacia las directrices que aseguren una segura y eficaz gestión de disposición final de los módulos fotovoltaicos.

En la gestión integral de los residuos por sus diversos productos y servicios ofrecidos, no se incluyen actividades y/o procesos que permitan el tratamiento pertinente para los residuos generados por sistemas fotovoltaicos. El presente plan de disposición final del ciclo de vida de paneles solares para Soltec Trackers en La Loma – Cesar 2024, se estableció para la gestión de estrategias, tratamiento y disposición necesarias para un adecuado proceso. Lo anterior se desarrolló con el fin de reducir los posibles impactos al ambiente que pueden suceder y como solución a una problemática real.

Palabras clave: Ciclo, Disposición, Energías renovables, Paneles solares.

Abstract

This research project was proposed as a study for a final disposal plan for the life cycle of solar panels, taking into account the exponential and accelerated growth of renewable energies, solar energy is presented as a fundamental solution to the world's energy need. . , as the use of alternative energy that contributes to the improvement of the environment. The approach was qualitative exploratory that allowed me to focus on understanding or explaining the behavior of a group of phenomena, a fact or a topic, in which an extensive bibliographic review was sought. It is considered that the management for the design of solar photovoltaic projects generates an outgoing market in this sector of the industry. Approximately 85% of the waste generated by a solar module can be used, taking into account the treatment method established for said process. At the national level, the lack of knowledge on the part of manufacturers, entities and consumers of the guidelines that ensure safe and effective management of the final disposal of photovoltaic modules is worrying.

In the comprehensive management of waste for its various products and services offered, activities and/or processes that allow the relevant treatment for waste generated by photovoltaic systems are not included. This final disposal plan for the life cycle of solar panels for Soltec Trackers in La Loma – Cesar 2024, was initiated to manage the strategies, treatment and disposal necessary for an adequate process. The above was developed in order to reduce the possible impacts on the environment that may occur and as a solution to a real problem.

Keywords: Cycle, Disposition, Renewable energies, Solar panels.

Introducción

La energía solar fotovoltaica se destaca como una solución crucial en la búsqueda de alternativas energéticas para frenar el crecimiento exponencial de los cambios climáticos, que a lo largo de los años se han convertido en un foco de atención a nivel mundial, según (Rodríguez Blanco, 2018) las energías alternativas representan, sin duda, un camino hacia la mejora de la calidad del medio ambiente, no obstante, es importante reconocer que también conllevan consecuencias negativas si no se toman medidas adecuadas para gestionar la disposición final del ciclo de vida de paneles solares. Por ello, se adoptó por una metodología que según (Clavijo, 1982) me permitió enfocarme, en comprender o explicar el comportamiento de un fenómeno o un tema, en el cual se buscó realizar una extensiva revisión bibliográfica para luego identificar, analizar y evaluar propuestas de estrategias concretas que fueron adoptadas, para dar solución a los ciclos de vida de los residuos que generan las granjas solares o proyectos; principalmente compuestos por los materiales presentes en los paneles solares, su transición energética actual está generando millones de toneladas de residuos, la mayoría de los cuales son reciclables (IRENA, 2016).

Por lo tanto, se estableció un adecuado proceso de disposición final para estos elementos, a partir de lo anterior se identificaron los componentes que conforman los paneles solares implementados en la organización, luego se analizaron las normativas existentes asociadas al contexto de los residuos eléctricos de paneles solares fotovoltaicos después de cumplir su utilidad y finalmente se evaluó técnicamente las diferentes alternativas para una correcta gestión de los residuos provenientes de paneles solares después de cumplir su ciclo de vida, de allí que se propuso un plan de disposición final del ciclo de vida de paneles solares para Soltec Trackers en

La Loma – Cesar 2024. El desarrollo de proyectos de energías renovables en las últimas dos décadas ha llevado a una mayor visibilidad ante entidades como IRENA o PV Cycle, destacando la generación de un mercado secundario en la industria fotovoltaica. Como resultado de este progreso, a nivel internacional se ha comenzado a establecer una serie de directrices, políticas y directivas centradas en el manejo responsable y sostenible de los residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (AEE) (IRENA, 2022).

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción del problema

A medida que el mercado mundial fotovoltaico crecía, también lo hacía el volumen de paneles fotovoltaicos desmantelados. Teniendo en cuenta que el ciclo de vida medio de un panel solar es de unos 30 años, se preveía que a partir del 2030 se tendría que gestionar cantidades ingentes de desechos electrónicos. En 2050, se estima que los módulos fotovoltaicos representarían cerca del 10% del total de los desechos electrónicos globales, derivados de la fabricación y el descarte del hardware fotovoltaico (Enel Green Power, 2021). Los países europeos como Reino Unido, España y Alemania que disponen de una sólida infraestructura para el manejo de residuos sólidos y una extensa experiencia en el uso de energía solar a gran escala, han logrado gestionar con éxito estos residuos. Sin embargo, este éxito es más bien la excepción que la norma a nivel internacional. Países con menos recursos, regulaciones y experiencia en el manejo de estos residuos difícilmente podrían replicar las estrategias de estos países sin adaptarlas a su propio contexto. Es crucial reconocer que las soluciones desarrolladas por estos

países deben ser adaptadas y ajustadas teniendo en cuenta las circunstancias únicas y los recursos disponibles en el mundo (Ramirez Agudelo, 2018).

Colombia enfrenta una situación crítica en relación con los residuos de paneles solares, ya que los primeros paneles instalados a gran escala en el país están próximos a llegar al final de su vida útil, aproximadamente entre los años 2020 y 2030. Sin embargo, actualmente no existe una normativa, infraestructura o plan de manejo establecido para abordar este problema. Hasta el momento, los residuos de paneles solares ni siquiera han sido clasificados como peligrosos, y no se ha impuesto ninguna obligación a las empresas productoras, distribuidoras y comerciales de paneles para cerrar el ciclo y gestionar adecuadamente estos residuos. La falta de regulación y acción con respecto a este tema representa un riesgo significativo para el medio ambiente y la salud pública en Colombia. Es crucial que se implementen medidas urgentes para abordar esta situación y establecer un marco legal y práctico para el manejo responsable de los residuos de paneles solares en el país (Ramirez Agudelo, 2018).

A nivel local se encuentra que la problemática persiste, ya que Soltec Trackers en el proyecto la loma (Enel Green Power, 2024), no tenía claro cuál es el plan de disposición final de los residuos de los paneles solares, que según informes por al área de calidad de la cual hago parte, se estima un aproximado de 4000 módulos solares, entre los que se encuentran un promedio de 2000 paneles totalmente destruidos para disposición final, por factores como almacenaje, transporte o golpes mecánicos. De allí la necesidad de resolver esta problemática que puede ocasionar un impacto tanto en el micro como macro entorno de la organización (SOLTEC TRACKERS, 2024).

1.2 La pregunta de investigación

¿Cómo contribuir al plan de disposición final del ciclo de vida de paneles solares para Soltec Trackers en La Loma – Cesar 2024?

1.3 Los objetivos de investigación

1.3.1 Objetivo general

Proponer un plan de disposición final del ciclo de vida de paneles solares para Soltec Trackers en La Loma – Cesar 2024.

1.3.2 Objetivos específicos

Identificar los componentes que conforman los paneles solares implementados en la organización.

Analizar las normativas existentes asociadas al contexto de los residuos eléctricos de paneles solares fotovoltaicos después de cumplir su utilidad.

Evaluar técnicamente las diferentes alternativas para una correcta gestión de los residuos provenientes de paneles solares.

1.4 Justificación de la investigación

El plan de investigación propuesto es de vital importancia debido a que la gestión adecuada de los residuos eléctricos de los paneles solares fotovoltaicos se presenta como una problemática en crecimiento para la organización, tanto a nivel económico como ambiental. Sin un plan de disposición final, existe el riesgo de enfrentar multas y sanciones legales que perjudicarían a la organización en su aspecto social y económico.

Lo que se pretende hacer es proponer un plan de disposición final que cumplan con las normativas vigentes y brinde una solución a la problemática de la empresa Soltec Trackers para el año 2024, beneficiando no solo a la organización en general, si no al medio ambiente generando un impacto positivo al darle un ciclo final de uso a estos dispositivos y convirtiéndose en un ejemplo a seguir, frente al fuerte crecimiento de energías renovables solares que se presenta en la región y en el país (SOLTEC TRACKERS, 2024).

La necesidad de recurrir a fuentes de energía alternativas y el proceso de transición energética en curso en Colombia han llevado a que los sistemas fotovoltaicos sean considerados como una fuente de generación de electricidad amigable con el medio ambiente y sin huella de carbono. Sin embargo, los residuos que generan incluyen contaminantes como el plomo, el cadmio, el estaño y el silicio; de no encontrar procesos adecuados de recolección, transporte y disposición de estos materiales, podrían convertirse en un problema para el medio ambiente y para los seres humanos (Quiroz Henao, 2023). De acuerdo con (Holger, 2022) a nivel global se generan más de treinta mil toneladas de residuos de paneles solares al año, y se estima que para el 2035 esa cantidad llegará al millón de toneladas por año. Con esta investigación se pretende

justamente dar solución a esta problemática en el proyecto fotovoltaico La Loma, donde se propuso un plan de disposición final del ciclo de vida de paneles solares en el presente año.

2. MARCO DE REFERENCIA

2.1.Marco de Antecedentes

Dentro del marco de antecedentes tenemos como referencia un trabajo de investigación, de (Gualdron Rodríguez, 2023), titulado Propuesta de línea base para aprovechar residuos provenientes de paneles solares fotovoltaicos por Enel Colombia, donde la investigación tiene como finalidad construir una línea base para la gestión adecuada de los paneles solares fotovoltaicos, como residuos eléctricos después de cumplir su vida útil, de modo que se puedan generar beneficios tanto para el problema de la contaminación como para el costo que implica la construcción de nuevos paneles.

Explicaba que los componentes que se pueden reciclar, desde un punto de vista económico son las cajas de conexiones, el vidrio, el silicio y los metales Cobre (Cu), Plata (Ag). El Aluminio (Al) de los módulos FV son de interés para el reciclaje. Asimismo la Plata (Ag), el Silicio (Si), el Cobre (Cu) y el vidrio un alto valor de reciclaje, según el precio determinado por la oferta y la demanda del mercado (Gualdron Rodríguez, 2023).

También destaca que, a partir del reciclaje de los paneles solares fotovoltaicos, se pueden producir nuevos equipos, y esta es una ventaja que está despertando un interés cada vez mayor entre los investigadores de todo el mundo. Utilizando un análisis del ciclo de vida de los módulos fotovoltaicos fuera de uso, Daniela-Abigail et al. descubrieron que los módulos

fotovoltaicos reciclados reducen la toxicidad para los seres humanos y la ecología del agua dulce entre un 10% y un 70% en comparación con los módulos fotovoltaicos no reciclados, y concluyeron que el reciclaje de paneles solares es factible desde el punto de vista medioambiental (M. Sierra Céspedes, 2020).

2.2.Marco Teórico

De acuerdo con el “International Renewable Energy Agency”, se generó el informe de “End of Life Management: Solar Photovoltaic Panels” en 2016, es crucial separar los residuos sólidos aprovechables de los no aprovechables. Esta medida ayuda a prevenir que estos desechos contaminen los ecosistemas, lo que podría tener un impacto negativo en la biodiversidad y la salud humana, la clasificación adecuada facilita su reutilización, recuperación, reciclaje y eliminación de manera responsable (IRENA, 2016).

A nivel mundial, la generación de residuos por el mercado fotovoltaico sigue siendo mínima debido a la larga vida útil de los paneles solares. Sin embargo, se proyecta un aumento sustancial para el año 2030. Por lo tanto, es crucial establecer marcos regulatorios que respalden el desarrollo de técnicas y tecnologías para gestionar el ciclo de vida de estos paneles además, es fundamental implementar políticas dirigidas al desmantelamiento, reciclaje y eliminación adecuada de estos residuos (IRENA, 2016).

El adecuado desmantelamiento de instalaciones que incluyan paneles solares, posee un beneficio para el medio social y ambiental. Debido a que los paneles solares se componen de distintos materiales y que cada componente posee diferentes propiedades para su aprovechamiento, deben clasificarse según sus características representativas y de esta forma ser rentable para un reciclaje. Debido a lo anterior se crea la Política Nacional para la Gestión

Integral de los Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos del año 2017, en la cual se incluyen los principios de la gestión integral de los residuos, la responsabilidad extendida del productor, la producción y el consumo sostenible, y la participación activa por parte de los distintos sectores involucrados (Brouwer, 2011).

2.3.Marco normativo

Dentro de marco legal se nombraron las normativas vigentes relacionadas al manejo de residuos eléctricos de paneles solares en Colombia en la siguiente tabla.

Tabla 1

Marco normativo que rige el manejo de paneles solares en Colombia.

Normativa	Entidad reguladora	Descripción
TC 24 de 2009	Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC)	Guía para la separación en la fuente. Gestión Ambiental.
NTC 2775 de 2005	ICONTEC	Energía Solar Fotovoltaica: Terminología y definiciones.
Decreto 284 de 2018	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	Reglamentar la GIR de los RAEE, para prevenir y minimizar los impactos adversos al medio ambiente

GTC 86 de 2003	ICONTEC	Guía para la implementación de la Gestión Integral de Residuos Sólidos – GIR
Política Nacional para la Gestión Integral de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE) de 2017	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	Marco Estratégico. 4.2.1. Promover la gestión integral de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE), armonizando las acciones de los diferentes actores involucrados, las políticas sectoriales y fortaleciendo los espacios de coordinación interinstitucional y de participación ciudadana, para contribuir al desarrollo sostenible.
Decreto Único Reglamentario 1076 de 2015	Secretaría Jurídica Distrital	Título 7A. Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos. Artículo 2.2.7A.1.1. El presente título tiene por objeto reglamentar la gestión integral de los Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE), con el fin de prevenir y minimizar los impactos adversos al ambiente.
Decreto 4741 de 2005	Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial	Reglamentación de la prevención y manejo de los residuos o desechos peligrosos generados en el marco de la gestión integral

Fuente: información normativa tomada de guía para la disposición de paneles solares (Bernal Aparicio, 2022).

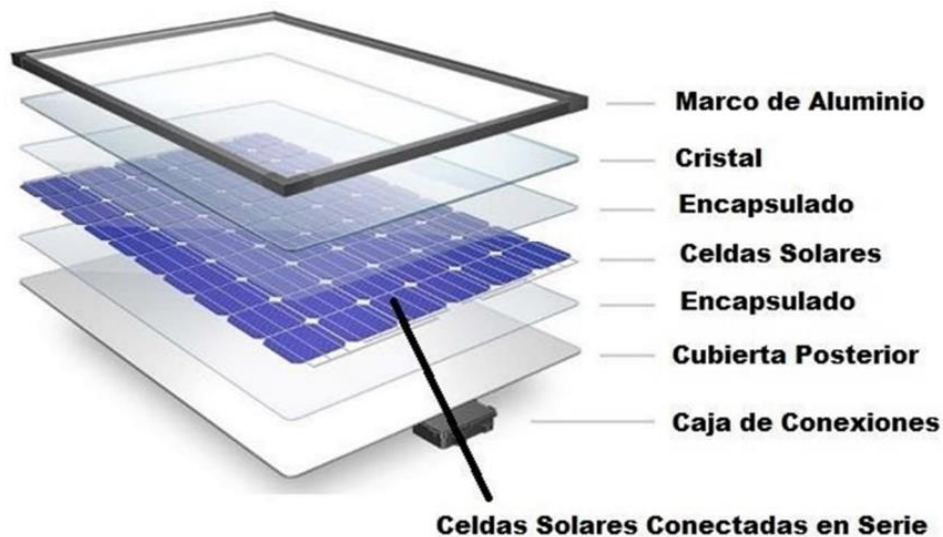
2.4.Marco conceptual

Explica los componentes que se pueden reciclar, desde un punto de vista económico son las cajas de conexiones, el vidrio, el silicio y los metales Cobre (Cu), Plata (Ag). El Aluminio (Al) de los módulos FV son de interés para el reciclaje. Asimismo la Plata (Ag), el Silicio (Si), el Cobre (Cu) y el vidrio un alto valor de reciclaje, según el precio determinado por la oferta y la demanda del mercado (Gualdron Rodríguez, 2023).

Dentro del marco conceptual se tomo como referencia algunos de los términos o conceptos claves que son indispensables para tener claridad de su significado, entre ellos:

Figura 1

Partes de un panel solar fotovoltaico constituido por muchas celdas.



Fuente: Partes del panel solar, información tomada de empresa, (SOLICLIMA, 2024).

Aprovechamiento de RAEE: Cualquier proceso que conduzca a recuperar el valor remanente o el poder calorífico de los residuos, mediante operaciones de recuperación de los

componentes o materiales presentes en los residuos o el reciclaje, con el objeto de destinarlos a los mismos fines a los que se destinaban originalmente o a otros procesos (MADS, 2017). Es el sistema de recolección y gestión de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos.

Celda fotovoltaica: Dispositivo básico que genera electricidad por el efecto fotovoltaico cuando es expuesto a energía radiante tal como la luz solar (ICONTEC, 2005). Se interpreta que es la unidad mínima de un panel solar, compuesto de muchas celdas.

Figura 2

Parque solar fotovoltaico la loma en departamento del Cesar toma área de 22 subcampos.



Fuente: Pfv la loma, información tomada de empresa Soltec Trackers, (Pacheco, 2023).

Energía solar: La energía solar es la energía proveniente del sol, la cual es creada por el choque de protones de átomos de hidrógeno y el núcleo del sol, generando helio y por ende, elevando la temperatura, de modo que se emite energía (NATIONAL GEOGRAPHIC, 2010).

Colombia cuenta con un alto índice de radiación solar, que en la costa caribe es ideal para las plantas solares.

Energía solar fotovoltaica: E es aquella que se obtiene al convertir la luz solar en electricidad empleando una tecnología basada en el efecto fotoeléctrico. Se trata de un tipo de energía renovable, inagotable y no contaminante que puede producirse en instalaciones que van desde los pequeños generadores para autoconsumo hasta las grandes plantas fotovoltaicas (Iberdrola, 2024).

Figura 3

Parque solar fotovoltaico la loma en departamento del Cesar.



Fuente: Muestra de seguidor solar, autoría propia, empresa Soltec Trackers (Rodríguez, 2023).

Panel solar: Un panel fotovoltaico consiste en una red de células fotoeléctricas conectadas como circuito en serie para aumentar la tensión de salida hasta el valor deseado, a la vez que se conectan varias redes como circuito paralelo para aumentar la corriente eléctrica que es capaz de proporcionar el dispositivo. La vida útil media a máximo rendimiento se sitúa en torno a los 25 a

30 años, se evidencia que la vida útil del panel es bastante prolongada, a menos que sufra fallas en su utilización o rupturas en sus cristales ocasionando bajo rendimiento (EDP Energía, 2024).

Residuo o desecho peligroso: Es aquel residuo o desecho que por sus características corrosivas, reactivas, explosivas, tóxicas, inflamables, infecciosas o radiactivas puede causar riesgo o daño para la salud humana y el ambiente. Se considera residuo o desecho peligroso los envases, empaques y embalajes que hayan estado en contacto con ellos (MAVDT, 2022).

Figura 4

Parque solar fotovoltaico la loma paneles en plan de disposición final.



Fuente: Paneles golpeados, autoría propia, empresa Soltec Trackers (Rodríguez, 2023).

Residuo sólido aprovechable: Es cualquier material, objeto, sustancia o elemento sólido que no tiene valor de uso directo o indirecto para quien lo genere, pero que es susceptible de incorporación a un proceso productivo (MINAMBIENTE, 2018). La estructura general del panel en su gran mayoría se compone de estos residuos aprovechables como el aluminio y el vidrio.

3. METODOLOGÍA

3.1. Enfoque y alcance de la investigación

El enfoque del proyecto fue tipo investigativo exploratorio cualitativo que tiene como objetivo principal comprender o explicar el comportamiento de un grupo, fenómeno, hecho o tema específico. Este tipo de investigación fue utilizada como modelo para la aplicación en el mundo empresarial de las energías renovables, y de esta forma comprender las percepciones e interacciones de grupos específicos en torno a nuevas ideas de productos, servicios o para probar iniciativas que para este caso brindaron una solución a una compañía en particular pero que puede ser adoptada en otros parques solares. Este tipo de investigación documental o bibliografía según (QuestionPro, 2024) nos permitió acceder a información rica en contenido sobre cómo se pensaba acerca de ciertas ideas o propuestas, brindando perspectivas valiosas para la toma de decisiones empresariales, que para este caso, se centra en realizar una revisión bibliográfica sobre la disposición final del ciclo de vida de paneles solares para Soltec Trackers, el propósito es identificar, analizar y evaluar diferentes propuestas de estrategias concretas que podrían ser adoptadas en un plan para mejorar este proceso.

Con el fin de cumplir con los objetivos propuestos en el trabajo, se establecieron tres diferentes etapas conforme a cada objetivo propuesto:

3.1.1. Objetivo específico 1: *Identificar los componentes que conforman los paneles solares implementados en la organización.*

Actividad 1.1: Se llevó a cabo una revisión analítica de los componentes reciclables que integran los paneles solares, así como de los tipos principales que se comercializan en el

mercado. Se identificaron aquellos que son utilizados por la organización, marcando el inicio de la primera etapa investigativa del proyecto. Para ello, se estudiaron las fichas técnicas de los paneles solares fotovoltaicos empleados en la etapa constructiva. Con esta información inicial, fue posible extraer e identificar los componentes que conforman cada modelo de módulo fotovoltaico en general.

3.1.2.Objetivo específico 2: *Analizar las normativas existentes asociadas al contexto de los residuos eléctricos de paneles solares fotovoltaicos después de cumplir su utilidad.*

Actividad 2.1: Para desarrollar el segundo objetivo se utilizó revisión bibliográfica, asociando distintas variables presentes en la normatividad colombiana. Donde se utilizaron leyes, normas, decretos, informes técnicos y resoluciones relacionadas a los residuos de los paneles solares fotovoltaicos y aparatos eléctricos y electrónicos. Se tomó como referencia, la información de distintas bases de datos de entidades ambientales emisoras de las legislaciones correspondientes.

3.1.3.Objetivo específico 3: *Evaluar técnicamente las diferentes alternativas para una correcta gestión de los residuos provenientes de paneles solares.*

Actividad 3.1: Se evaluaron propuestas como alternativas de mecanismos de gestión para el aprovechamiento y disposición final de paneles solares en Colombia, a partir de la identificación de los componentes que conforman los paneles solares implementados en la organización, con esto obtendremos un panorama de las diferentes alternativas de manejo, que podría utilizar la organización en vista de la problemática propuesta.

Reuniendo todos los elementos propuestos para presentar un reglamento técnico que sirve de apoyo para la normativa vigente colombiana en materia de gestión de residuos, con un enfoque específico hacia los residuos de paneles solares.

3.2.Población y muestra

3.2.1.Definición de la población

La población a la cual fue dirigida la investigación o temática, hace parte del sector de la energía solar fotovoltaica en Colombia y su relación directa con los desechos de los módulos solares fotovoltaicos que se encuentra con un crecimiento exponencial. Se espera que el tamaño del mercado colombiano de energía solar en términos de base instalada crezca de 1,48 gigavatios en 2024 a 12,85 gigavatios para 2029, a una tasa compuesta anual del 54,06% durante el período previsto (2024-2029) (Mordorintelligence, 2024). La capacidad instalada de energía solar fotovoltaica aumentó significativamente en los últimos años en el país. Según la Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA, 2024).

3.2.2.Cálculo y selección de la muestra

La muestra se fundamentó en una investigación bibliográfica relacionada con las diversas metodologías empleadas para la disposición final del ciclo de vida de los paneles solares en el mercado de la energía solar fotovoltaica. Se revisaron proyectos de grado, artículos, informes y sitios web reconocidos a nivel nacional e internacional que se ocupan de abordar este tipo de problemas, los cuales se están volviendo cada vez más comunes debido al crecimiento en el sector de las energías renovables (Quinchia, 2023).

3.3.Instrumento(s)

El instrumento utilizado fue biografías y documentos, que me permitieron focalizarme en comprender o explicar el comportamiento de un grupo de fenómenos, un hecho o un tema donde

se llevó a cabo una extensa revisión bibliográfica en la que se generó un plan de disposición final, todas las biografías y documentos utilizados están disponibles y son de acceso público en diversos sitios web o repositorios universitarios (Analuca, 2023).

3.4.Descripción de procedimientos

Durante las diversas consultas realizadas a las biografías y documentos, lleve a cabo una investigación cualitativa para recopilar información. Esta investigación sirvió como base para identificar, analizar y evaluar un plan de disposición final del ciclo de vida de los paneles solares para Soltec Trackers en La Loma, Cesar, en 2024. Como parte del procedimiento, se estudió el tema en profundidad, centrándonos en situaciones, contextos y sucesos relacionados con el impacto de los desechos tecnológicos provenientes del uso de energía solar, específicamente de los módulos solares. Esto nos permitió comprender plenamente la problemática según fuentes de información relacionadas que han enfrentado el mismo problema. Lo anterior aplica puesto que, de acuerdo con (Merriam, 1988), se busca describir los factores y las características de las políticas públicas o privadas, y dar explicación acerca de las consecuencias sobre su capacidad de solucionar los problemas de las comunidades. Esta idea coincide con el criterio que opina que esta clasificación de estudios hace énfasis en el fenómeno contextualizado dentro de la cotidianidad, aplicada en el sector de la energía solar fotovoltaica (Quiroz Henao, 2023).

3.5.Análisis de información

De acuerdo con (Sanchez, 2001), los procesos de investigación aprovechan los cánones que se generan a partir de la revisión de la bibliografía consultada profundizando en sus detalles, características y particularidades, que permiten describir las categorías y las subcategorías en

relación con la caracterización de un problema, a fin de complementar el contenido hallado para su estudio. En ese orden de ideas, se realizó una investigación documental que atendiendo al criterio de (Bavaresco, 2006), se refiere a la interpretación de textos y la creación de nuevas teorías basadas en esa interpretación (Quiroz Henao, 2023). La información usada en esta investigación tiene en cuenta trabajos de investigación anteriores, información consultada en fuentes electrónicas especializadas y trabajos investigativos de los diferentes repositorios que nos brinda Google académico y sitios web.

3.6.Consideraciones éticas

3.4.1.Análisis de consideraciones éticas

Para el proyecto de investigación desarrollado anteriormente, se respetó la información considerada confidencial para la empresa y se utilizó únicamente aquella que contaba con la aprobación correspondiente. Se identificó una problemática común y se propuso una solución mediante el plan de disposición, garantizando el respeto a los derechos de autor y la confidencialidad de la información. Todas las fuentes bibliográficas utilizadas fueron obtenidas de repositorios universitarios, el buscador de Google Académico y sitios web de acceso público. Es importante señalar que este documento fue creado como un proyecto de investigación para la corporación UNIMINUTO. No se llevaron a cabo experimentos con seres vivos que pudieran plantear cuestiones éticas (UNIMINUTO, 2024).

3.4.2.Instrumentos de aceptación y autorización

El desarrollo de este proyecto de investigación fue aceptado y respaldado por la empresa Soltec Trackers, específicamente por el Project Manager encargado de la construcción de la

planta en La Loma en 2024, así como por el Quality Manager en Colombia de Soltec. Ambos son mis jefes inmediatos y me brindaron la autorización necesaria en el marco del proceso educativo llevado a cabo en UNIMINUTO.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1.Objetivo específico 1: *Identificar los componentes que conforman los paneles solares implementados en la organización.*

4.1.1.Resultados actividad 1.1: Para llevar a cabo la actividad se tomaron como referencia tablas donde se identificaron las características de los módulos solares utilizados, así como los componentes que los conforman.

Los paneles solares utilizados en el proyecto fotovoltaico La Loma construido por Soltec Trackers a su cliente EGP, fueron de dos tipos 1 de 460W (*Tabla 2*)(*Anexo 1*) y tipo 2 de 540W (*Tabla 3*)(*Anexo 2*) que se describen a continuación.

Tabla 2

Características del panel solar tipo 1 de 430w bifacial.

Información genera del panel	
Marca y celdas	Jinko Solar de 144 celdas, bifacial
Modelo	JKM460M-7RL3-TV
Dimensiones	2205 X 1032 X 35 (mm)
Peso	25Kg
Protección	Clase 2, IP68

Vidrio delantero	Alta transmisión, vidrio ARC, templado
Información eléctrica	
Potencia	460 W
Tolerancia	+/- 3 %
Máximo voltaje	43.32 V
Máxima corriente	10.62 A
Voltaje de circuito abierto	51.90 V +/- 3 %
Corriente de circuito abierto	11.35 A +/- 3 %
Máximo sistema de voltaje	1500 V
Máxima serie	25 A
Temperatura de operación	-40 °C hasta +85°C

Fuente: tabla de autoría propia, información del panel tomada de (Summasolar, 2023).

Figura 5

Parque solar fotovoltaico la loma, arreglo de paneles solares de 460W bifaciales.



Fuente: autoría propia, empresa Soltec Trackers (Rodríguez, 2023).

Tabla 3

Características del panel solar tipo 2 de 540w bifacial.

Información general del panel	
Marca y celdas	Jinko Solar de 144 celdas, bifacial
Modelo	JKM540M-72HL4-BDVP
Dimensiones	2278 X 1134 X 30 (mm)
Peso	32Kg
Protección	Clase 2, IP68
Vidrio delantero	Alta transmisión, vidrio ARC, templado
Información eléctrica	
Potencia	540 W
Tolerancia	+/- 3 %
Máximo voltaje	41.13 V
Máxima corriente	13.13 A
Voltaje de circuito abierto	49,73 V +/- 3 %
Corriente de circuito abierto	13,89 A +/- 4 %
Máximo sistema de voltaje	1500 V
Máxima serie	30 A
Temperatura de operación	-40 °C hasta +85°C

.Fuente: tabla de autoría propia, información del panel tomada de (Menlo, 2023).

Luego de establecer las características de los dos tipos de paneles que se utilizaron, se identificaron los componentes que lo conforman (*figura 1*) para comprender que tipos de materiales contienen en cada una de sus capas (*Tabla 4*) y como tabla adicional los componentes que conformar la fabricación de este modelo de paneles solares (*tabla 5*).

Tabla 4*Componentes que conforman los paneles solares en la organización*

Capa	Nombre	Materiales	Elementos
1	Vidrio protector	Vidrio templado	Sodio
			Calcio
			Sílice
			Hierro
2	Encapsulante	Polímero de etil-vinil-acetato	Etileno
			Acetato de vinilo
			Silicio
			Plata
3	Celdas solares	Cintas metálicas	Aluminio
			Plomo
			Estaño
4	Cubierta posterior	Subcapa 1:	Polivinilo fluoruro
		Subcapa 2:	Tereftalato de polietileno
		Subcapa 3:	Polivinilo fluoruro
5	Marco	Aluminio anodizado	Aluminio
6	Cubierta final	Polifenil éter	Polifenil éter

Fuente: tabla tomada de (Bonilla, 2016).**Tabla 5***Componentes para fabricación de un panel fotovoltaico de silicio policristalino en China*

Capa composición	Material	Material seleccionado en SimaPro	Masa vida útil (kg)
Cubierta frontal	Vidrio	Solar glass, low-iron {RoW} production Alloc def, U	8.81
Marco	Aluminio Anodizado	Aluminium alloy, AlMg3 {RoW} production Alloc def, U	2.13
	Silicona	Silicone product {RoW} production Alloc def, U	0.061
Capas intermedias	Silicio	Photovoltaic cell, multi-Si wafer {RoW} production Alloc def, U	1.496
	Estaño	Tin {RoW} production Alloc def, U	0.0129
	Plomo	Lead {GLO} primary lead production from concentrate Alloc def, U	0.000725
	Diodo	Diode, 4luxiliaries and energy use {GLO} production Alloc def, U	0.00281
	Etil Vinil Acetato	Ethylvinylacetate, foil {RoW} production Alloc def, U	0.875
	Aluminio	Aluminium, primary, ingot {RoW} production Alloc def, U	0.103
Cubierta posterior	Polietileno, HDPE	Polyethylene, high density, granulate {RoW} production Alloc def, U	0.0238
	Tereftalato de Polietileno	Polyethylene terephthalate, granulate, amorphous {RoW} production Alloc def, U	0.349
	Polivinilo de Fluoruro	Polyvinylfluoride, film {RoW} production Alloc def, U	0.112
Caja de conexiones	Óxido de Polifenileno	Glass fibre reinforced plastic, polyamide, injection moulded {RoW} production Alloc def, U	0.295
	Silicona	Silicone product {RoW} production Alloc def, U	0.061
Embalaje	Cartón	Corrugated board box {RoW} production Alloc def, U	0.763
Material auxiliar	Propanol	1-propanol {RoW} production Alloc Def, U	0.0159
	Paleta Plana	EUR-flat pallet {RoW} production Alloc Def, U	0.05
	Fluoruro de Hidrogeno	Hydrogen fluoride {GLO} production Alloc Def, U	0.0624
	Isopropanol	Isopropanol {RoW} production Alloc Def, U	0.000147
	Hidróxido de Potasio	Potassium hydroxide {RoW} production Alloc Def, U	0.0514
	Agua	Water, deionised, from tap water, at user {RoW} production Alloc Def, U	5.03

Fuente: tabla tomada de (Bonilla, 2016).

4.2.Objetivo específico 2.1: *Analizar las normativas existentes asociadas al contexto de los residuos eléctricos de paneles solares fotovoltaicos después de cumplir su utilidad.*

4.2.1.Resultados Actividad 2.1: Se utilizó una revisión bibliográfica, asociada a distintas variables presentes en la normatividad colombiana sobre la disposición final de paneles solares.

Tabla 6

Marco normativo para la disposición final de residuos eléctricos y electrónicos.

Norma	Año	Descripción
Constitución	1991	Principios fundamentales, derecho colectivo a gozar de un ambiente sano y deber del Estado de proteger la diversidad y la integridad del ambiente
Ley 1715	2014	Integración de las energías renovables no convencionales al sistema interconectado nacional
Decreto 2469	2014	Lineamientos sobre excedentes de autogeneración
Decreto 2492	2014	Promoción de la gestión eficiente de la energía
Decreto 1623	2015	Expansión de la cobertura del servicio eléctrico
Resolución 281	2015	Límites de potencia de la autogeneración eléctrica
Decreto 348	2017	Gestión eficiente de la energía y entrega de excedentes
Resolución 030	2018	Regulación de la autogeneración a pequeña escala y la generación distribuida en el sistema interconectado nacional
Resolución 098	2019	Mecanismos de incorporación de sistemas de almacenamiento al sistema interconectado nacional
Resolución 060	2019	Ajustes al reglamento de operación para la conexión y la operación de plantas fotovoltaicas conectadas al sistema interconectado nacional
Resolución 002	2021	Regular aspectos operativos y comerciales para incorporar los autogeneradores a pequeña escala al Sistema Interconectado Nacional
NTC-2050	2020	Lineamientos técnicos sobre los riesgos del uso de la electricidad

Norma	Año	Descripción
Ley 143	1994	Generación, interconexión, transmisión, distribución y comercialización de electricidad en Colombia
Ley 697	2001	Uso racional y eficiente de la energía, y utilización de energías alternativas
NTC-1736	2005	Nomenclatura asociada a la energía solar fotovoltaica

Fuente: tabla tomada como referencia de marco normativo de (Quiroz Henao, 2023).

En Colombia, los paneles solares fotovoltaicos, considerados residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE) de tipo industrial según la Resolución 0851 de 2022, requieren regulaciones específicas para su adecuada gestión una vez finalizado su ciclo de vida (Minambiente, 2024). Sin embargo, actualmente en el país hay una falta de normativas que aborden esta responsabilidad, dejando un vacío en cuanto a su disposición final y tratamiento.

En el país, en el año 2019, el Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas (IPSE), adscrito al Ministerio de Minas y Energía, emitió el Documento de Manejo Ambiental para proyectos que involucran sistemas fotovoltaicos en la Zona No Interconectada (ZNI) 41. Este documento detalla el proceso para identificar y evaluar los impactos sociales y ambientales de los proyectos fotovoltaicos en todas sus etapas: desde la planificación hasta la operación y construcción. Además, describe las actividades y acciones necesarias a desarrollar para mitigar estos impactos. (IPSE, 2024).

La problemática se agrava, ya que en Colombia no hay normativas que aborden de manera integral las soluciones fotovoltaicas. En el caso de los residuos de paneles solares fotovoltaicos, la responsabilidad de tratamiento recae en el interventor, quien debe cumplir con

la normativa aplicable. Sin embargo, las regulaciones actuales sobre Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE) carecen de especificaciones específicas para los paneles solares fotovoltaicos (Minambiente, 2024). Aunque las celdas fotovoltaicas recientemente fueron clasificadas como residuos peligrosos, el sistema completo de paneles solares no lo fue. Esto deja un vacío en los procedimientos para gestionar los residuos sólidos de los paneles solares fotovoltaicos al finalizar su vida útil (Gualdron Rodríguez, 2023).

Con respecto a la normativa mencionada anteriormente sobre las celdas solares, se hace referencia a la Resolución 0851 de 2022, emitida por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Esta resolución marca la primera vez que los paneles solares son incluidos en la clasificación de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE) para Colombia (Minambiente, 2022). Estos paneles solares están ubicados en el ítem 463 del Anexo 1, Lista de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (AEE), de acuerdo con la denominación del Sistema Armonizado de Designación y Codificación de Mercancías (SA) vigente y su equivalencia según la Clasificación Central de Productos (CPC) vigente. Se clasifican en la categoría de "electrónica y equipos de telecomunicaciones", con una subcategoría de "componentes electrónicos", bajo la Subpartida Arancelaria 8541401000 y la Clasificación Central de Productos adaptada para Colombia - CPC: "47150 Diodos, transistores y dispositivos semiconductores similares; dispositivos semiconductores fotosensibles; diodos emisores de luz; cristales piezoeléctricos montados" (Gualdron Rodríguez, 2023).

Sin embargo, hay una importante laguna normativa en este aspecto debido a que los productores no están cumpliendo con las obligaciones establecidas en la misma Resolución. Además, los requisitos planteados no imponen una obligación de cumplimiento específica para los paneles solares fotovoltaicos. Esta falta de regulación se evidencia en los distintos productores de

paneles solares fotovoltaicos para Colombia, como Risen Energy Co. Ltd, JinkoSolar Holding Co. Ltd, Suntech y ChintEnergy. Hasta el momento, ninguno de ellos ha establecido un protocolo para la disposición de materiales y equipos al finalizar el ciclo de vida de los paneles solares fotovoltaicos, lo que constituye un incumplimiento de una de las responsabilidades de los productores establecidas en la Ley 1672 de 2013 (Congreso de la republica, 2013).

Las obligaciones del productor están definidas en el Artículo 6° del “Capítulo IX: De las responsabilidades y obligaciones” de la Ley 1672 de 2013. Es crucial destacar que ninguna de estas obligaciones se cumple totalmente en el caso de los productores de paneles solares fotovoltaicos. Esto se debe a la falta de garantías para el manejo adecuado de los residuos peligrosos generados por estos paneles, así como a la ausencia de un protocolo establecido con gestores autorizados en el país para el aprovechamiento de sus distintos componentes (Congreso de la republica, 2013). Además, en lo referente a la responsabilidad extendida del productor, no se cumple con el establecimiento de un sistema de recolección y gestión ambientalmente segura de los residuos generados por cada productor en el mercado (Gualdron Rodríguez, 2023).

Considerando el Artículo 6° del “Capítulo IX: De las responsabilidades y obligaciones” de la Ley 1672 de 2013, se sugieren los siguientes lineamientos para mejorar el cumplimiento del manejo y gestión integral de los Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE) asociados a los paneles solares fotovoltaicos:

Comercializadores: Deben asegurarse de que los productos que venden cumplan con las normativas ambientales y de manejo de residuos. Además, podrían ofrecer programas de devolución o recogida de paneles solares usados para su posterior tratamiento adecuado (Congreso de la republica, 2013).

Usuarios: Es importante promover la educación y concienciación sobre la disposición adecuada de los paneles solares fotovoltaicos al final de su vida útil. Los usuarios deben ser informados sobre los riesgos ambientales de desechar los paneles de manera inapropiada y alentados a participar en programas de recogida y reciclaje (Minambiente, 2024).

Gestores: Se deben establecer gestores autorizados y capacitados para la recolección, transporte, tratamiento y disposición final de los residuos de paneles solares fotovoltaicos. Estos gestores deben cumplir con todas las normativas ambientales y de seguridad pertinentes (Minambiente, 2022). Estas sugerencias buscan promover una mayor coordinación y colaboración entre todos los actores involucrados en el ciclo de vida de los paneles solares fotovoltaicos, con el fin de garantizar un manejo ambientalmente responsable de los RAEE y reducir los impactos negativos en el medio ambiente (Gualdron Rodríguez, 2023).

4.3.Objetivo específico 3: *Evaluar técnicamente las diferentes alternativas para una correcta gestión de los residuos provenientes de paneles.*

4.3.1.Resultado actividad 3.1: Se evaluaron propuestas como alternativas de mecanismos de gestión para el aprovechamiento y disposición final de paneles solares en Colombia, a partir de los componentes se proponen varias alternativas como “*plan de disposición final del ciclo de vida de paneles solares para Soltec Trackers en La Loma - Cesar 2024*”.

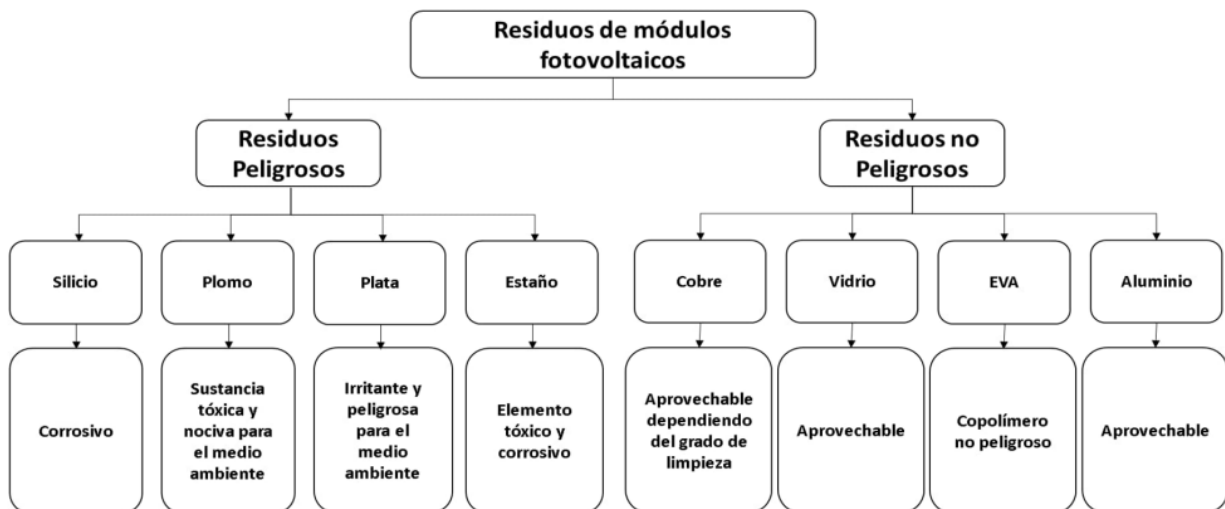
4.3.1.1.Reciclaje de paneles solares

Los paneles solares tienen una vida útil prolongada, pudiendo generar energía durante hasta 30 años. Además, los diversos materiales de sus componentes son altamente reciclables,

con un potencial de reciclaje de hasta el 90%. Esto contribuye significativamente a la sostenibilidad de la energía solar como fuente limpia y renovable. Es importante destacar que el reciclaje de los paneles solares no implica su reutilización directa, ya que los paneles usados raramente alcanzarán el mismo rendimiento que los nuevos. Más bien, el reciclaje se centra en aprovechar los materiales de los que están hechos los módulos, principalmente vidrio y aluminio. Esto asegura una gestión responsable de los residuos al final de su vida útil, minimizando así su impacto ambiental y promoviendo la economía circular (Bernal Aparicio, 2022).

Figura 6

Clasificación de los residuos de los paneles fotovoltaicos



Fuente: tomado de (Quiroz Henao, 2023).

4.3.1.2. Reciclaje mecánico

La primera técnica de reciclaje empleada es de naturaleza mecánica, implica moler el panel solar, liberándolo de su marco, para luego someterlo a procesos químicos adicionales, este proceso de trituración tiene como objetivo principal extraer los materiales del panel, que luego

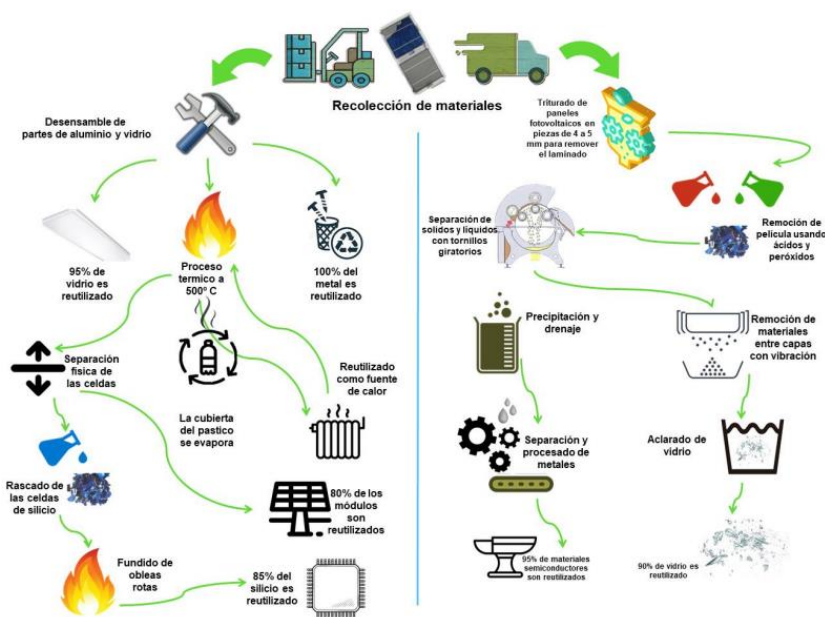
son procesados para obtener materiales secundarios utilizables en otras aplicaciones (Quiroz Henao, 2023).

4.3.1.3. Reciclaje térmico

La técnica estándar de reciclaje se fundamenta en el tratamiento térmico, que implica la quema de los plásticos para separar las células del vidrio, constituyendo aproximadamente el 80% del panel. Luego, se aplican diversos procesos químicos para eliminar cualquier capa anti reflejante presente y separar los contactos metálicos. Además, los materiales semiconductores, como las obleas de silicio, son recuperados para su reutilización. Es importante destacar que este material puede ser reciclado hasta cuatro veces, lo que subraya su valor de sostenibilidad y economía circular (Quiroz Henao, 2023). Ambos procesos se realizan en plantas de reciclaje.

Figura 7

Proceso de reciclaje térmico y mecánico como plan de disposición



Fuente: tomado de (Quiroz Henao, 2023).

De los dos procesos de reciclaje más comunes utilizados en la actualidad, el proceso mecánico y el proceso térmico, se ha observado una similitud notable en los porcentajes de recuperación de materiales después del reciclaje. Sin embargo, en la (tabla 7) se puede apreciar que en el proceso mecánico se logra una recuperación de material semiconductor un 10% mayor. Es importante tener en cuenta que este incremento puede atribuirse al proceso de trituración aplicado específicamente a las células de película delgada, lo cual marca la diferencia con los paneles basados en silicio.

Tabla 7

Porcentaje comparativo de los 2 procesos de reciclaje

Material	Proceso Térmico	Proceso Mecánico (Trituración)
	% reciclado	Material
Metales	100%	100%
Vidrio	95%	90%
Aluminio modular	80%	80%
Silicio y Materiales semiconductores	85%	95%

Fuente: tabla tomada de (Bonilla, 2016).

4.3.2. Diagnóstico general de la gestión de residuos

La empresa Energía Integral Andina S.A. cuenta con un Programa de Gestión Integral de Residuos Sólidos Convencionales y un Programa de Gestión Integral de Residuos Peligrosos. El Programa de Residuos Sólidos Convencionales tiene como objetivo establecer mecanismos y

acciones para reducir, reciclar y reutilizar residuos que puedan ser aprovechados debido a sus características. Este programa se aplica en todas las sedes de Energía Integral Andina S.A., excepto en la Planta de fabricación de baterías industriales ubicada en Manizales, Caldas. Para su desarrollo, se han definido una serie de actividades que incluyen el diagnóstico actual de residuos, la recolección interna, el manejo de residuos aprovechables y no aprovechables, la separación en la fuente, el cambio de bolsas en los puntos ecológicos, la reducción del consumo de papel, la caracterización de los residuos y la gestión de los escombros generados durante estos procesos. Además, se contempla una actualización y revisión periódica del programa en ejecución. Estas actividades deben llevarse a cabo para alcanzar los indicadores ambientales establecidos para el año en curso (EIASA, 2024).

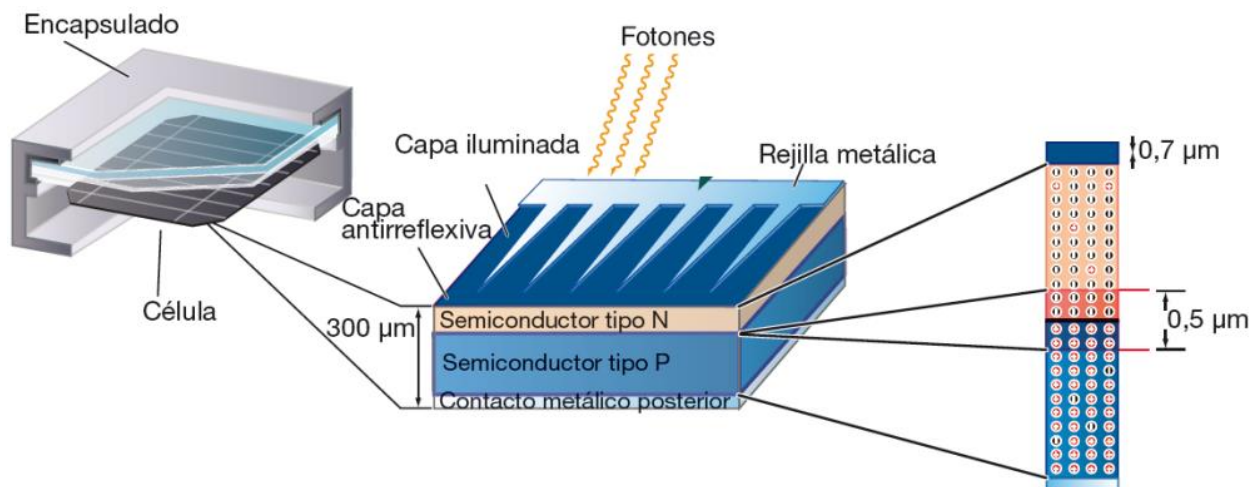
Posteriormente, se procede al tratamiento correspondiente, que implica un desensamblaje utilizando métodos manuales y térmicos. Se da prioridad a aquellos métodos que generan menores gastos económicos, considerando las características de los procesos involucrados. Se realizó una comparación basada en proyectos anteriores que emplearon exclusivamente uno de los dos métodos mencionados. La elección exclusiva del método térmico conlleva impactos ambientales significativos, como un alto consumo de energía y costos elevados asociados a la adquisición de equipos y la importación de tecnología necesarios para la prueba piloto que se llevará a cabo (Hylský, 2017).

El desensamble contará con apoyo de personal técnico con conocimiento en el manejo de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE); en primera instancia se extrae el total del marco de aluminio de forma manual, con el objeto de obtener el vidrio convencional junto a las celdas solares. La separación consistirá en la aplicación de calor en un horno industrial por 48 horas, a una temperatura de 70°C y así lograr llegar al punto de fusión del EVA para su

desprendimiento. La capacidad y diseño del horno estará sujeto a las dimensiones de los paneles, dado el caso que para proyectos del año 2010 a 2015 se trabajará con dimensiones distintas a los que se trabajan e instalan hoy en día (Rodríguez Blanco, 2018).

Figura 8

Características de una celda solar fotovoltaica.



Fuente: tomado de (Rodríguez Blanco, 2018).

4.4.1. Resultados bibliográficos

En el marco de esta investigación bibliográfica centrada en las metodologías de disposición de paneles solares, se consultó una amplia gama de fuentes relacionadas, principalmente en el ámbito de las energías renovables. Se recopiló un total de 46 referencias bibliográficas (*tabla 8*), detalladas en una tabla, que abarcan diversos formatos y fuentes. Específicamente, se han incluido 17 referencias provenientes de páginas web, 9 de documentos web, 7 de proyectos de investigación obtenidos de repositorios institucionales, así como 6 artículos web y 3 figuras relevantes para el estudio. Con esta información se elaboró el plan de disposición final previamente descrito.

Tabla 8

Bibliografías consultadas en la investigación para diseñar el plan de disposición final.

Referencia bibliográfica	Tipo	Referencia bibliográfica	Tipo
(Analuca, 2023)	Artículo web	(Quiroz Henao, 2023)	Proyecto de investigación
(Bavaresco, 2006)	Documento web	(Ramirez Agudelo, 2018)	Proyecto de investigación
(Bernal Aparicio, 2022)	Proyecto de investigación	(Rodriguez Blanco, 2018)	Proyecto de investigación
(Bonilla, 2016)	Proyecto de investigación	(Rodriguez, 2023)	Figura web
(Brouwer, 2011)	Documento web	(SOLICLIMA, 2024)	Figura web
(Clavijo, 1982)	Documento web	(SOLTEC TRACKERS, 2024)	Página web
(Congreso de la republica, 2013)	Página web	(Sanchez, 2001)	Documento web
(EDP Energia, 2024)	Página web	(Summasolar, 2023)	Documento web
(EIASA, 2024)	Página web	(UNIMINUTO, 2024)	Página web
(Enel Green Power, 2021)	Página web	(MINAMBIENTE, 2018)	Artículo web

(Enel Green Power, 2024)	Página web	(Menlo, 2023)	Documento Web
(Gualdron Rodríguez, 2023)	Proyecto de investigación	(Merriam, 1988)	Artículo web
(Holger, 2022)	Artículo web	(Minambiente, 2022)	Artículo web
(Hylský, 2017)	Página web	(Minambiente, 2024)	Artículo web
(Iberdrola, 2024)	Página web	(Mordorintelligence, 2024)	Página web
(ICONTEC, 2005)	Página web	(NATIONAL GEOGRAPHIC, 2010)	Página web
(IPSE, 2024)	Página web	(Pacheco, 2023)	Figura web
(IRENA, 2016)	Documento web	(QuestionPro, 2024)	Página web
(IRENA, 2022)	Documento web	(Quinchia, 2023)	Página web
(IRENA, 2024)	Página web	(MADS, 2017)	Página web
(M. Sierra Céspedes, 2020)	Proyecto de investigación	(MAVDT, 2022)	Documento web

Fuente: elaboración propia.

5. CONCLUSIONES

El proyecto de investigación previo concluyó exitosamente al haber logrado alcanzar el objetivo general establecido. Se propuso un plan de disposición final para el ciclo de vida de paneles solares destinados a Soltec Trackers en La Loma, Cesar, para el año 2024. Este trabajo investigativo ha generado un aporte significativo tanto a la organización como al país en general en términos de gestión, normativa y conocimiento sobre cómo establecer directrices para abordar un problema que, en el futuro, podría generar inconvenientes en el entorno ambiental y económico de cualquier organización.

Durante el desarrollo del proyecto, se llevaron a cabo la identificación y descripción de los componentes que conforman los paneles solares implementados en la organización, detallando sus datos técnicos y físicos. Posteriormente, se realizó un análisis exhaustivo de las normativas existentes relacionadas con los residuos eléctricos de paneles solares fotovoltaicos una vez que han cumplido su vida útil. Este análisis reveló que en Colombia, la regulación aún se encuentra en proceso de formación y que la normativa actual no especifica claramente cómo deben gestionarse estos residuos, especialmente debido al crecimiento acelerado del sector de energías renovables y la entrada de un nuevo sector energético en el país.

Finalmente, se llevó a cabo una evaluación técnica de diversas alternativas para la gestión adecuada de los residuos derivados de los paneles solares, lo que permitió establecer un plan de disposición final que la empresa podría adoptar y ampliar como solución en posteriores proyectos. Para proponer este plan, se emplearon diversos recursos bibliográficos, lo que garantizó el éxito del proyecto al cumplir con todos los objetivos establecidos.

Referencias

- Analuca, A. (2023). *Issuu*. Obtenido de Métodos, Técnicas e Instrumentos de Investigación Bibliográfica - Documental: https://issuu.com/akanaluca/docs/libro_digital/s/13425285
- Bavaresco, A. (2006). *Proceso metodológico de la investigación: Cómo hacer un diseño de investigación*. Maracaibo: Editorial de la Universidad del Zulia.
- Bernal Aparicio, W. H. (2022). *Guía para la disposición de paneles solares al final de su ciclo de vida en Colombia (Bachelor's thesis, Fundación Universidad de América)*. [Guía de investigación, Fundación Universidad de América]. . Obtenido de Repositorio institucional FUNDACION UNIVERSIDAD DE AMERICA. : <http://repository.uamerica.edu.co/handle/20.500.11839/8894>
- Bonilla, L. (2016). *Análisis del ciclo de vida del proceso de recuperación de un panel fotovoltaico de silicio policristalino en Costa Rica San Jose*. Obtenido de Repositorio Instituto Tecnológico de Costa Rica.: https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/6539/Analisis_ciclo_vida_proceso.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Brouwer, K. A. (2011). *Methods and concerns for disposal of photovoltaic solar panels*. Obtenido de Recuperado el 2018, de Master of science on engineering. San Jose State University : https://www.researchgate.net/publication/345439117_Investigation_and_separation_of_waste_solar_panels

Clavijo, D. G. (1982). Método. En *Metodología y técnicas de la investigación aplicada al derecho*. Bogotá: Grupo Editorial Ibáñez.

Congreso de la republica. (19 de Julio de 2013). *Funcion publica gestor normativo* . Obtenido de Ley 1672 de 2013:

<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=53825#:~:text=Por%20la%20cual%20se%20establecen,y%20se%20dictan%20otras%20disposiciones.>

EDP Energia. (31 de Enero de 2024). *¿Qué vida útil tienen las placas solares?* Obtenido de

<https://www.edpenergia.es/es/blog/energia-fotovoltaica/vida-util-placas-solares/#:~:text=Normalmente%2C%20tienen%20una%20producci%C3%B3n%20garantizada,%C3%BAtil%20de%20un%20panel%20solar.>

EIASA. (2024). *Energia Integral Andina*. Obtenido de Sistema para la Disposición Final de Baterías agotadas y Residuos de Aparatos Eléctricos o Electrónicos:

<https://dispraee.eiasa.com.co:8010/>

Enel Green Power. (15 de Julio de 2021). *Paneles solares sostenibles*. Obtenido de La nueva frontera industrial. Enel Green Power:

<https://www.enelgreenpower.com/es/historias/articles/2021/07/paneles-solares-sostenibles>

Enel Green Power. (2024). *Parque solar La Loma, Colombia*. Obtenido de Planta en construcción por Soltec Trackers y su cliente EGP:

<https://www.enelgreenpower.com/es/proyectos/en-construccion/parque-solar-la-loma>

- Gualdron Rodríguez, N. (2023). *Propuesta de línea base para aprovechar residuos provenientes de paneles solares fotovoltaicos por Enel Colombia. [Trabajo de investigación, Universidad el Bosque]*. Obtenido de Repositorio institucional UNIVERSIDAD EL BOSQUE.: <https://repositorio.unbosque.edu.co/handle/20.500.12495/11018>
- Holger, D. (5 de Mayo de 2022). *El auge de la energía solar creará millones de toneladas de paneles chatarra*. Obtenido de La recolección de materiales valiosos de equipos antiguos presenta una oportunidad comercial y desafíos técnicos:
https://www.wsj.com/articles/the-solar-boom-will-create-millions-of-tons-of-junk-panels-11651658402?mod=hp_minor_pos16
- Hylský, J. (2017). *Methods for recycling photovoltaic modules and their impact on environment*. Obtenido de Recuperado el 2018, de Acta Montanistica Eslovaca.
- Iberdrola. (2024). *Funcionamiento energía solar fotovoltaica*. Obtenido de ¿Cómo funcionan las plantas fotovoltaicas?: <https://www.iberdrola.com/sostenibilidad/que-es-energia-fotovoltaica>
- ICONTEC. (24 de Agosto de 2005). *NTC 2775 de 2005. Terminología y definiciones de la energía solar fotovoltaica*. Obtenido de Recuperado el 2018, de Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. : <https://tienda.icontec.org/gp-energia-solar-fotovoltaica-terminologia-y-definiciones-ntc2775-2005.html>
- IPSE. (2024). *Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas*. Obtenido de <https://ipse.gov.co/transicion-energetica-justa/>

IRENA. (1 de Junio de 2016). *Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA)*.

Obtenido de End-of-life management Solar Photovoltaic Panels: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2016/IRENA_IEAPVPS_End-of-Life_Solar_PV_Panels_2016.pdf?rev=49a75178e38c46288a18753346fb0b09

IRENA. (2022). *Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA)*. Obtenido de

Perspectiva mundial de las transiciones energéticas: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2022/Mar/IRENA_WETO_Summary_2022_ES.pdf?rev=80bee1c07f9c4b139bf81a5c1d1a3553&hash=EC7E78B25B88D877205E457DF5DCF984

IRENA. (2024). *Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA)*. Obtenido de Aumento de capacidad de energía renovables:

<https://www.irena.org/News/pressreleases/2024/Apr/IRENA-Assembly-Centre-Stages-COP28-Outcome-of-Tripling-Renewable-Power-Capacity-by-2030>

M. Sierra Céspedes, C. V.-P. (2 de Julio-Diciembre de 2020). Disposición final e impacto

ambiental de las celdas fotovoltaicas. . *Publicaciones en Ciencias y Tecnología*. , págs. Vol.14, No 74-90. ISSN: 1856-8890. EISSN: 2477-9660. CC BY-NC-SA.

MADS. (2017). *Política Nacional para la Gestión Integral de Residuos de Aparatos Eléctricos y*

Electrónicos (RAEE). Obtenido de Recuperado el 2018, de Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.: <https://www.minambiente.gov.co/asuntos-ambientales-sectorial-y-urbana/residuos-de-aparato-electricos-y-electronicos-raee/>

MAVDT. (25 de Enero de 2022). *Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial*.

Consejo Colombiano de Seguridad. Recuperado el 2018. Obtenido de Guías Ambientales

de Almacenamiento y Transporte por carretera de sustancias químicas peligrosas y residuos peligrosos. : <https://www.minambiente.gov.co/documento-entidad/guias-ambientales-de-almacenamiento-y-transporte-por-carretera-de-sustancias-quimicas-peligrosas-y-residuos-peligrosos/>

Menlo. (2023). *Jinko Solar 540W Bifacial - JKM540M-72HL4-BDVP SF*. Obtenido de <https://www.shop.menloelectric.com/es/jinko-solar/1224-jkm540m-72hl4-bdvp-bifacial-silver-frame.html>

Merriam, S. B. (1988). *Investigación de estudios de caso en educación: un enfoque cualitativo*. Obtenido de <https://psycnet.apa.org/record/1989-97006-000>

MINAMBIENTE. (17 de Octubre de 2018). *Piensa un minuto antes de actuar*. Obtenido de Gestion integral de residuos solidos: <https://www.mincit.gov.co/getattachment/c957c5b4-4f22-4a75-be4d-73e7b64e4736/17-10-2018-Uso-Eficiente-de-Recursos-Agua-y-Energi.aspx>

Minambiente. (5 de Agosto de 2022). *Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible*. Obtenido de Resolucion 0851: <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2022/08/Resolucion-0851-de-2022.pdf>

Minambiente. (2024). *Residuos de Aparato Eléctricos y Electrónicos – RAEE*. Obtenido de <https://www.minambiente.gov.co/asuntos-ambientales-sectorial-y-urbana/residuos-de-aparato-electricos-y-electronicos-raee/>

Mordorintelligence. (2024). *Análisis de participación y tamaño del mercado de energía solar en Colombia*. Obtenido de tendencias de crecimiento y pronósticos:

<https://www.mordorintelligence.com/es/industry-reports/colombia-solar-energy-market>

NATIONAL GEOGRAPHIC. (5 de septiembre de 2010). *National Geographic*. Obtenido de Medio ambiente, Energía solar: <https://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/energia-solar>

Pacheco, L. O. (22 de Octubre de 2023). Soltec Trackers Pfv La Loma. *Fotografía del parque solar tomada con drom*. La Loma, Cesar, Colombia.

QuestionPro. (2024). *¿Qué es la investigación cualitativa?* Obtenido de Enfoques y alcances: https://www.questionpro.com/es/investigacion-cualitativa.html#enfoques_cualitativa

Quinchia, A. Z. (6 de Mayo de 2023). *El colombiano*. Obtenido de El lado oscuro de la energía solar ¿qué pasará con la ola de desechos de paneles solares que se viene?: <https://www.elcolombiano.com/negocios/que-hacer-con-desechos-de-paneles-solares-DA21306656>

Quiroz Henao, J. J. (2023). *Transición energética en Colombia: impacto socioambiental de los desechos tecnológicos provenientes del uso de la energía solar [Doctoral dissertation, Universidad EAFIT]*. Obtenido de Repositorio institucional UNIVERSIDAD EAFIT. : <https://repository.eafit.edu.co/handle/10784/32885>

Ramirez Agudelo, A. (2018). *Análisis y propuestas para la disposición final de paneles solares fotovoltaicos en Colombia. [Trabajo de grado, Universidad EIA]*. Obtenido de

Repositorio institucional UNIVERSIDAD EIA:

<https://repository.eia.edu.co/entities/publication/c756f0aa-9ae7-4f02-8cf0-50e06910bd0b>

Rodriguez Blanco, S. E. (2018). *Plan de manejo para disposición final de paneles solares de Energía Integral Andina SA. [Trabajo de investigación, Universidad el Bosque]. .*

Obtenido de Repositorio institucional UNIVERSIDAD EL BOSQUE. :

<https://repositorio.unbosque.edu.co/handle/20.500.12495/3246>

Rodriguez, M. A. (2023). Soltec Trackers Pfv La Loma. *Fotografías tomadas en parque fotovoltaico La Loma*. La Loma, Cesar, Colombia.

Sanchez, A. (2001). El método hermenéutico aplicado a un nuevo canon: Hacia la autorización de la producción escrita de los estudiantes de inglés. *Revista de filosofía y su didáctica*, 32(1), 290-296.

SOLICLIMA. (2024). *Soliclima energia solar*. Obtenido de Expertos en energia solar:

<https://www.soliclima.es/>

SOLTEC TRACKERS. (2024). *Soltec*. Obtenido de Expertos en soluciones fotovoltaicas integradas: <https://soltec.com/es/>

Summasolar. (2023). *Panel Solar Bifacial 460W Jinko Solar*. Obtenido de

<https://summasolar.com/Tienda/Panel-Solar-Bifacial-460W-Jinko-Solar/>

UNIMINUTO. (2024). *Ética y Transparencia*. Obtenido de <https://www.uniminuto.edu/etica-y-transparencia-1>

Anexos:

Anexo 1

Ficha técnica de panel solar de 460W utilizado en la organización

www.jinkosolar.com **Jinko Solar**
Backing Your Trust in Solar

Tiger Bifacial
445-465 Watt

Tiling Ribbon (TR) Technology

Positive power tolerance of 0~+3%

ISO9001:2015, ISO14001:2015, ISO45001:2018 certified factory

IEC61215, IEC61730 certified product



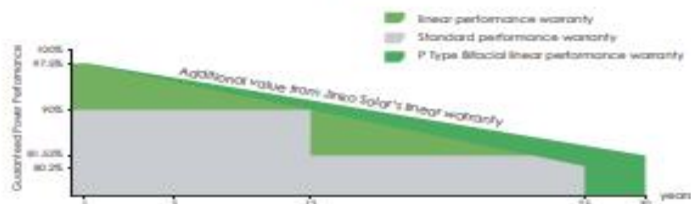

KEY FEATURES

-  **TR technology + Half Cell**
TR technology with Half cell aims to eliminate the cell gap to increase module efficiency (bi-facial up to 20.43%)
-  **9BB instead of 5BB**
9BB technology decreases the distance between bus bars and finger grid line which is benefit to power increase.
-  **Higher Lifetime Power Yield**
2.5% first year degradation, 0.55% linear degradation
-  **Best Warranty**
12 year product warranty, 30 year linear power warranty
-  **Avoid debris, cracks and broken gate risk effectively**
9BB technology using circular ribbon that could avoid debris, cracks and broken gate risk effectively
-  **Severe Weather Resilience**
Certified to withstand: wind load (2400 Pascal) and snow load (5400 Pascal).

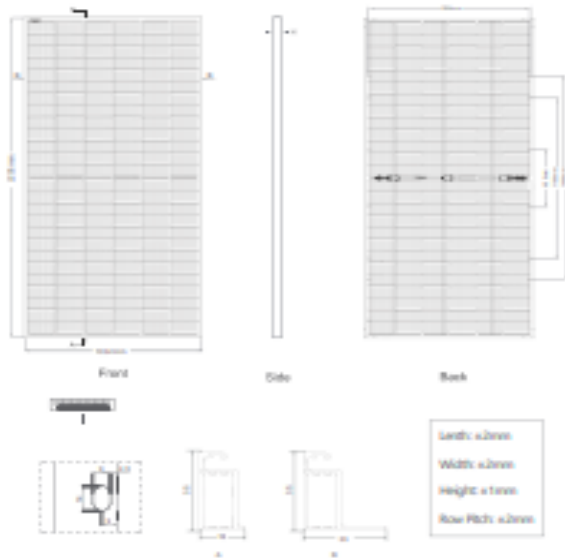


LINEAR PERFORMANCE WARRANTY

12 Year Product Warranty + 30 Year Linear Power Warranty
0.55% Annual Degradation Over 30 years



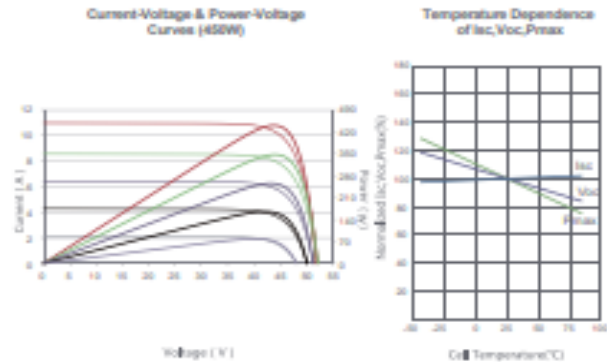
Engineering Drawings



Packaging Configuration

(Two pallets = One stack)
 31 pcs/pallets, 62 pcs/stack, 620 pcs/ 40'HQ Container

Electrical Performance & Temperature Dependence



Mechanical Characteristics

Cell Type	P type Mono-crystalline
No. of cells	156 (2x78)
Dimensions	2205 x 1032 x 35mm (86.81 x 40.63 x 1.38 inch)
Weight	25.0 kg (55.12 lbs)
Front Glass	3.2mm, Anti-Reflection Coating, High Transmission, Low Iron, Tempered Glass
Frame	Anodized Aluminium Alloy
Junction Box	IP67 Rated
Output Cables	TUV 1x4.0mm ² (+): 250mm, (-): 150mm or Customized Length

SPECIFICATIONS

Module Type	JKM445M-7RL3-TV		JKM450M-7RL3-TV		JKM455M-7RL3-TV		JKM460M-7RL3-TV		JKM465M-7RL3-TV	
	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT
Maximum Power (Pmax)	445Wp	331Wp	450Wp	335Wp	455Wp	339Wp	460Wp	342Wp	465Wp	346Wp
Maximum Power Voltage (Vmp)	43.13V	39.51V	43.19V	39.62V	43.25V	39.73V	43.32V	39.84V	43.38V	39.95V
Maximum Power Current (Imp)	10.32A	8.36A	10.42A	8.45A	10.52A	8.52A	10.62A	8.59A	10.72A	8.66A
Open-circuit Voltage (Voc)	51.60V	48.70V	51.70V	48.80V	51.80V	48.89V	51.90V	48.99V	52.00V	49.08V
Short-circuit Current (Isc)	11.08A	8.95A	11.17A	9.02A	11.26A	9.09A	11.35A	9.17A	11.44A	9.24A
Module Efficiency STC (%)	19.56%		19.78%		20.00%		20.21%		20.43%	
Operating Temperature(°C)	-40°C~+85°C									
Maximum system voltage	1500VDC (IEC)									
Maximum series fuse rating	25A									
Power tolerance	0~+3%									
Temperature coefficients of Pmax	-0.35%/°C									
Temperature coefficients of Voc	-0.28%/°C									
Temperature coefficients of Isc	0.048%/°C									
Nominal operating cell temperature (NOCT)	45±2°C									
Refer. Bifacial Factor	70±5%									

BIFACIAL OUTPUT-REAR SIDE POWER GAIN

		467Wp	473Wp	478Wp	483Wp	488Wp
5%	Maximum Power (Pmax)	467Wp	473Wp	478Wp	483Wp	488Wp
	Module Efficiency STC (%)	20.53%	20.76%	20.99%	21.23%	21.46%
15%	Maximum Power (Pmax)	512Wp	518Wp	523Wp	529Wp	535Wp
	Module Efficiency STC (%)	22.49%	22.74%	22.99%	23.25%	23.50%
25%	Maximum Power (Pmax)	556Wp	563Wp	569Wp	575Wp	581Wp
	Module Efficiency STC (%)	24.44%	24.72%	24.99%	25.27%	25.54%

*STC: Irradiance 1000W/m² Cell Temperature 25°C AM=1.5
 NOCT: Irradiance 800W/m² Ambient Temperature 20°C AM=1.5 Wind Speed 1m/s
 * Power measurement tolerance: ± 3%

The company reserves the final right for explanation on any of the information presented hereby. TR JKM445-465M-7RL3-TV-F3S-A1.1-EN

Anexo 2

Ficha técnica de panel solar de 540W utilizado en la organización

www.jinkosolar.com



Tiger Pro 72HC-BDVP

525-545 Watt

BIFACIAL MODULE WITH DUAL GLASS

P-Type

Positive power tolerance of 0~+3%

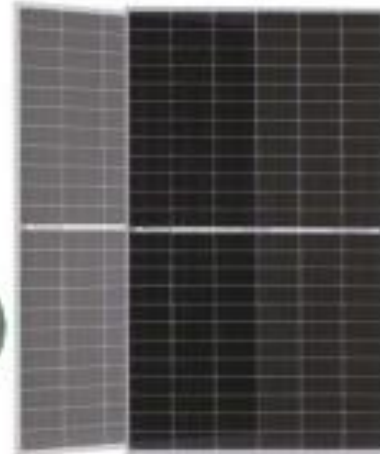
IEC61215(2014), IEC61730(2014)

ISO9001:2015: Quality Management System

ISO14001:2015: Environment Management System

ISO45001:2018

Occupational health and safety management systems



Bifacial Technology

Key Features



Multi Substr Technology

Better light trapping and current collection to improve module power output and reliability.



Longer Life-time Power Yield

0.45% annual power degradation and 30 year linear power warranty.



PID Resistance

Excellent Anti-PID performance guarantee via optimized mass-production process and material control.



Enhanced Mechanical Load

Certified to withstand wind load (2400 Pascal) and snow load (540 Pascal).

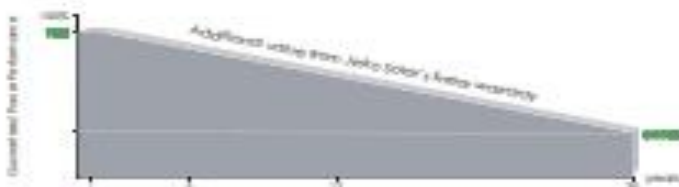


Higher Power Output

Module power increases 5-25% generally, bringing significantly lower LCOE and higher IRR.



LINEAR PERFORMANCE WARRANTY

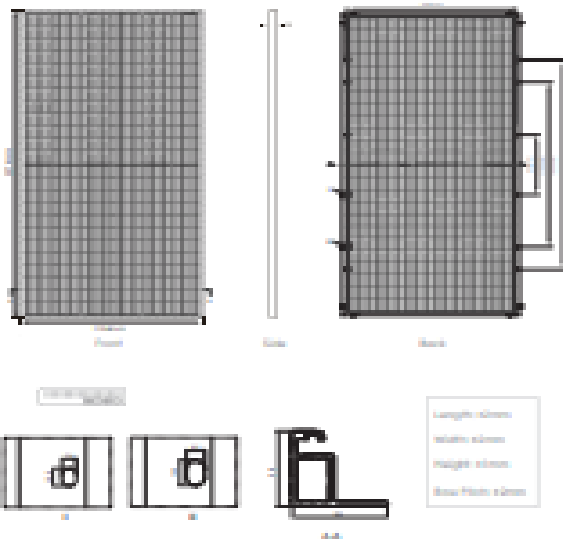


12 Year Product Warranty

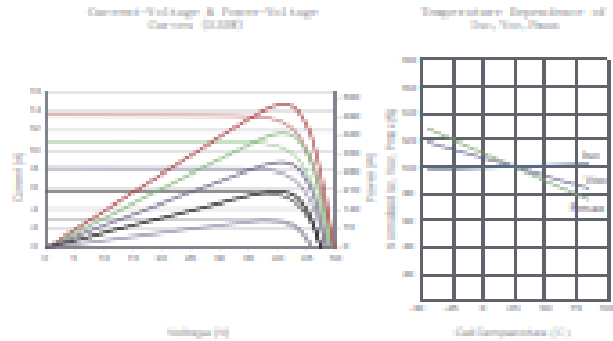
30 Year Linear Power Warranty

0.45% Annual Degradation Over 30 years

Engineering Drawings



Electrical Performance & Temperature Dependence



Mechanical Characteristics

Cell Type	P type Mono-crystalline
No. of cells	144 (6x6)
Dimensions	2274x1134x30mm (89.53x44.65x1.18 inch)
Weight	32 kg (70.5lbs)
Front Glass	3.0mm, Anti-Reflection Coating
Back Glass	2.0mm, Heat Strengthened Glass
Frame	Anodized Aluminium Alloy
Junction Box	IP68 Rated
Output Cables	1x1 (1x4.0mm) (-): 40mm, (+): 20mm or Customized Length

Packaging Configuration

[Two-pallet + One stack]
 36pc/pallet, 72pc/stack, 720pcs/40HQ Container

SPECIFICATIONS

Module Type	JSM525M-72HL4-BDVP		JSM525M-72HL4-BDVP		JSM525M-72HL4-BDVP		JSM525M-72HL4-BDVP		JSM525M-72HL4-BDVP	
	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT
Maximum Power (Pmax)	527wp	397wp	527wp	394wp	527wp	398wp	527wp	402wp	527wp	403wp
Maximum Power Voltage (Vmp)	42.82V	37.81V	42.87V	37.88V	42.84V	37.94V	41.13V	38.08V	41.52V	38.23V
Maximum Power Current (Imp)	12.30A	10.30A	12.30A	10.41A	12.07A	10.48A	12.13A	10.55A	12.19A	10.60A
Open-circuit Voltage (Voc)	49.42V	44.45V	49.48V	44.70V	49.54V	44.74V	49.73V	44.94V	49.92V	47.12V
Short-circuit Current (Isc)	13.43A	11.01A	13.73A	11.09A	13.83A	11.17A	13.89A	11.20A	13.95A	11.20A
Module Efficiency STC (%)	20.34%		20.58%		20.72%		20.44%		21.12%	
Operating Temperature(°C)	-40°C~+85°C									
Maximum system voltage	1500VDC (IEC)									
Maximum series fuse rating	30A									
Power tolerance	0~+3%									
Temperature coefficient of Pmax	-0.32%/°C									
Temperature coefficient of Voc	-0.28%/°C									
Temperature coefficient of Isc	0.048%/°C									
Nominal operating cell temperature (NOCT)	45±2°C									
Reflex. Bifacial Factor	70±5%									

BIFACIAL OUTPUT-REAR SIDE POWER GAIN

STC	Maximum Power (Pmax)	Module Efficiency STC (%)	NOCT	Maximum Power (Pmax)	Module Efficiency STC (%)
0%	527wp	21.38%	527wp	527wp	21.79%
10%	427wp	23.41%	410wp	427wp	24.30%
20%	427wp	25.43%	447wp	473wp	24.42%

STC: Irradiance 1000W/m² Cell Temperature 25°C AM=1.5
 NOCT: Irradiance 800W/m² Ambient Temperature 20°C AM=1.5 Wind Speed 1m/s