

**GUIA PARA LA DISPOSICIÓN DE PANELES SOLARES AL FINAL DE SU CICLO
DE VIDA EN COLOMBIA**

**WILLIAM BERNAL APARICIO
LUIS ENRIQUE MARTÍNEZ CAÑÓN
MATEO VALENCIA ZULUAGA**

**PROYECTO INTEGRAL DE GRADO PARA OPTAR EL TÍTULO DE
ESPECIALISTA EN GERENCIA DE PROYECTOS**

**ORIENTADOR
JULIÁN ANDRÉS GÓMEZ
ADMINISTRADOR DE EMPRESAS**

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE CIENCIAS ECONOMICAS Y ADMINISTRATIVAS
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE PROYECTOS
BOGOTÁ D.C.**

2022

NOTA DE ACEPTACIÓN

Nombre
Firma del Director

Nombre
Firma del presidente Jurado

Nombre
Firma del Jurado

Nombre
Firma del Jurado

Bogotá, D.C. marzo de 2022

DIRECTIVAS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro

Dr. Mario Posada García Peña

Vicerrector Académico de Recursos Humanos

Dr. Luis Jaime Posada García-Peña

Vicerrectora Académica y de Investigaciones

Dra. Alexandra Mejía Guzmán

Vicerrector Administrativo y Financiero

Dr. Ricardo Alfonso Peñaranda Castro

Secretario General

Dr. José Luis Macías Rodríguez

Decano Facultad de Ciencias Económicas y Administrativas

Dr. Marcel Hofstetter,

Director de programa

Dr. Julián Andrés Gómez

DEDICATORIAS

A mi esposa Consuelo, a mi hijo Lucas, a mi madre Amanda y mis hermanas Marta, Zaida y Carolina, porque sin su apoyo no hubiera podido llegar donde estoy ahora y cumplir con esta meta tan importante para mi vida.

Luis Enrique Martínez Cañón

El trabajo realizado lo dedico con mucho cariño a mi esposa, Angela, e hijos, Laura Sofia, Mariana José y Alejandro, que han sido el apoyo fundamental para lograr los objetivos propuestos, ya que, con su amor profundo, comprensión y a su apoyo moral, permitieron tomar del tiempo en familia para poder alcanzar esta meta.

William Bernal

Esta dedicatoria va dirigida a mi prometida Ana Maria, a mis padres y mi hermano, que con mucho amor, apoyo y comprensión me ayudaron en todo este proceso y en todos los momentos y pasos que doy en mi vida. Este gran logro es para ustedes.

Mateo Valencia Zuluaga

Las directivas de la Universidad América, Los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente a los autores.

TABLA DE CONTENIDO

	pág
INTRODUCCION	11
1. OBJETIVOS	14
1.1 Objetivo general	14
1.2 Objetivos específicos	14
2 CARACTERIZACIÓN DEL ESTADO ACTUAL DEL ECOSISTEMA DE PARQUES SOLARES EN COLOMBIA	9
3 ELEMENTOS RECICLABLES DENTRO COMPONENTES PANELES SOLARES	19
3.1 Tipo de paneles solares	21
3.2 Tracker	23
4 MÉTODOS DE TRATAMIENTO Y DISPOSICIÓN DE LOS MATERIALES RECICLABLES DEL SISTEMA DE GENERACIÓN DE ENERGÍA FOTOVOLTAICA.	28
4.1 Tipos de reciclaje	28
4.1.1 <i>Reciclado térmico</i>	28
4.1.2 <i>Reciclado mecánico</i>	28
5 GUIA PARA LA DISPOSICIÓN DE PANELES SOLARES AL FINAL DE SU CICLO DE VIDA	31
5.1 Guía para la disposición de paneles solares al final de su ciclo de vida con el método mecánico	31
5.2 Guía para la disposición de paneles solares al final de su ciclo de vida con el método térmico	35
6 REGULACIÓN ACTUAL	40
7 CONCLUSIONES	42
BIBLIOGRAFIA	44

LISTA DE FIGURAS

	pág
Figura 1 Número de proyectos vigentes en Colombia según su tipo	10
Figura 2 Número de proyectos solares vigentes en Colombia según se rango de potencia	11
Figura 3 Gráfica de embudo de las toneladas de desechos proyectados por departamento.	18
Figura 4 Despiece de panel solar fotovoltaico	19
Figura 5 Componentes internos de panel solar fotovoltaico	20
Figura 6 Corte lateral de panel solar fotovoltaico	20
Figura 7 Tipos de paneles fotovoltaicos	22
Figura 8 Porcentaje de materiales en paneles de base silicio y película delgada	22
Figura 9 Componentes de un Tracker	24
Figura 10 Disposición de componentes de un tracker.	25
Figura 11 Proceso de reciclaje en paneles solares de tipo base silicio y película delgada	29
Figura 12 Guía grafica del proceso mecánico de reciclaje paneles solares	34
Figura 13 Proceso ejemplo de recuperación de células de Silicio	37
Figura 14 Guía grafica del proceso térmico de reciclaje paneles solares	38

LISTA DE TABLAS

	pág
Tabla 1 Número de proyectos solares en Colombia por rango de potencia	12
Tabla 2 Fase en la que se encuentra los proyectos solares	13
Tabla 3 Proyectos solares por departamento y capacidad de generación.	14
Tabla 4 Empresas fabricantes y referencia de paneles solares con su peso	15
Tabla 5 Peso de paneles solares de acuerdo con su capacidad de generación por departamento.	16
Tabla 6 Listado de componentes y materiales de trackers parque solar	25
Tabla 7 Comparativo de % reciclaje de los 2 procesos de tratamiento de los paneles .	30
Tabla 8 Guía para la disposición de paneles solares al final de su ciclo de vida con el método mecánico	31
Tabla 9. Guía para la disposición de paneles solares al final de si ciclo de vida con el método térmico	35
Tabla 10 Regulación Actual que rige el manejo de paneles solares en Colombia.	40

LISTA DE SIGLAS Y ABREVIATURAS

GEI: gases de efecto invernadero

UPME: Unidad de planeación minero energética

EVA: Etilvinilacetato

PV: Panel Fotovoltaico

MW: Megavatios

RESUMEN

En los últimos años el crecimiento de la industria fotovoltaica ha tenido un crecimiento considerable y en Colombia con las nuevas políticas de implementación de energías renovables; esto no solo trae un aumento en proyectos de generación de este tipo sino que también un aumento en los residuos generados por estos sistemas. Viendo este problema a futuro para nuestros territorios es importante implementar políticas adecuadas para el manejo de estos elementos después de su vida útil, ya que en este momento no se está pensando en que hacer para su correcta disposición, el problema se presentará de aquí a 25 o 30 años en que se dará fin a los elementos que generan la energía fotovoltaica. Después de nuestra investigación, muchos países que ya han implementado un correcto manejo de estos residuos han logrado obtener beneficios no solo medioambientales que es la prioridad sino también beneficios económicos por lo que hay un porcentaje muy alto de reciclaje de los materiales de estos elementos.

Por todo esto hemos realizado unas guías basándonos en experiencias de empresas e investigaciones que han obtenido buenos resultados en la correcta disposición de los residuos de los paneles solares fotovoltaicos y estamos seguros que puede ser un buen inicio para promover nuestra conciencia ambiental realizando la correcta disposición de los residuos de estas inmensas granjas solares.

Palabras claves: Energía Solar, panel solar fotovoltaico, Guía de reciclaje, manejo de residuos fotovoltaicos, Reciclado mecánico, reciclado térmico, silicio, película delgada,

INTRODUCCION

En el año 2016 Colombia atravesó por el fenómeno del niño, el cual desató un bajo nivel en los embalses y debido a nuestra dependencia de las fuentes hídricas ocasionó una crisis energética. En el año 2018 el país contaba con dos proyectos de energías renovables que sumaban alrededor de 30 megavatios para la generación de energía solar y eólica. Hoy Colombia cuenta con diez granjas solares, que junto con proyectos de cogeneración y de autogeneración en departamentos como Córdoba, Bolívar, Chocó, Antioquia, Risaralda, Tolima, Meta y Cauca, representan más de 220 megavatios de capacidad instalada. La búsqueda reciente por reemplazar una alternativa a las energías de combustibles fósiles y a las fuentes hídricas que representan la mayor capacidad de energía instalada del país, ha llevado al país a plantearse soluciones alternativas para esta dependencia en este tipo de energías.

La “transición energética” se ha convertido en el tema central de los debates sobre el futuro de la energía, especialmente desde que 196 países se comprometieron en los acuerdos de París del 2015 a evitar que la temperatura global aumente 2 grados Celsius por encima de los niveles preindustriales y a hacer los mejores esfuerzos para limitar el aumento alrededor de 1,5 grados. El instrumento para lograrlo se ha convertido en el concepto de “carbono neutralidad” para 2050 o un poco después, objetivo que ya ha sido adoptado por más de 100 países, incluidos Estados Unidos, China, la Unión Europea, Gran Bretaña y Japón, entre otros. Cerca de dos tercios de las emisiones mundiales, y aproximadamente dos tercios del producto interno bruto mundial, ahora se originan en países con compromisos de carbono neutralidad en diversos grados. A medida que avanza, la transición energética transformará la forma en que el mundo produce y consume la energía y la naturaleza misma de partes importantes de la economía global. Las dos economías más grandes del mundo ahora están comprometidas. En su primer día como presidente, Joe Biden reintegró a Estados Unidos en los Acuerdos de París que Donald Trump había abandonado. Y solo unos meses antes, China se había comprometido con el carbono neutralidad para 2060. En 2021, se sentarán las bases para una nueva carrera de superpotencias por liderar los mercados globales en términos

de vehículos eléctricos, energía solar y eólica, hidrógeno y tecnologías que aún están por emerger. Este escenario se verá complicado por el cambio general en las relaciones entre Estados Unidos y China, que deja a muchos otros países preocupados en quedar atrapados entre las dos economías más grandes del mundo. El proceso de transición energética creará dilemas sobre la naturaleza y el ritmo del cambio. El “Qué” – carbono neutralidad - es claro. El “Cómo” - cómo lograrlo - no está del todo claro. La mayoría de las naciones que se comprometieron a lograr la carbono neutralidad, aún tienen que adoptar las leyes y regulaciones para lograr este compromiso. Pero con el impulso en aumento, 2021 puede marcar el comienzo de un período de cambio acelerado en las políticas, leyes y regulaciones energéticas y climáticas. Este es el contexto en el que Colombia lanza la transformación de sus sistemas energéticos. Las direcciones de la política son claras: aumentar la participación de las energías renovables no convencionales de menos del 1% a más de 12% en la matriz energética para el 2022; elevar su objetivo de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) del 20% al 51% para 2030; y hacer de la “reactivación sostenible” la fuerza que impulsa su estrategia de recuperación económica como resultado del COVID.

Debido a este incremento en proyectos de energías solares, la infraestructura instalada de paneles fotovoltaicos aumentará de manera progresiva con respecto a este crecimiento y dependiendo la necesidad energética, también se verá una relación directa entre la cantidad de paneles a instalar y su requerimiento. Después de su instalación y puesta en marcha, los paneles fotovoltaicos poseen una vida útil entre 25 y 30 años, y debido a su gran cantidad de material implementado para la construcción de los proyectos energéticos renovables no convencionales, se quiere evaluar la viabilidad de un plan de manejo con los residuos generados por los paneles solares instalados después de su ciclo de vida útil.

El reciclaje aporta, hoy en día, numerosos beneficios para el medio ambiente, pero también representa otras ventajas para la empresa. Gracias al reciclaje de paneles solares se pueden recuperar grandes cantidades de metales, plástico y vidrio para reintroducirlos en el proceso productivo para la elaboración de nuevos productos. Según

un estudio de 2017 en España, la plataforma Recycla, la principal plataforma que se encarga de la gestión de residuos de los fabricantes de placas fotovoltaicas recogió ese año 125 toneladas de paneles fotovoltaicos, que permitieron recuperar 94 toneladas de vidrio, 15 de metales y 2,5 de plástico. Esta plataforma estima que después de unos años de parón de la energía fotovoltaica, el tirón de los próximos años incrementará los paneles solares y, en consecuencia, también su reciclado. Pues cuando termine su vida útil habrá que desecharlos o recuperarlos mediante el reciclaje. De esta manera, una organización podrá beneficiarse de las placas incluso cuando termine la vida útil.

Debido a todo lo mencionado anteriormente además de la posición geográfica de Colombia que por su cercanía al Ecuador que beneficia la captación de energía solar, muestra una clara evidencia del crecimiento progresivo que está presentando los proyectos de energías renovables no convencionales en el país, y que a medida que se avanza en las regulaciones energéticas y los incentivos propuestos por el gobierno para la migración hacia este tipo de tecnología, ya sea para reducir el impacto de la dependencia energética en los combustibles fósiles y las hidroeléctricas, o para aumentar la capacidad de infraestructura energética en el país, puesto que cada día la demanda de energía es mucho mayor, sustentan el aumento en la utilización de paneles fotovoltaicos en el abastecimiento energético del país, y por consecuencia la implementación en gran cantidad de módulos solares para cumplir con la exigencia de la demanda energética en todo el territorio Colombiano.

Después de cumplir su vida útil a los 25 - 30 años de uso se quiere disponer de todo este material de paneles solares para utilizarlos de manera eficiente y útil, y de manera adicional lograr recuperar los espacios y condiciones iniciales al proyecto, limpiando el área utilizada (chatarra, equipo dañado, y otros materiales adicionales), para así minimizar el impacto ambiental generado sobre la zona afectada por la instalación de la infraestructura.

1. OBJETIVOS

1.1 Objetivo general

Crear una guía para el manejo de los residuos de los paneles solares después de su ciclo de vida en Colombia.

1.2 Objetivos específicos

- Caracterizar el estado actual del ecosistema de parques solares en Colombia.
- Identificar los componentes que se pueden reciclar del sistema de generación de energía fotovoltaica.
- Determinar métodos de tratamiento y disposición de los materiales reciclables del sistema de generación de energía fotovoltaica.
- Evaluar los diferentes métodos que se puedan implementar para el manejo integral de los residuos generados por los paneles solares.

2 CARACTERIZACIÓN DEL ESTADO ACTUAL DEL ECOSISTEMA DE PARQUES SOLARES EN COLOMBIA

Los problemas que se ha tenido a lo largo de los años y de la historia con respecto al uso de los tradicionales métodos de obtención de energía como los combustibles fósiles, debido a su constante uso, hace aumentar cada vez la preocupación y la urgencia de planes alternativos para la obtención de energía, además de la constante contaminación para obtener dicho recurso y todo el proceso que contiene este en ser utilizado como fuente de energía.

Con respecto a las fuentes de energía hídricas radica en el gran desarrollo en cuestiones de infraestructura, debido a estos grandes proyectos de construcción de embalses para las centrales hidroeléctricas, también llevan consigo problemas e impactos ambientales tanto así que en ocasiones supone la desaparición de poblaciones enteras bajo las aguas del embalse, modificando así el hábitat que allí se encontraba.

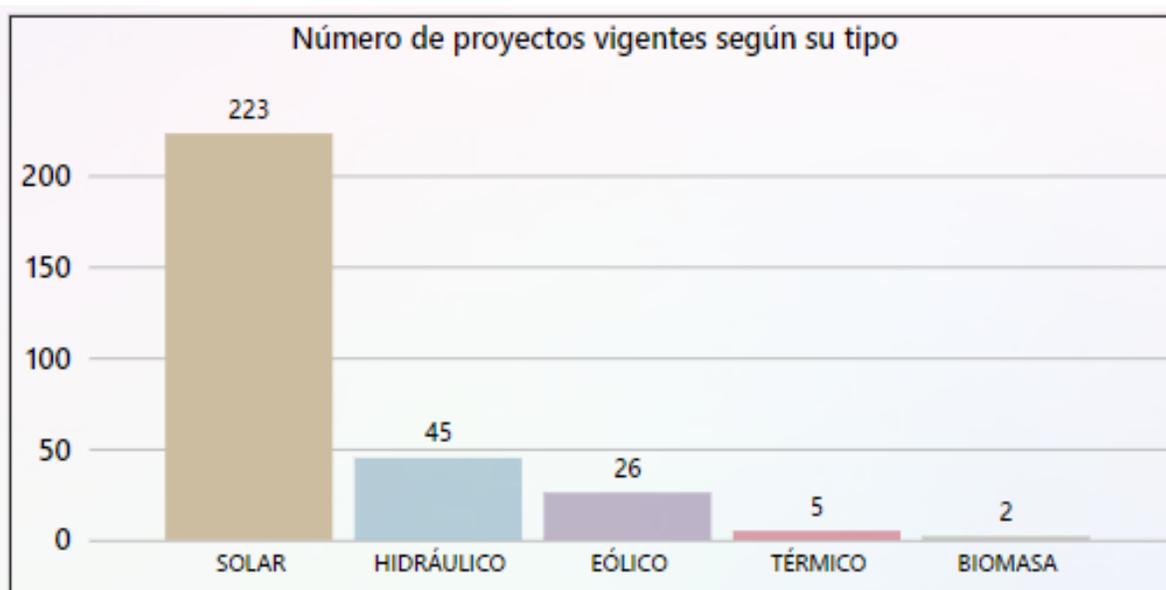
Debido a todos estos problemas que se han presentado a lo largo del desarrollo de la sociedad humana, el panorama actual a nivel mundial con respecto a la implementación de energías renovables no convencionales viene presentando un incremento en su demanda, debido a la urgencia de buscar y encontrar una alternativa sostenible y en esta necesidad se ha encontrado la implementación de paneles solares. En Colombia la situación con respecto a estos proyectos es aún más esperanzador puesto que el país cuenta con un potencial excepcional para el desarrollo de todos los proyectos de este tipo debido a diferentes factores como: la ubicación de Colombia en la zona ecuatorial hace que los niveles de radiación solar están entre los más altos del planeta. Según la UPME, entidad nacional encargada de la planeación integral del sector energético del país, Colombia tiene una radiación solar promedio diario de 4,5 kWh/m², la cual supera el promedio mundial de 3,9 kWh/m². Otro factor importante son los beneficios tributarios que se manejan en el país, entre ellos la reducción del 50% en el impuesto de la renta de las inversiones en un periodo de 5 años, adicionalmente como Colombia no cuenta con estaciones, esto permite que en el territorio nacional se cuente con un promedio

diario de radiación solar entre 4,8 a 12 horas, lo que permite un uso constante de energía obtenida de los paneles solares todos estos factores son críticos para que Colombia sea proyectada como un gran prospecto para la obtención de energía a partir de paneles fotovoltaicos.

Según datos obtenidos por la UPME hasta el 03 de noviembre del 2021 el panorama energético en Colombia con respecto a los proyectos energéticos no convencionales renovables es el siguiente:

Figura 1

Número de proyectos vigentes en Colombia según su tipo



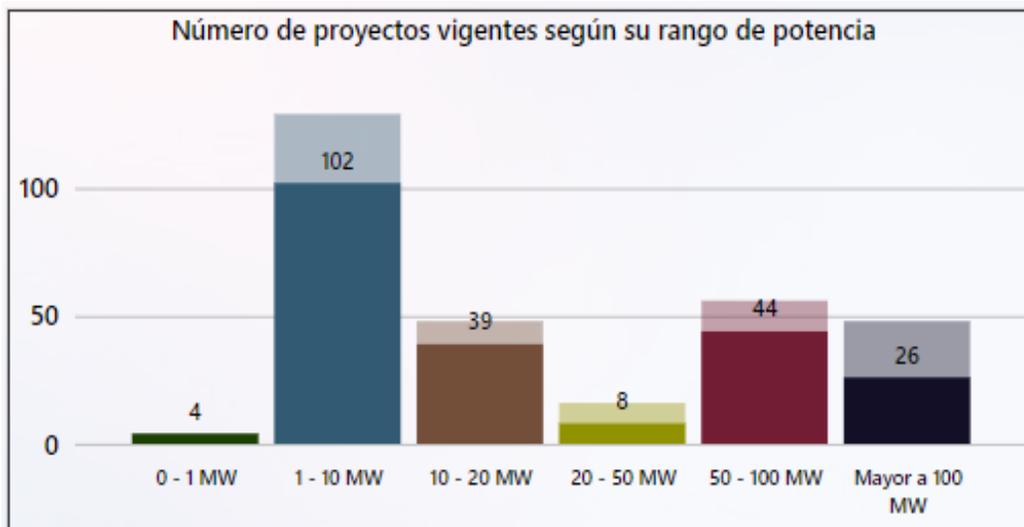
Nota. La figura muestra los proyectos de generación de energía en Colombia. Tomado de: UPME (2021). Informe de Registro de proyectos de Generación de Electricidad. Número de proyectos vigentes según su tipo, página 5. <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjojODRjNWY2NmEtZDI5MC00OGJhLWVmMTItYmU3NTNiMDE4MTM2IiwidCI6IjUxYzFhOllustración1GQwLTMyYmQtNDZiY05YmRILTkxZTZINGU3MDRmZCJ9>

Esta gráfica muestra un claro panorama en la cantidad de proyectos energéticos que están vigentes hasta la fecha y se puede observar una prominente diferencia entre los proyectos de energía solar con el resto de los proyectos (hidráulico, eólico, térmico y biomasa), los cuales sumados da un total de 78 proyectos, que no alcanzan ni la mitad de la totalidad de los proyectos de energía solar.

De estos 223 proyectos hay diferentes tipos de requerimientos en cuanto a capacidad de potencia se refiere, se tienen proyectos desde un rango de 0-1 MW hasta proyectos mayores de 100 MW, esta potencia varía dependiendo el requerimiento de energía necesitada, la capacidad de instalación en cuanto área y disposición para colocar los paneles, todos estos factores influyen en la capacidad de instalación por proyecto en potencia MW para su consumo o distribución.

Figura 2

Número de proyectos solares vigentes en Colombia según se rango de potencia



Nota. La figura muestra los MW que producirán los proyectos solares vigentes. Tomado de: UPME (2021). Informe de Registro de proyectos de Generación de Electricidad. Número de proyectos vigentes según su rango de potencia, página 5. <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjojODRjNW2NmEtZDI5MC00OGJhLWVmMTItYmU3NTNiMDE4MTM2liwidCI6IjUxYzFhOGQwLTMyYmQtNDZlYi05YmRILTkxZTZINGU3MDRmZCJ9>

En la gráfica se observa que la mayoría de los proyectos se encuentran en un rango de potencia instalado entre 1-10 MW, pero aun así se evidencia que en los 6 rangos se tienen proyectos con diferentes capacidades de potencia para su consumo. Esto se puede presentar debido a la variedad de requisitos energéticos y de áreas disponibles para la instalación de todo el sistema para este tipo de proyectos. Se presenta un cuadro en donde se compara los proyectos vigentes según su tipo y según su rango de potencia (MW):

Tabla 1

Número de proyectos solares en Colombia por rango de potencia

Rango	BIOMASA	EÓLICO	HIDRÁULICO	SOLAR	TÉRMICO	Total
0 - 1 MW				4		4
1 - 10 MW	1	3	23	102		129
10 - 20 MW			9	39		48
20 - 50 MW	1		7	8		16
50 - 100 MW		6	3	44	3	56
Mayor a 100 MW		17	3	26	2	48
Total	2	26	45	223	5	301

Nota. La tabla muestra los rangos de potencia de los proyectos solares y su número. Tomado de: UPME (2021). Informe de Registro de proyectos de Generación de Electricidad. Número de proyectos vigentes según su rango de potencia y tipo, página 6. <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrljoiODRjNWM2NmEtZDI5MC00OGJhLWFmMTItYmU3NTNiMDE4MTM2liwidCI6IjUxYzFhOGQwLTM5YmQtNDZiYi05YmRILTkxZTZINGU3MDRmZCJ9>

El único tipo de energía que posee proyecto en todos los rangos de potencia es la energía solar, lo cual demuestra que además de todos los beneficios nombrados anteriormente también se puede adaptar a todo tipo de requerimiento y que en el país se puede aprovechar todas las condiciones que apalancan este tipo de proyectos.

Cuando se opta por iniciar un proyecto de energías se debe registrar el proyecto ante la UPME y este registro, desarrollo y ejecución cuenta con 3 diferentes fases. La Fase 1 la cual hace referencia a la etapa de prefactibilidad del proyecto, la cual dentro de sus requisitos incluye la radicación del diagnóstico ambiental de alternativas, el estudio de impacto ambiental frente a la autoridad ambiental, o si el proyecto no requiere ninguna de estas contar con el aval del ente ambiental. Según la Resolución UPME 0143 de 2016, la vigencia del registro en esta fase es de 2 años para todo tipo de proyectos. La fase 2 es la etapa de factibilidad del proyecto, en donde se evalúa y se define si el proyecto dentro de sus factores como proyecto (financiero, económico, técnico, tecnológico, y ambiental) es viable, posible y conveniente para su ejecución y dentro del mismo se define el modelo y estructura financiera que se va a utilizar. En esta fase la autoridad

ambiental decide sobre las alternativas o los impactos que tendrá el proyecto y definirá si es necesaria la radicación e implementación de una licencia ambiental. Y por último la fase 3 la cual deberá contar con un cronograma de ejecución establecido para el proyecto y con la licencia ambiental aprobada, si se requiere o el documento respectivo por parte de la autoridad ambiental en donde da el aval para el proyecto sin necesidad de licencia ambiental. Adicionalmente el documento de aprobación por parte de la UPME para la conexión de generación del proyecto, la vigencia de este registro es de 1 año o hasta la construcción si esta empieza antes.

La siguiente tabla muestra en qué fase está cada uno de los proyectos de energía solar y en qué rango de potencia se ubica.

Tabla 2

Fase en la que se encuentra los proyectos solares

Rango	Fase 1	Fase 2	Fase 3	Total
0 - 1 MW	4			4
1 - 10 MW	34	66	2	102
10 - 20 MW	8	29	2	39
20 - 50 MW	4	4		8
50 - 100 MW	11	33		44
Mayor a 100 MW	5	21		26
Total	66	153	4	223

Nota. La tabla muestra en qué fase se encuentran los proyectos solares vigentes de acuerdo a su rango de potencia. Tomado de: UPME (2021). Informe de Registro de proyectos de Generación de Electricidad. Número de proyectos vigentes según su rango de potencia y estado, página 6. <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjojODRjNWM2NmEtZDI5MC00OGJhLWFmMTItYmU3NTNiMDE4MTM2liwidCI6IjUxYzFhOGQwLTMyYmQtNDZiYi05YmRILTkxZTZINGU3MDRmZCJ9>

Este panorama y caracterización es presentado a lo largo del territorio nacional, que sirve para entender o dar una idea del estado actual del ecosistema de parques solares y

como prevalece en comparación a los otros tipos de energías renovables no convencionales el uso o la implementación de este tipo de proyectos.

Pero también hay que hacer una categorización o división para entender la cantidad de proyectos por departamentos y cuáles son los departamentos que más prevalecen y preponderan en la implementación y desarrollo en este tipo de energías renovables. Se muestra la siguiente tabla:

Tabla 3

Proyectos solares por departamento y capacidad de generación.

Departamento	Numero de Proyectos	Suma de Capacidad MW	% del total de proyectos
AMAZONAS	1	2.03	0.45%
ANTIOQUIA	5	243.29	2.24%
ARAUCA	2	19.7	0.90%
ATLANTICO	19	518.5	8.52%
BOLIVAR	15	294.4	6.73%
BOYACA	23	961.51	10.31%
CALDAS	5	424	2.24%
CASANARE	3	75.34	1.35%
CAUCA	2	118.89	0.90%
CESAR	8	973.8	3.59%
CHOCO	1	1	0.45%
CORDOBA	20	838.92	8.97%
CUNDINAMARCA	17	885.53	7.62%
GUAINIA	1	9.8	0.45%
HUILA	5	149.7	2.24%
LA GUAJIRA	6	557.15	2.69%
MAGDALENA	6	241.57	2.69%
META	10	407.9	4.48%
NARIÑO	2	15.5	0.90%
NORTE DE SANTANDER	8	488.27	3.59%
PUTUMAYO	2	12.8	0.90%
RISARALDA	5	109.401	2.24%
SANTAFE DE BOGOTA D.C.	1	2	0.45%
SANTANDER	13	1906.3	5.83%
SUCRE	10	364.69	4.48%
TOLIMA	27	863.68	12.11%
VALLE DEL CAUCA	6	665.37	2.69%
Total general	223	11151.041	100.00%

Nota. La tabla muestra cómo están distribuidos los proyectos por departamento y su rango de potencia. Tomado de: UPME (2021). Informe de Registro de proyectos de Generación de Electricidad. Número de proyectos vigentes según su rango de potencia y estado, página 6. <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjojODRjNW2NmEtZDI5MC00OGJhLWFMmTItYmU3NTNiMDE4MTM2liwidCI6IjUxYzFhOGQwLTMyYmQtNDZiYi05YmRILTkxZTZINGU3MDRmZCJ9>

Vamos a definir qué cantidad de residuos se van a generar en cuanto a paneles solares, para esto se necesita saber cuántos paneles son necesarios para generar 1 MW (Megavatio).

La información de la potencia que arroja cada panel; se obtuvo de 4 fichas técnicas de paneles solares de empresas fabricantes y que actualmente se ofrecen en los proyectos que están en estudio y ejecución en Colombia.

La Tabla 3 muestra la información de potencia y peso por panel, obtenida de las especificaciones técnicas de 4 fabricantes.

Tabla 4

Empresas fabricantes y referencia de paneles solares con su peso

Empresa Fabricante	Rango de potencia de salida	Peso aproximado
RISEN ENERGY CO. LTD	530 – 550 Wp	33 Kg
JINKO SOLAR	525 – 545 Wp	34.3 Kg
SUNTECH	530 – 550 Wp	29.1 Kg
ENERGY CHINT	525 – 545 Wp	27.2 Kg
PROMEDIO	527.5 – 547.5 Wp	30.9 Kg

Nota: La tabla muestra el rango de potencia máximo y mínimo de 4 tipos de paneles solares de mercado y su peso. Tomado de: Fichas técnicas Risen Energy co, Jinko solar, Suntech, Energy chint.

Para el cálculo de cuántos paneles necesitamos para generar 1 MW utilizamos la siguiente ecuación.

$$\text{Potencia a generar (W)} \div \text{Potencia panel (W)} = \text{N}^\circ \text{ de paneles necesarios}$$

$$1000 \text{ kWp} / 0.5275 \text{ kWp} = 1895.7 \text{ paneles}$$

Con esto demostramos que necesitamos 1896 paneles para generar 1 MW de potencia.
 Ahora sacamos el peso de los paneles para generar 1 MW

$$N^{\circ} \text{ de paneles} \times \text{Peso promedio (Kg)} = \text{Peso paneles para generar } x\text{MW}$$

$$1896 \times 30.9 \text{ Kg} = 58.586,4 \text{ Kg}$$

Para producir un Megavatio de potencia es necesario 58.5 en paneles solares. Con este valor procedemos a calcular por cada parque solar que esté activo en Colombia la cantidad de toneladas en paneles solares que se necesitan de acuerdo con la potencia generada.

Tabla 5

Peso de paneles solares de acuerdo con su capacidad de generación por departamento.

Departamento	Suma de Capacidad MW	Suma de Peso paneles (Ton)
AMAZONAS	2.03	118.93
ANTIOQUIA	243.29	14,253.49
ARAUCA	19.7	1,154.15
ATLANTICO	518.5	30,377.05
BOLIVAR	294.4	17,247.84
BOYACA	961.51	56,331.41
CALDAS	424	24,840.63
CASANARE	75.34	4,413.90
CAUCA	118.89	6,965.34
CESAR	973.8	57,051.44
CHOCO	1	58.59
CORDOBA	838.92	49,149.30
CUNDINAMARCA	885.53	51,880.01

Tabla 5. (Continuación)

CUNDINAMARCA	885.53	51,880.01
GUAINIA	9.8	574.15
HUILA	149.7	8,770.38
LA GUAJIRA	557.15	32,641.41
MAGDALENA	241.57	14,152.72
META	407.9	23,897.39
NARIÑO	15.5	908.09
NORTE DE SANTANDER	488.27	28,605.98
PUTUMAYO	12.8	749.91
RISARALDA	109.401	6,409.41
SANTAFE DE BOGOTA D.C.	2	117.17
SANTANDER	1906.3	111,683.25
SUCRE	364.69	21,365.87
TOLIMA	863.68	50,599.90
VALLE DEL CAUCA	665.37	38,981.63
Total general	11151.041	653,299.35

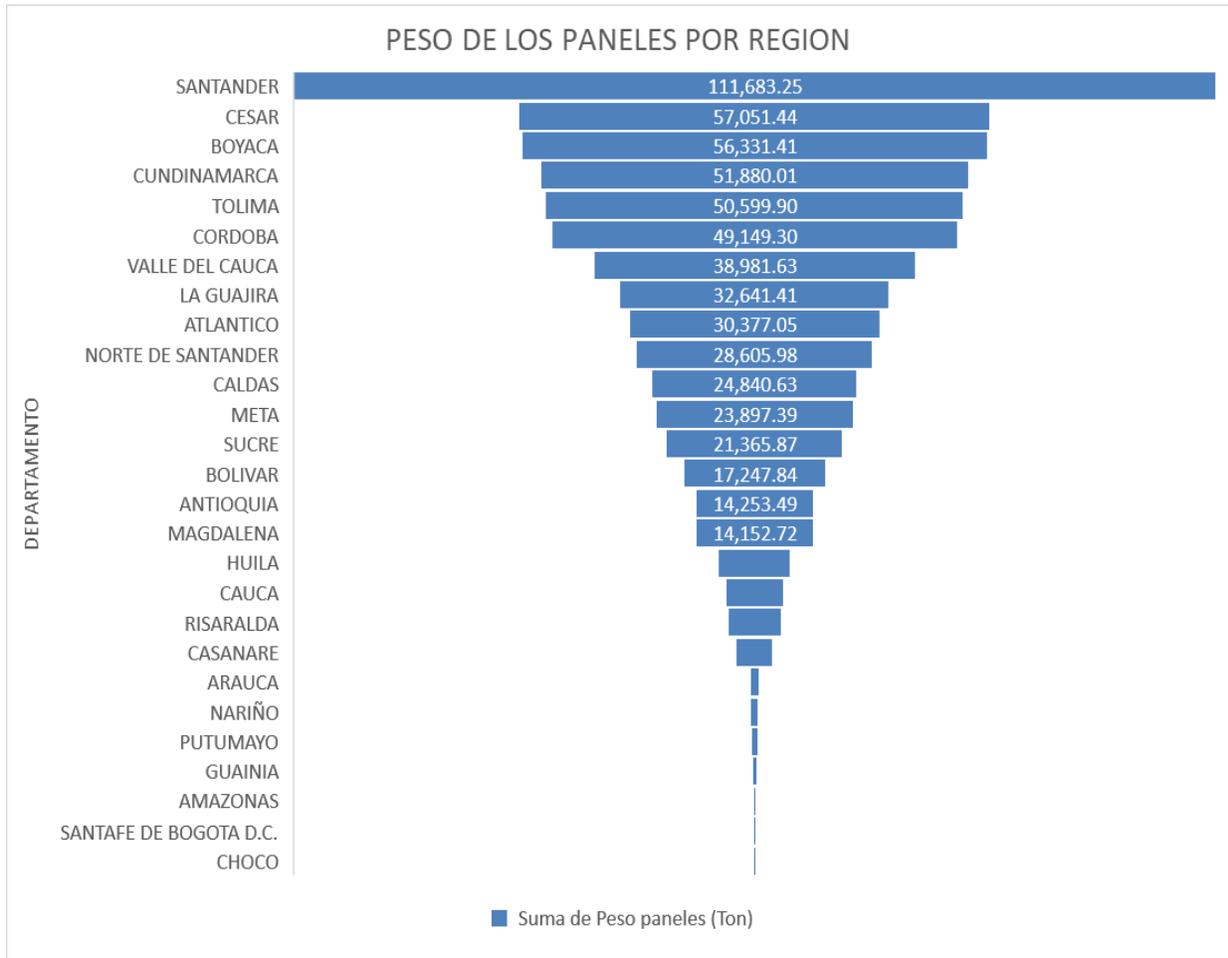
Nota. La tabla muestra el peso de los paneles de acuerdo con la potencia que va a generar los proyectos solares de cada departamento.

De acuerdo con la tabla 5 se van a generar 653,299.35 toneladas de residuos cuando los 223 parques solares que están actualmente activos en Colombia terminan su vida útil, aproximadamente entre 25 a 30 años.

Un estudio calcula que los paneles solares generarán 80 millones de toneladas de residuos en tres décadas (<https://elpais.com/ciencia/2021-03-29/un-estudio-calcula-que-los-paneles-solares-generaran-80-millones-de-toneladas-de-residuos-en-tres-decadas.html>)

Figura 3

Gráfica de embudo de las toneladas de desechos proyectados por departamento.



Nota. La figura muestra los pesos de los paneles de acuerdo con la generación solar por departamento.

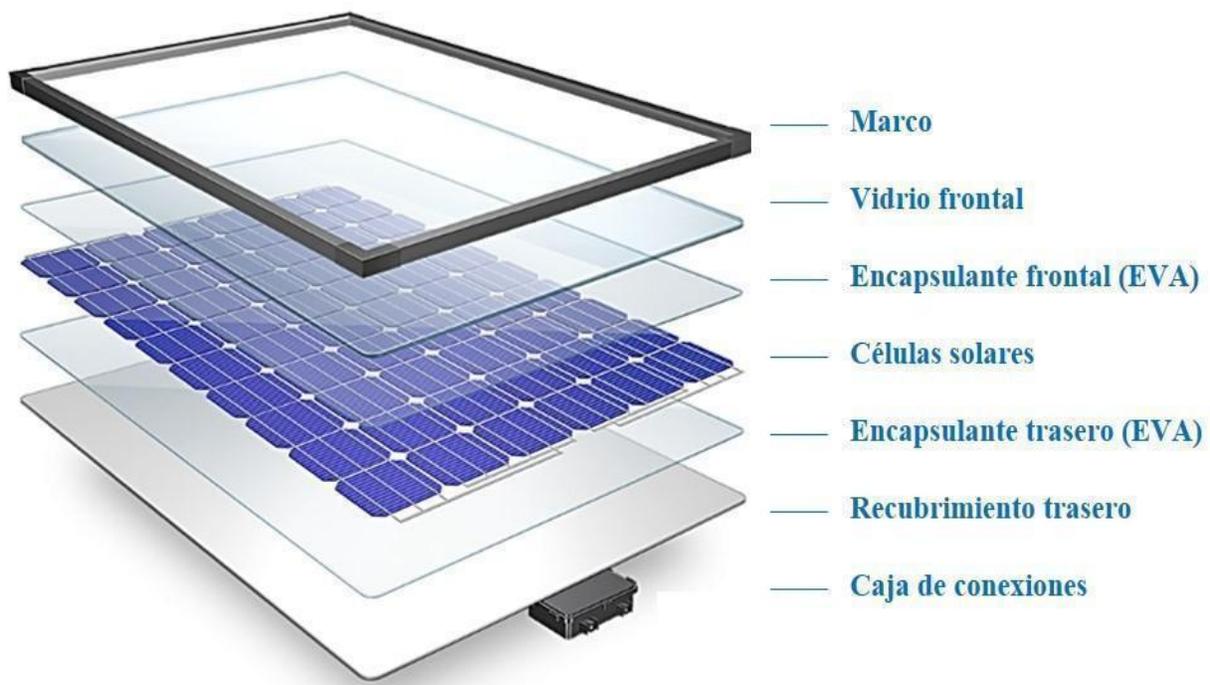
3 ELEMENTOS RECICLABLES DENTRO COMPONENTES PANELES SOLARES

Un panel solar es como un sándwich con células en el centro que utiliza silicio como semiconductor que es el que convierte la luz en electricidad. Para interconectar los cristales de silicio se utilizan tiras de metal generalmente plata que se entrecruzan en la superficie de los cristales de silicio y mueven la electricidad al cableado de cobre del panel solar.

Las células solares están encapsuladas en una barrera protectora generalmente un plástico transparente llamado EVA (etilvinilacetato) que se utiliza como elemento de protección frente a la humedad, impurezas o daños mecánicos, además de servir como aislante entre las células y las conexiones eléctricas. Una capa más de cristal va en la parte superior y otro tipo de plástico llamado PET (Tereftalato de Polietileno) o Tedlar para la cubierta posterior. Todo esto es compactado por un marco de aluminio.

Figura 4

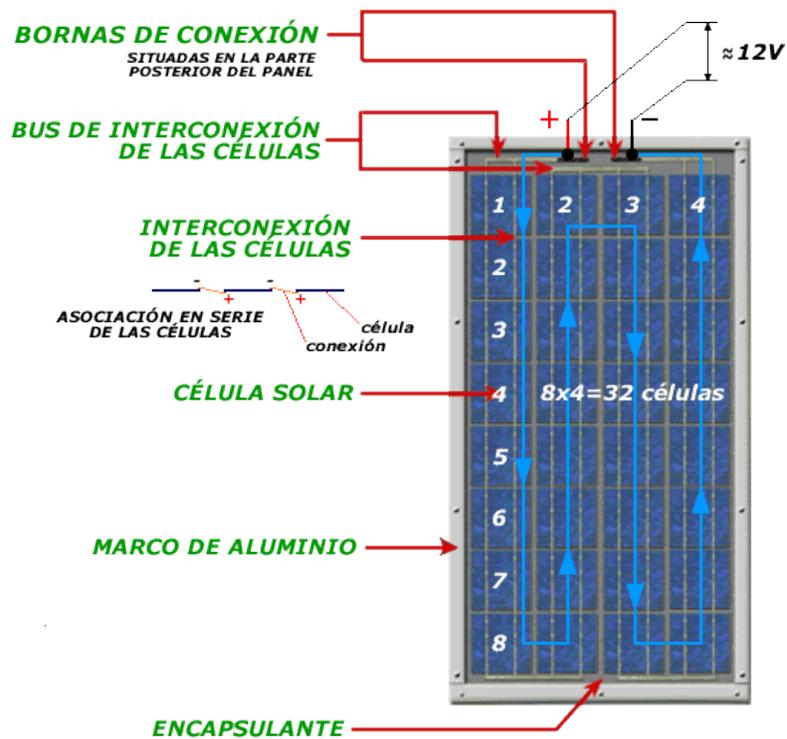
Despiece de panel solar fotovoltaico



Nota. La figura muestra **las capas de un panel fotovoltaico en despiece**. Tomado de: ECO GREEN ENERGY, [Imagen], noviembre 2019 <https://www.eco-greenenergy.com/es/que-es-el-eva/>

Figura 5

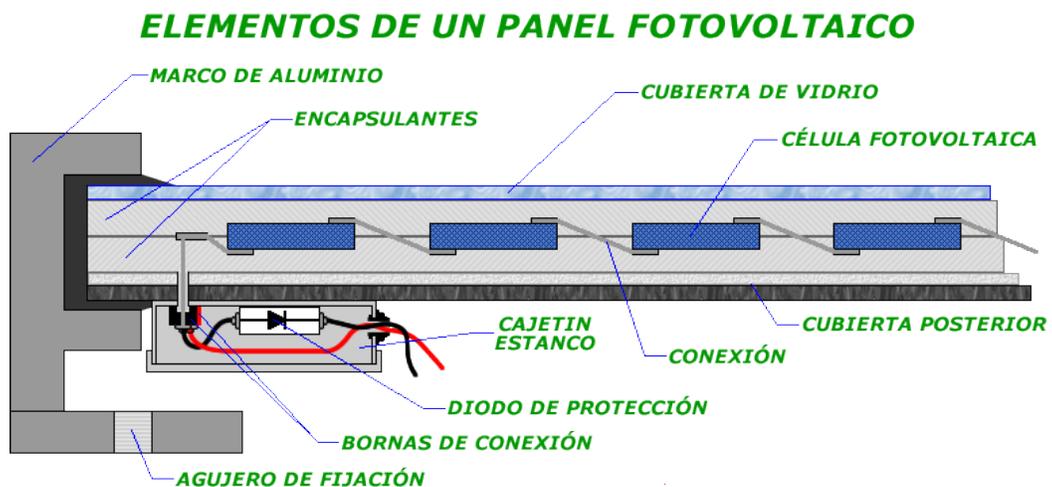
Componentes internos de panel solar fotovoltaico



Nota. La figura muestra los componentes internos de un panel solar fotovoltaico en vista superior
Tomado de: Fuente pública internet.

Figura 6

Corte lateral de panel solar fotovoltaico



Nota. La figura muestra los componentes del panel solar fotovoltaico en un corte lateral.
Tomado de: Fuente pública internet.

3.1 Tipo de paneles solares

Hay tres tipos de paneles solares que actualmente se ofrecen comercialmente y que requieren diferentes formas de manejo para su reciclaje.

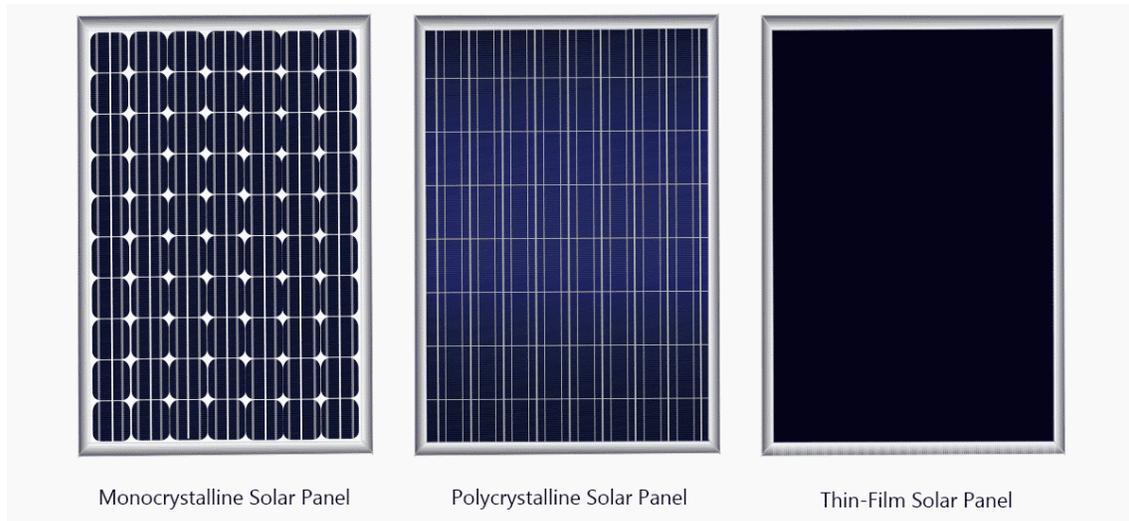
- ***Paneles solares monocristalinos:*** Son los más utilizados hoy en día, el material de las células solares de silicio puro creadas a partir de un lingote del cual se cortan obleas de este material.

Este tipo de panel tiene la mayor eficiencia comparado con los otros tipos de panel solar y mayor vida útil.

- ***Paneles solares policristalinos:*** Las células solares fabricadas de cristales de silicio no alineados tienen una eficiencia menor y ocupan más espacio para producir la misma cantidad de energía que un panel monocristalino y menor vida útil.
- ***Paneles solares de película delgada:*** Las células solares utilizan una capa de silicio más delgada y es combinada con más materiales algunos tóxicos como el cadmio y telurio. Su costo es más elevado que los demás. La vida útil es la menor de los otros dos paneles.

Figura 7

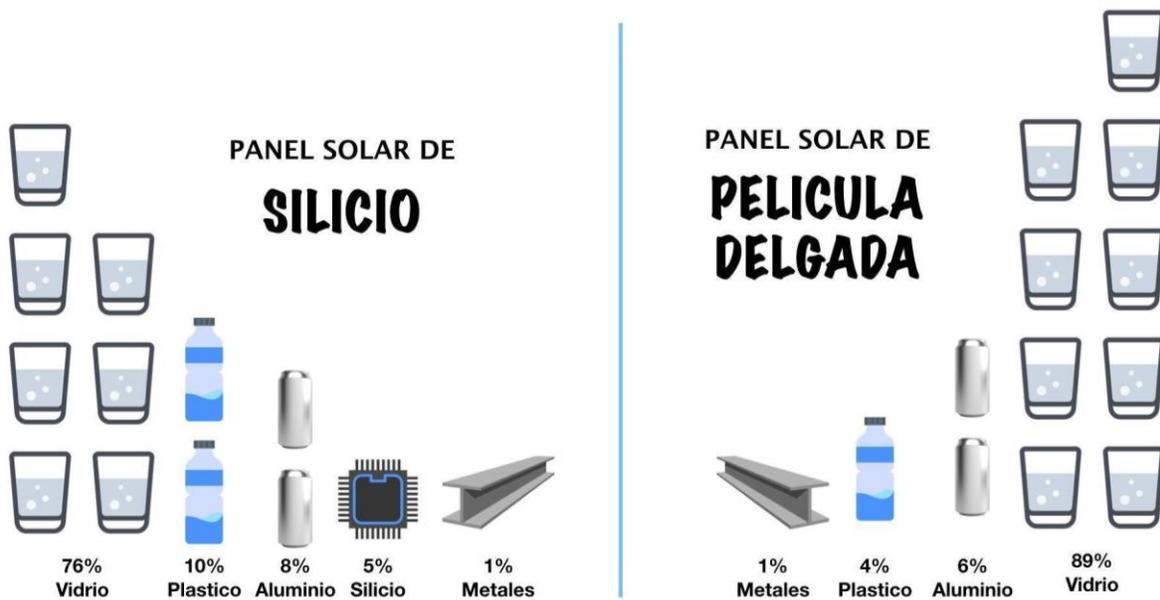
Tipos de paneles fotovoltaicos



Nota. La figura muestra los tres tipos de paneles solares que se fabrican actualmente
Tomado de: Tipos de Paneles Solares: En el Mercado y en el Laboratorio [2020]
(solarmagazine.com)

Figura 8

Porcentaje de materiales en paneles de base silicio y película delgada



Nota. La figura muestra el porcentaje de cada material que compone los tipos de paneles solares.

Tomado de: Vekony [Imagen], Greenmatch, 2021 Recycling: A Solar Panel's Life after Death | GreenMatch

Hay que tener en cuenta que el silicio no es el único material semiconductor con la capacidad de generar electricidad bajo la radiación solar, en los últimos años materiales como el telurio de cadmio con propiedades similares se están utilizando en tecnologías de paneles de lámina delgada ya que requieren sólo pequeñas cantidades de material semiconductor siendo la lámina de unos pocos micrómetros de grosor, además de ser estables a largo plazo en condiciones de exposición en el exterior.

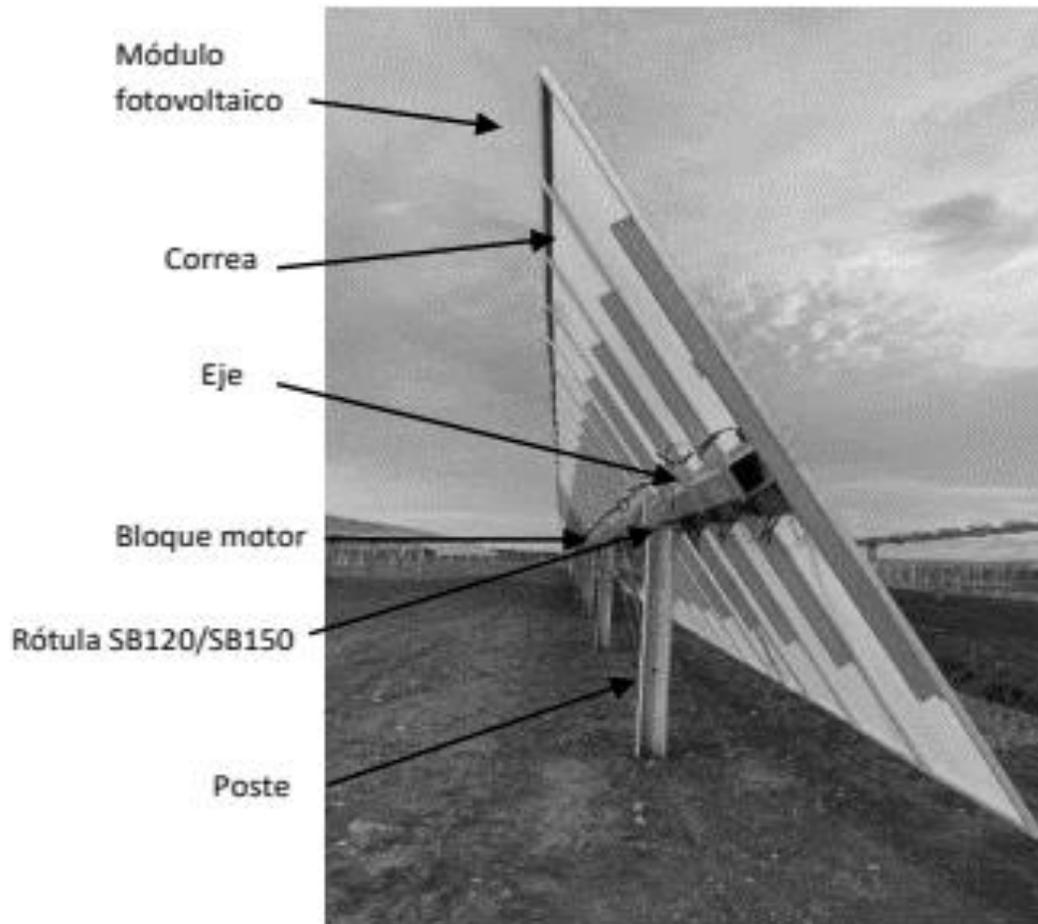
3.2 Tracker

Los tracker son el sistema mecánico encargado de orientar los paneles solares para que reciban los rayos solares. El estándar de los tracker está conformado por los siguientes elementos:

- **Postes** los cuales sostienen toda la estructura.
- **Rotulas** que son las encargadas de realizar el giro de los paneles solares.
- **Ejes** son los encargados de mover junto con las rotulas la estructura de los paneles solares.
- **Bloque motor** es el sistema encargado de transmitir la fuerza de giro a los ejes para el movimiento de los paneles.
- **Correas:** Encargadas de dar rigidez y fijación del panel a la estructura.
- **Panel fotovoltaico:** elemento principal de tracker.

Figura 9

Componentes de un Tracker



Nota. Identificación de las partes de un tracker fotovoltaico. Tomado de: (ESAsolar, 2021). [imagen datasheet] ESAsolar, 2021, <https://esasolar.com/wp-content/archivos/Datasheet-t%C3%A9cnico-ESATRACKM5-actualizada.pdf>

Figura 10

Disposición de componentes de un tracker.



Nota. La figura muestra como es el tracker cuando ya esté ensamblado. Tomado de Fuente pública internet

En la figura anterior se toma un ejemplo de montaje de un tracker pero esto puede variar en cada proyecto de acuerdo con los requerimientos técnicos del diseño del cliente en este podemos ver que el tracker está compuesto por una fila de 90 módulos fotovoltaicos, 10 postes soporte módulos, 1 poste para el motor,

En la siguiente tabla se muestran los componentes generales que predominan en cuanto a peso de los tracker para así poder estimar el peso de la estructura de acero.

Tabla 6

Listado de componentes y materiales de trackers parque solar

Descripción	Material	Peso cada pieza	Cantidad por tracker	Imagen referencia
Poste	Acero	36 Kg	11	

Tabla 6 (Continuación)

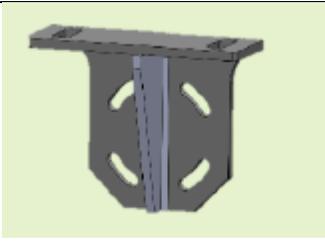
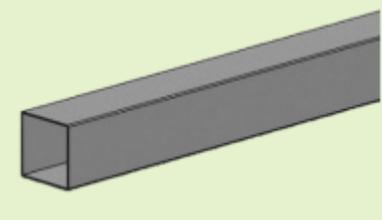
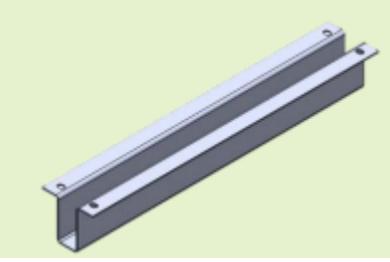
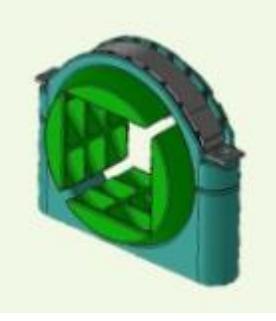
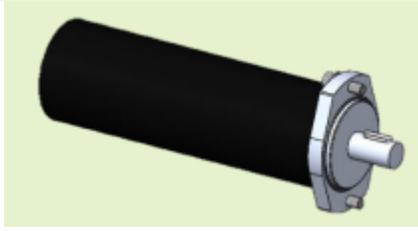
Descripción	Material	Peso cada pieza	Cantidad por tracker	Imagen referencia
Soporte motor	Acero	4.47 Kg	2	
Soporte rotulas	Acero	2.07 Kg	10	
Eje de rotacion	Acero	92.74 Kg	10	
Correas tipo omega	Acero	1.7 Kg	88	
Rotula	Poliamida	0.2 Kg	10	

Tabla 6 (Continuación)

Descripción	Material	Peso cada pieza	Cantidad por tracker	Imagen referencia
Motor	Varios componentes	57.4 Kg	1	
Panel solar	Varios componentes	30 Kg	90	

Nota. Información de los pesos de los componentes de un tracker con sus cantidades. Tomado de: (ESAsolar, 2021).[Datasheet] ESAsolar, 2021, <https://esasolar.com/wp-content/archivos/Datasheet-t%C3%A9cnico-ESATRACKM5-actualizada.pdf>

Peso acero por MW x MW de 221 proyectos solares = Peso total de acero

$$54.326 \text{ Kg} \times 11299 \text{ MW} = 613.829.474 \text{ Kg}$$

Peso de paneles solares	Peso de acero estructura soporte
662.017 ton	613.829 ton

Comparando los pesos totales de los paneles solares y de la estructura soporte en acero de estos paneles vemos que este peso corresponde al 92% y además se sabe que el porcentaje de reciclaje del acero llega a un 100%, nos enfocaremos en el reciclaje de los paneles solares ya que por el proceso más complejo para su reciclaje.

4 MÉTODOS DE TRATAMIENTO Y DISPOSICIÓN DE LOS MATERIALES RECICLABLES DEL SISTEMA DE GENERACIÓN DE ENERGÍA FOTOVOLTAICA.

Los paneles solares tienen una vida larga, estos llegan a producir energía hasta 30 años y los diversos materiales de sus componentes se pueden reciclar en un 90% contribuyendo de esta manera a la sostenibilidad de esta energía limpia.

El reciclaje no consiste en su reutilización de los paneles puesto que las placas solares de segunda mano nunca van a tener el mismo rendimiento que uno nuevo. El reciclaje consiste en el reaprovechamiento de los materiales de los cuales están hechos los módulos, principalmente vidrio y aluminio.

4.1 Tipos de reciclaje

4.1.1 Reciclado térmico

La técnica de reciclado estándar se basa en el tratamiento térmico y consiste en quemar los plásticos para separar las células del vidrio. Esto es aproximadamente el 80% del panel. Después se llevan a cabo diferentes procesos químicos para eliminar la capa anti reflectante, si la hubiese, y separar los contactos metálicos.

Los materiales semiconductores como las obleas de silicio también se pueden reutilizar. Este material se puede reciclar hasta cuatro veces.

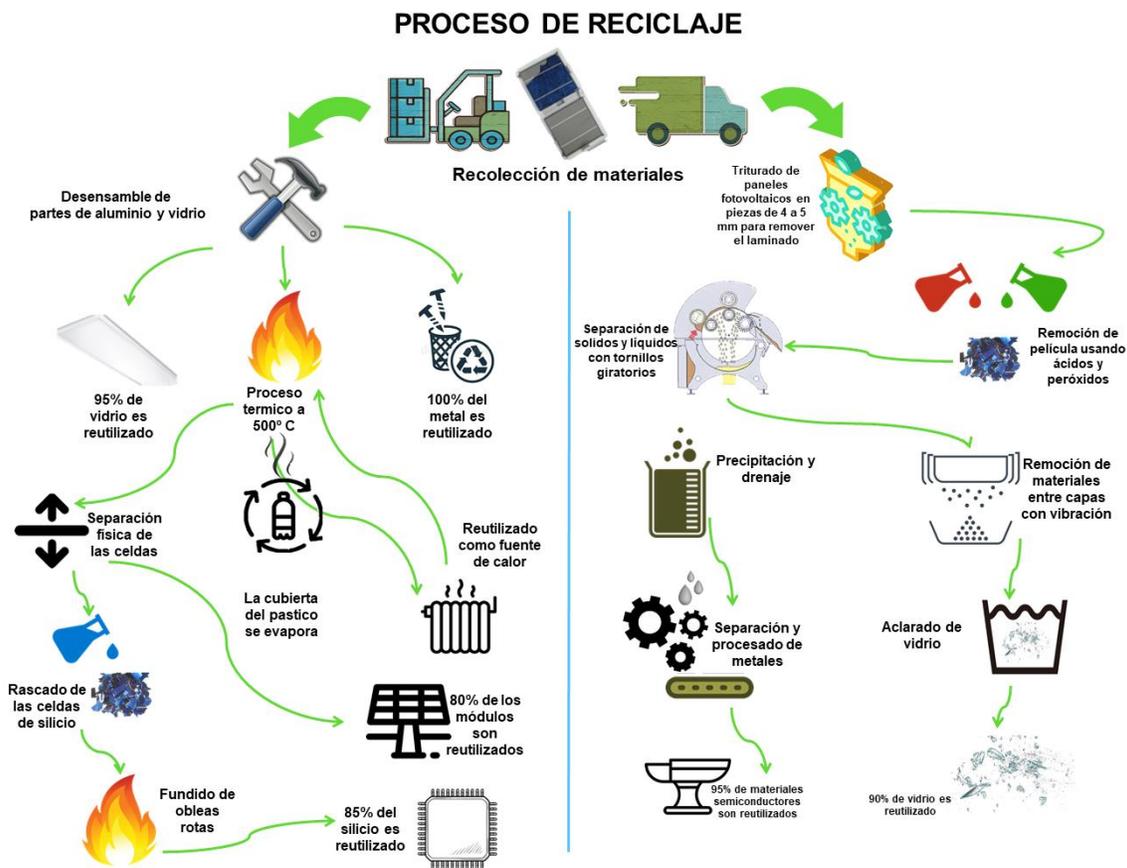
4.1.2 Reciclado mecánico

La segunda técnica de reciclado utilizada es mecánica. Consiste en moler todo el panel despejado de su marco para después ser trabajado a base de procesos químicos. Se tritura para extraer los materiales y luego se procesan para obtener materiales secundarios.

Ambos procesos se realizan en plantas de reciclaje.

Figura 11

Proceso de reciclaje en paneles solares de tipo base silicio y película delgada



Nota. La figura muestra los dos procesos más representativos de reciclaje de paneles solares que existen en la actualidad. Tomado de: Vekony [Imagen], Greenmatch, 2021 Recycling: A Solar Panel's Life after Death | GreenMatch Recycling: A Solar Panel's Life after Death | GreenMatch

De los dos procesos de reciclaje más representativos que se utilizan en la actualidad como son el proceso mecánico y proceso térmico, se ha evidenciado que es muy similar los porcentajes de recuperación de los materiales después del proceso de reciclaje. En la tabla N°7 se puede ver que en el proceso mecánico hay un 10% más de recuperación de material semiconductor, hay que tener en cuenta que el proceso de trituración se realiza para las células de película delgada por lo que esto es lo que hace la diferencia con los paneles basados en silicio.

Tabla 7

Comparativo de % reciclaje de los 2 procesos de tratamiento de los paneles

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

Nota. Porcentajes que se obtienen del reciclaje de paneles solares dependiendo del proceso que se debe aplicar. Tomado de: Vekony [Datos imagen], Greenmatch, 2021
Recycling: A Solar Panel's Life after Death | GreenMatch

5 GUIA PARA LA DISPOSICIÓN DE PANELES SOLARES AL FINAL DE SU CICLO DE VIDA

El tratamiento de los módulos solares se puede realizar de diferentes formas dependiendo de la empresa que haya sido creada para este fin. Como se observa en la figura 10 se identifican dos escenarios.

1. Triturar el panel mediante procedimientos mecánicos
2. Manejo mediante elementos químicos y procesos térmicos.

En el futuro es de esperar la posibilidad de combinar estos dos escenarios para obtener un mejor rendimiento en los procesos que intervienen en cada uno.

Es inevitable el impacto ambiental que se presenta, al realizar estos procesos de reciclaje por el manejo de agentes químicos y emisiones que se generan en los tratamientos térmicos y mecánicos y es una variable a tener en cuenta e implementar los programas que reduzcan al mínimo este impacto.

5.1 Guía para la disposición de paneles solares al final de su ciclo de vida con el método mecánico

Tabla 8

Guía para la disposición de paneles solares al final de su ciclo de vida con el método mecánico

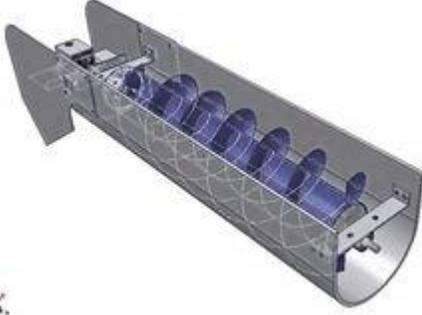
GUIA PARA LA DISPOSICIÓN DE PANELES SOLARES AL FINAL DE SU CICLO DE VIDA
FECHA DE ELABORACIÓN: 26/11/2021
PRESENTACIÓN
Con el aumento de proyectos de energías renovables no convencionales enfocados en energía fotovoltaica, se encontró la necesidad en un futuro, cuando la vida útil de los proyectos se vea completada, en poder disponer de todos los componentes o residuos que generan estos sistemas. En la implementación o construcción de los paneles solares, se deben utilizar diferentes componentes para el correcto y óptimo funcionamiento del sistema, estos componentes varían desde cables, tornillos, varillas hasta tracker o módulos en donde soportan o van instalados los paneles dentro del sistema. En la presente guía se desarrollará un método mecánico para poder disponer de todos estos componentes después de la vida útil de los paneles.

Tabla 8.(Continuación)

OBJETIVO

<p>Realizar la correcta disposición de los paneles solares después de su vida útil, buscando la máxima recuperación de sus componentes realizando los procesos adecuados y óptimos para este fin.</p>	
<p>MÉTODO MECÁNICO DE SEPARACIÓN DE LAS PARTES DEL PANEL</p>	
ACTIVIDAD	DETALLE DEL PROCESO
<p>ACTIVIDADES PREVIAS DE DESMONTAJE</p>	<ul style="list-style-type: none"> El proceso inicia con el desmontaje del panel o módulo del tracker utilizando herramientas de uso común en la mecánica. Retirando tornillería y vigas soporte como también realizar la desconexión eléctrica entre paneles que se realiza manualmente. 
<p>ACOPIO EN SITIO</p>	<ul style="list-style-type: none"> Se debe realizar un acopio en campo para el proceso de traslado a el sitio de reciclaje identificando y cantidades y tipo de panel (por ejemplo: Módulo fotovoltaico de silicio o CdTe cantidad XXX tamaño XX x XX) y solicitar la documentación del panel al dueño del proyecto como el manual suministrado por el fabricante durante el proceso de adquisición del producto.
<p>ACOPIO EN EMPRESA DE RECICLAJE Y PROCESAMIENTO</p>	<ul style="list-style-type: none"> En el sitio de reciclaje y tratamiento se debe realizar una comprobación visual de los paneles para revisar el estado, la documentación que acompaña a los paneles y su clasificación dependiendo del tipo dejando registro de lo recibido. Se debe realizar un pesaje inicial de los paneles dejar registro y luego llevarlo al sitio de almacenamiento que debe cumplir con las normas exigidas y vigentes en el momento del proceso.
<p>El fin de este método es triturar el módulo tras el desmontaje del marco en aluminio y las partes eléctricas para reducir el tamaño y poder separar los componentes más fácilmente. Cuando no es posible desmontar el marco en aluminio se realiza el proceso de triturado del panel completo donde se reducen todos los materiales juntos a las dimensiones deseadas.</p>	
<p>PROCESO DE TRITURACION</p>	<ul style="list-style-type: none"> Se trituran los materiales a unas dimensiones entre 4 y 5 mm donde se encuentran trozos de metal, vidrio, EVA, PET o Tedlar y material de la celda como silicio junto con el polvo generado del triturado.

Tabla 8.(Continuación)

<p>PROCESO DE SEPARACION DE COMPONENTES</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Para la separación de los componentes y la extracción de los materiales semiconductores se debe realizar un proceso mecánico haciéndolos girar en un tambor rotativo lentamente junto con una solución química de ácido sulfúrico y peróxido de hidrógeno y así obtener un lixiviado de dichos metales junto con vidrio, aluminio, EVA y Tedlar
<p>PROCESO DE CLASIFICACION DE MATERIALES</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Toda la mezcla anterior se lleva a un clasificador donde se separan los sólidos y los líquidos por medio de una máquina con tornillo giratorio <i>Clasificador tipo tornillo de Arquímedes.</i>  <p>Nota. Imagen de referencia que muestra el tipo de máquina para realizar la separación de materiales sólidos y líquidos después del proceso aplicado. Tomado de: Fuente pública de internet.</p>
<p>PROCESO DE DECANTACION</p>	<ul style="list-style-type: none"> • El fluido rico en los metales semiconductores se lleva a un proceso de decantación o precipitación, que también por un proceso químico de aumento del PH con la adición de Hidróxido de sodio precipita estos semiconductores. Se obtienen estos metales que deben ser llevados a procesador final para su reutilización
<p>PROCESO DE CRIBADO</p>	<ul style="list-style-type: none"> • A los materiales sólidos separados se debe realizar un cribado que con la aplicación de vibraciones se separa vidrio, metales y polímeros de acuerdo con las dimensiones deseadas.
<p>PROCESO DE TRATAMIENTO DEL VIDRIO</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Para el proceso de tratamiento del vidrio se realiza la limpieza empleando agua caliente y agitación; posteriormente los compuestos resultantes de este lavado se separan por decantación y secado. El material obtenido se lleva a un nuevo proceso de moldeo para su reutilización.
<p>PROCESO DE TRATAMIENTO DE OTROS MATERIALES</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Luego del proceso de cribado los otros materiales diferentes al vidrio como son metales y polímeros se seleccionan y se disponen directamente con la empresa de disposición final para ser reutilizado

Nota. La tabla muestra en detalle los pasos para el proceso del reciclaje de los paneles fotovoltaicos con el método mecánico.

Figura 12

Guía gráfica del proceso mecánico de reciclaje paneles solares



Nota. La figura muestra guía con los pasos para el tratamiento de los paneles posterior a su ciclo de vida

5.2 Guía para la disposición de paneles solares al final de su ciclo de vida con el método térmico

Para los módulos fabricados a base de silicio el reciclaje de células monocristalinas y policristalinas busca la reutilización de las obleas existentes para generar el ahorro de materia prima como energético; junto con los problemas de disponibilidad del silicio como su elevado costo este proceso es óptimo para este tipo de paneles.

Cuando no se tritura el panel buscando conservar de forma intacta el vidrio y la celda solar se puede utilizar un proceso térmico donde a través de un gradiente de temperatura se separa el material encapsulante de la celda solar EVA; también se retiran con este proceso otros revestimientos y láminas plásticas que se usan en el aislamiento de las diferentes partes de la celda.

A tener en cuenta dentro de este proceso térmico son el manejo de los gases producidos en el proceso de combustión, la emisión de estos a la atmósfera y o cualquier vertimiento producido que deben estar conformes con las normativas vigentes. Adicional se debe continuar con el registro de materiales y cantidades extraídas durante el proceso.

Tabla 9.

Guía para la disposición de paneles solares al final de su ciclo de vida con el método térmico

GUIA PARA LA DISPOSICIÓN DE PANELES SOLARES AL FINAL DE SU CICLO DE VIDA	
FECHA DE ELABORACIÓN: 26/11/2021	
PRESENTACIÓN	
Con el aumento de proyectos de energías renovables no convencionales enfocados en energía fotovoltaica, se encontró la necesidad en un futuro, cuando la vida útil de los proyectos se vea completada, en poder disponer de todos los componentes o residuos que generan estos sistemas. En la presente guía se desarrollará un método térmico para poder disponer de los paneles solares cuando estos cumplan con su vida útil.	
OBJETIVO	
Realizar la correcta disposición de los paneles solares después de su vida útil, buscando la máxima recuperación de sus componentes realizando los procesos adecuados y óptimos para este fin.	
MÉTODO TÉRMICO DE SEPARACIÓN DE LAS PARTES DEL PANEL	
ACTIVIDAD	DETALLE DEL PROCESO

Tabla 9. (Continuación)

<p>ACTIVIDADES PREVIAS DE DESMONTAJE</p>	<ul style="list-style-type: none"> El proceso inicia con el desmontaje del panel o módulo del tracker utilizando herramientas de uso común en la mecánica. Retirando tornillería y vigas soporte como también realizar la desconexión eléctrica entre paneles que se realiza manualmente. <p><i>Imagen referencia desmontaje de panel solar de Tracker.</i></p>  <p>Nota. La imagen muestra el tipo de herramienta utilizada para desmontaje del panel solar de la base del tracker.</p> <p>Tomado de: Fuente pública de internet.</p>
<p>ACOPIO EN SITIO</p>	<ul style="list-style-type: none"> Se debe realizar un acopio en campo para el proceso de traslado a el sitio de reciclaje identificando y cantidades y tipo de panel (por ejemplo: Módulo fotovoltaico de silicio o CdTe cantidad XXX tamaño XX x XX) y solicitar la documentación del panel al dueño del proyecto como el manual suministrado por el fabricante durante el proceso de adquisición del producto.
<p>ACOPIO EN EMPRESA DE RECICLAJE Y PROCESAMIENTO</p>	<ul style="list-style-type: none"> En el sitio de reciclaje y tratamiento se debe realizar una comprobación visual de los paneles para revisar el estado, la documentación que acompaña a los paneles y su clasificación dependiendo del tipo dejando registro de lo recibido. Se debe realizar un pesaje inicial de los paneles dejar registro y luego llevarlo al sitio de almacenamiento que debe cumplir con las normas exigidas y vigentes en el momento del proceso.
<p>DESENSAMBLE DE COMPONENTES EXTERNOS</p>	<ul style="list-style-type: none"> Ya en el proceso principal de reciclaje se debe desensamblar el marco en aluminio junto con los componentes eléctricos como son los cables de conexión y sus cajas eléctricas, buscando no ocasionar ningún daño en el vidrio del módulo. Se debe generar un registro general de los componentes que se desensamblan del módulo.
<p>PROCESO DE SEPARACION E COMPONENTES DEL VIDRIO</p>	<ul style="list-style-type: none"> Después del desensamble del marco, se realiza un proceso de descomposición térmica aplicando un gradiente de temperatura sobre el vidrio y la celda para separar la capa de EVA y otros componentes que se adhieren al vidrio otro método es utilizar disolventes químicos para la separación pero este proceso genera un impacto ambiental alto por lo que no es recomendable.

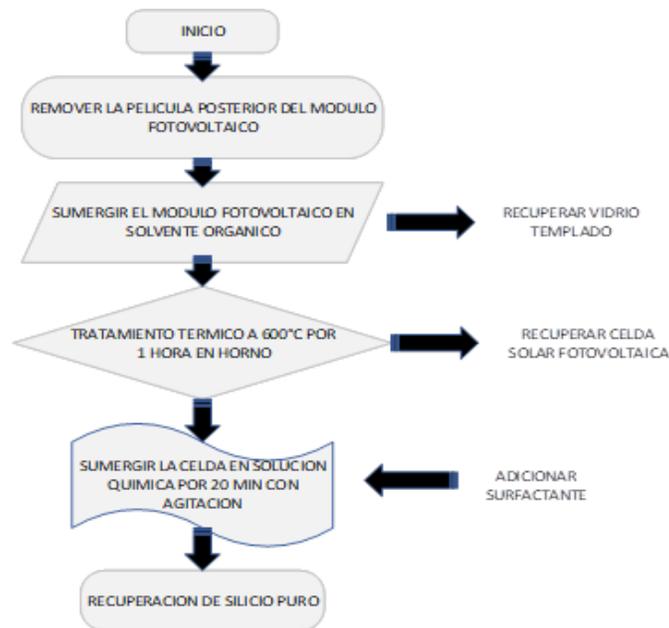
Tabla 9. (Continuación)

<p>PROCESO DE RECUPERACION DE LA CELDA SOLAR</p>	<ul style="list-style-type: none"> Se debe realizar una descomposición térmica para eliminar los restos de encapsulante EVA y así recuperar intacta la células solar separándose del vidrio y demás componentes. <p>A tener en cuenta: En este proceso hay que tener en cuenta de la liberación de gases que pueden ser tóxicos por lo que se debe tener un sistema de limpieza y depuración para gases y cenizas producidas y su control de acuerdo a las normas establecidas vigentes.</p>
<p>PROCESO DE LIMPIEZA DE LA CELULA SOLAR</p>	<ul style="list-style-type: none"> Luego se debe realizar un ataque químico a las células que elimina el resto de las impurezas metálicas que quedan presentes. Se debe disponer con el fabricante el material obtenido para su reutilización fundiéndose de nuevo y obteniendo nuevas obleas.
<p>DISPOSICION DEL VIDRIO</p>	<ul style="list-style-type: none"> Después de la separación de los componentes que habían sido adheridos al vidrio, este queda intacto para ser reutilizado en la fabricación de paneles solares nuevos.

Nota. La tabla muestra en detalle los pasos para el proceso del reciclaje de los paneles fotovoltaicos con el método térmico.

Figura 13

Proceso ejemplo de recuperación de células de Silicio



Nota. Muestra el proceso de ejemplo de la recuperación de células de silicio en primeras investigaciones hechas. Tomado de: Kang, Sukmin & Yoo, Sungyeol & Lee, Jina & Boo, Bonghyun & Ryu, Hojin. (2012).

Experimental investigations for recycling of silicon and glass from waste photovoltaic modules. Renewable Energy. 47. 152–159. 10.1016/j.renene.2012.04.030.

Figura 14

Guía gráfica del proceso térmico de reciclaje paneles solares



Nota. La figura muestra guía con los pasos para el tratamiento de los paneles posterior a su ciclo de vida

Disponer del aluminio y el vidrio que componen los paneles solares y darles una nueva vida tiene múltiples beneficios. El primero es el gran impacto que el reciclaje de estos elementos tiene sobre el medioambiente.

El reciclaje de todo tipo ayuda a:

- Disminuir la explotación y consumo de recursos naturales
- Ayuda a rebajar el consumo de energía y la contaminación de la atmósfera
- Disminuye el uso de vertederos que contaminan el medioambiente

Adicionalmente, el reciclaje tiene un alto impacto sobre la economía. Un proyecto de reciclaje masivo y correcto va a crear puestos de trabajo y de esta manera se promueve los principios de una economía circular que en términos generales busca:

- Reducir 450 millones de toneladas de emisiones CO2 en el 2030
- Generar ahorros
- Crear nuevos puestos de empleo.

La economía, el medioambiente y la sostenibilidad funcionan mejor cuando están enfocados hacia la misma dirección. Es por esto, que el reciclaje de los paneles solares es primordial, lo que convierte este método de generación de energía en el abanderado entre todas las energías limpias.

6 REGULACIÓN ACTUAL

Las normas que actualmente rigen el manejo de paneles solares fotovoltaicos son las siguientes:

Tabla 10

Regulación Actual que rige el manejo de paneles solares en Colombia.

Norma	Entidad	Descripción
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
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.
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 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

Tabla 10. (Continuación)

Norma	Entidad	Descripción
TC 24 de 2009	Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC)	Guía para la separación en la fuente. Gestión Ambiental.
GTC 86 de 2003	ICONTEC	Guía para la implementación de la Gestión Integral de Residuos Sólidos – GIR.
NTC 2775 de 2005	ICONTEC	Energía Solar Fotovoltaica: Terminología y definiciones.

Nota. La tabla muestra las normas vigentes que rigen el manejo de lo relacionado con los sistemas fotovoltaicos en Colombia.

7 CONCLUSIONES

Con el desarrollo de esta investigación se pudo evidenciar que todas las tecnologías fotovoltaicas que se utilizan en los paneles solares requieren una gestión responsable del manejo de los residuos después de su vida útil ya que, si no se tratan de una manera adecuada, estos materiales pueden llegar a generar un impacto ambiental grande en nuestro país.

En Colombia existen 223 proyectos de energía solar que se encuentran en diferentes fases de evaluación y aprobación con capacidades que en mayor proporción (46% del total de proyectos) se encuentran entre los 1 y 10 MW de generación y donde cerca del 12 % de estos proyectos tienen una capacidad para la generación de energía de más de 100 MW. Estos proyectos generarían cerca de 0.65 millones de toneladas en residuos una vez cumplan su vida útil.

Los paneles fotovoltaicos contienen materiales recuperables tales como el vidrio, aluminio y celdas solares; estos pueden ser reutilizados una vez los módulos alcancen su vida útil. El 90% de los componentes son reutilizables mediante procesos de reciclaje térmico y mecánico.

La visión a futuro del manejo de estos elementos genera una oportunidad del surgimiento de nuevas empresas, aumento de nuevos empleos y la apertura de nuevos canales económicos, pero también se debe crear normas y políticas que regulen y controlen el manejo de estos elementos y sus residuos ya que en el momento las normativas que aplican no profundizan y no están pensadas en el futuro del manejo de los desechos que se van a producir.

En conclusión, la transición energética juega un papel importante en la economía, la sostenibilidad y desarrollo de nuestro país, pero se debe hacer de manera responsable y consciente con regulaciones de normatividad técnico-ambientales después de su vida

útil, y por eso se creó esta guía para conocer y tener un espectro más amplio de cómo se debe disponer de estos residuos al final de cada proyecto.

BIBLIOGRAFIA

Crownhart, C. (2021, 19 agosto). Solar panels are a pain to recycle. These companies are trying to fix that. MIT Technology Review. <https://www.technologyreview.com/2021/08/19/1032215/solar-panels-recycling/>

Enel Green Power. (2021). Módulo fotovoltaico. Enel Green Power <https://www.enelgreenpower.com/es/learning-hub/energias-renovables/energia-solar/modulo-fotovoltaico>

Energias Renovables Info. (2014, 12 noviembre). Tipos de paneles fotovoltaicos. Energías Renovables. <https://www.energiasrenovablesinfo.com/solar/tipos-paneles-fotovoltaicos/>

ESAsolar. (2021, enero). Estructura EsatrackM5 [Datasheet]. Obtenido de Esasolar: <https://esasolar.com/wp-content/archivos/Datasheet-t%C3%A9cnico-ESATRACKM5-actualizada.pdf>

Escuela Moreno C., Estudio sobre las posibilidades de valorización de residuos de paneles fotovoltaicos (Trabajo de grado). Universidad de La Laguna. <https://riull.ull.es/xmlui/handle/915/5835>

Fin solar. (2021, 21 mayo). 10 razones para Instalar Paneles Solares de Telurio de Cadmio en 2021. Finsolar. <https://fin.solar/noticias/paneles-solares-de-teluro-de-cadmio/>
<https://resource-recycling.com/recycling/2021/06/15/how-the-recycling-industry-is-preparing-to-tackle-solar-panels/>

Kang, S., Yoo, S., Lee, J., Boo, B., & Ryu, H. (30 de 04 de 2012). Experimental investigations for recycling of silicon and glass from waste photovoltaic modules. Renewable Energy. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148112002716>

- Lorenzo, J. (2022, 31 enero). Tipos de Células Fotovoltaicas y su estructura. SunFields Distribuidor de material y equipos fotovoltaicos. <https://www.sfe-solar.com/noticias/articulos/celula-fotovoltaica-tipos-y-estructura/>
- Mag, S. (2021, 19 agosto). Tipos de Paneles Solares: En el Mercado y en el Laboratorio [2020]. Solar Magazine. <https://solarmagazine.com/es/paneles-solares/>
- Marsh, J. (2021, 17 septiembre). Solar panel recycling: what you need to know. Solar News. <https://news.energysage.com/recycling-solar-panels/>
- Niclas. (2014, 30 Marzo). Introduction to solar panel recycling. Sinovaltaics. <https://sinovoltaics.com/solar-basics/introduction-to-solar-panel-recycling/>
- Paben, J. (2021, 18 junio). How the recycling industry is preparing to tackle solar panels. Resource Recycling News.
- Planas, O. (2020, 17 noviembre). ¿Qué es el silicio policristalino? Energia solar. <https://solar-energia.net/energia-solar-fotovoltaica/elementos/panel-fotovoltaico/celula-fotovoltaica/silicio/silicio-policristalino>
- Polymerfilms. (2021, marzo 3). Producto destacado: Tedlar®. PolymerFilms. <https://www.polymerfilms.com/es/tedlar/tedlar-film/>
- PV CYCLE. (2012, 2 julio). Recycling of silicon based PV modules. [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=81-MEpcA-Rc>
- Rhode, E. (2021, 12 octubre). Types of Solar Panels: Pros and Cons.. Treehugger. <https://www.treehugger.com/types-of-solar-panels-pros-and-cons-5181546>

Solares, P. (2020, 20 abril). Cálculo de Paneles Solares | Todo lo que necesitas saber. Paneles Solares. https://www.paneles-solares.org/calculo/#Calculo_de_Paneles_Solares

Vekony, A. T. (2021, 24 de marzo). The Opportunities of Solar Panel Recycling. Obtenido de greenmatch: <https://www.greenmatch.co.uk/blog/2017/10/the-opportunities-of-solar-panel-recycling>