



**Plan de manejo para disposición final de paneles solares de Energía
Integral Andina S.A.**

Santiago Eduardo Rodriguez Blanco

Universidad El Bosque
Facultad de Ingeniería
Programa Ingeniería Ambiental
Bogotá, 15 de noviembre de 2018

**Plan de manejo para disposición final de paneles solares de Energía
Integral Andina S.A.**

Santiago Eduardo Rodriguez Blanco

Trabajo de investigación presentado como requisito parcial para optar al título de:
Ingeniero Ambiental

Director:
Johann Gil Toquica

Línea de Investigación:
Gestión Ambiental, Responsabilidad Social y Gestión Integral Sustentable.

Universidad El Bosque
Facultad de Ingeniería
Programa Ingeniería Ambiental
Bogotá, Colombia
2018

Plan de manejo para disposición final de
paneles solares de Energía Integral Andina S.A.

Santiago Eduardo Rodriguez Blanco

Acta de Sustentación

Nota de Salvedad de Responsabilidad Institucional

La Universidad El Bosque, no se hace responsable de los conceptos emitidos por los investigadores en su trabajo, solo velara por el rigor científico, metodológico y ético del mismo en aras de la búsqueda de la verdad y la justicia.

Dedicatoria

Este proyecto está dedicado a mi familia, quienes han sido un apoyo incondicional en cada una de las etapas de mi vida.

A mis padres que han entregado su tiempo, amor, motivación y paciencia para que yo sea la persona que soy. Por brindarme valores y principios que me ayudan a crecer humana y profesionalmente.

Agradecimientos

A Dios por permitirme culminar el presente proyecto y la finalización de esta etapa de mi vida.

A la Universidad El Bosque por permitirme prepararme satisfactoriamente en estos cinco años.

A mi director de tesis, Johann Gil Toquica, por su asesoría, conocimiento, dedicación y motivación para lograr finalizar exitosamente lo establecido.

A mis padres, mi hermano y mi familia por estar pendiente en cada uno de los procesos que realice.

A la empresa Energía Integral Andina S.A., por dedicarme y entregarme todo el tiempo necesario para realizar el proyecto.

Finalmente, a cada una de las personas que intervinieron directa e indirectamente para hacer posible la culminación del proyecto.

Tabla de Contenido

1. Resumen	9
2. Abstract	9
3. Lista de abreviaciones	10
4. Introducción	11
5. Planteamiento del problema	12
6. Justificación	13
7. Objetivos y Pregunta de Investigación	14
7.1. <i>Objetivo General</i>	14
7.2. <i>Objetivos Específicos</i>	14
7.3. <i>Pregunta de Investigación</i>	14
8. Marco de referencia	15
8.1. <i>Antecedentes</i>	15
8.2. <i>Marco Conceptual</i>	18
8.3. <i>Marco Teórico</i>	20
8.4. <i>Marco Normativo</i>	21
8.5. <i>Marco Institucional</i>	23
8.6. <i>Marco Geográfico</i>	23
8.7. <i>Marco Demográfico</i>	24
9. Marco Metodológico	26
9.1. <i>Enfoque de la investigación</i>	26
9.2. <i>Alcance de la investigación</i>	26
9.3. <i>Matriz metodológica para Objetivo Específico 1</i>	27
9.4. <i>Matriz metodológica para Objetivo Específico 2</i>	28
10. Cronograma	29
11. Presupuesto	30
12. Resultados	31
12.1. <i>Desarrollo y resultados de Objetivo Específico 1</i>	31
12.1.1. <i>Componentes del sistema fotovoltaico</i>	31
12.1.2. <i>Celda solar fotovoltaica</i>	31
12.1.3. <i>Tipos de paneles solares según su tecnología</i>	33
12.1.4. <i>Composición de paneles solares</i>	33
12.1.5. <i>Paneles solares de Energía Integral Andina S.A.</i>	35
12.2. <i>Desarrollo y resultados de Objetivo Específico 2</i>	36

12.2.1.	<i>Diagnóstico General de la Gestión de Residuos</i>	36
12.2.2.	<i>Tabla de Clasificación de los Residuos de un Panel Solar</i>	38
12.2.3.	<i>Diagnóstico de Residuos No Peligrosos en EIASA</i>	39
12.2.3.1.	<i>Gestión Interna</i>	39
12.2.4.	<i>Diagnóstico de Residuos Peligrosos en EIASA</i>	40
12.2.4.1.	<i>Gestión Interna</i>	40
12.2.5.	<i>Propuesta de mejora</i>	41
12.2.5.1.	<i>Gestión e identificación de los residuos sólidos convencionales</i>	42
12.2.5.1.1.	<i>Depósito de Almacenamiento</i>	43
12.2.5.1.2.	<i>Condiciones de almacenamiento</i>	43
12.2.5.1.3.	<i>Diseño</i>	43
12.2.5.1.4.	<i>Manejo Seguro de Residuos</i>	43
12.2.5.1.5.	<i>Elementos de Protección Personal y Ayudas Mecánicas</i>	43
12.2.5.1.6.	<i>Mantenimiento</i>	44
12.2.5.1.7.	<i>Disposición final</i>	44
12.2.5.2.	<i>Gestión e identificación de los residuos peligrosos</i>	44
12.2.5.3.	<i>Etiqueta</i>	46
12.2.5.4.	<i>Depósito de Almacenamiento</i>	46
12.2.5.4.1.	<i>Condiciones del Sitio de Almacenamiento</i>	47
12.2.5.4.2.	<i>Ubicación</i>	47
12.2.5.4.3.	<i>Diseño</i>	47
12.2.5.4.4.	<i>Otras instalaciones</i>	47
12.2.5.5.	<i>Manejo Seguro de Residuos</i>	48
12.2.5.5.1.	<i>Elementos de Protección Personal y Ayudas Mecánicas</i>	48
12.2.5.5.2.	<i>Mantenimiento</i>	48
12.2.5.6.	<i>Disposición Final</i>	48
13.	Análisis y discusión de resultados	49
14.	Conclusiones	51
15.	Recomendaciones	52
16.	Referencias Bibliográficas	53
17.	ANEXOS	56
17.1.	Anexo 1:	56
17.2.	Anexo 2: Flujograma para la toma de decisiones en la gestión de RAEE.	58
17.3.	Anexo 3: Especificaciones generales de paneles solares usados por EIASA.	59
17.4.	Anexo 4: Cálculo porcentual de materiales de celda fotovoltaica.	60
17.5.	Anexo 5: Gestores para Tratamiento de RAEE en Bogotá D.C.	64

17.6. Anexo 6: Evidencia Fotográfica.....	65
17.7. Anexo 7: Programa de Residuos Sólidos Convencionales.....	67
17.8. Anexo 8: Programa de Residuos Peligrosos.	68
17.9. Anexo 9: Plan de Manejo para disposición final de Paneles Solares	69
17.10. Anexo 10: Distribución de cuarto de almacenamiento para residuos sólidos	72
17.11. Anexo 11: Distribución de cuarto de almacenamiento para residuos peligrosos.....	73

Gráficas

- Gráfica 1: Número de proyectos registrados desde el año 2007 a 2018.
- Gráfica 2: Proyección de desarrollo para la energía fotovoltaica.
- Gráfica 3: Estructura Organizacional de EIASA.
- Gráfica 4: Mapa Físico de Colombia.
- Gráfica 5: Mapa de Bogotá D.C.
- Gráfica 6: Componentes de una instalación solar fotovoltaica.
- Gráfica 7: Características de una celda solar fotovoltaica.
- Gráfica 8: Estructura de módulo solar fotovoltaico.
- Gráfica 9: Etiqueta celda solar fotovoltaica
- Gráfica 10: Flujograma de gestión de RAEE en Colombia.
- Gráfica 11: Dimensiones panel JA SOLAR.
- Gráfica 12: Dimensiones panel INTI.
- Gráfica 13: Sitio de acopio para residuos convencionales.
- Gráfica 14: Sitio de acopio para residuos peligrosos.
- Gráfica 15: Distribución y dimensiones de cuarto de almacenamiento para residuos sólidos.
- Gráfica 16: Distribución y dimensiones de cuarto de almacenamiento para residuos peligrosos.

OT1tablas

- Tabla 1: Proyectos 2017-2018 con capacidad mayor a 400 MW.
- Tabla 2: Número de proyectos registrados por tipo de fuente y por año.
- Tabla 3: Legislación nacional.
- Tabla 4: Proyectos de EIASA en la ciudad de Bogotá D.C. de Energía Solar.
- Tabla 5: Matriz Metodológica de Objetivo Específico 1.
- Tabla 6: Matriz Metodológica de Objetivo Específico 2.
- Tabla 7: Cronograma.
- Tabla 8: Presupuesto.
- Tabla 9: Tipos de Silicio al interior de los paneles solares.
- Tabla 10: Composición de materiales de panel solar poli cristalino marca INTI.
- Tabla 11: Composición de materiales de panel solar poli cristalino marca JA SOLAR.
- Tabla 12: Clasificación de Residuos de un Módulo Fotovoltaico.
- Tabla 13: Check-list de cumplimiento para Residuos Sólidos.
- Tabla 14: Principales sustancias clasificadas en EIASA como RESPEL.
- Tabla 15: Check-list de cumplimiento para Residuos Peligrosos.
- Tabla 16: Separación propuesta para Residuos Convencionales de un panel solar.
- Tabla 17: Clasificación de peligros, etiquetas ONU y pictogramas del SGA.
- Tabla 18: Proyectos adjudicados a EIASA de energía solar fotovoltaica.
- Tabla 19: Características de paneles solares usados en EIASA.
- Tabla 20: Datos para cálculo de porcentaje de componentes de la celda en modulo INTI.
- Tabla 21: Datos para cálculo de porcentaje de componentes de la celda en modulo JA SOLAR.
- Tabla 22: Porcentaje de metales presentes en módulo marca INTI.
- Tabla 23: Porcentaje de metales presentes en módulo marca JA SOLAR.
- Tabla 24: Porcentaje de metales ajustados presentes en módulo marca INTI.
- Tabla 25: Porcentaje de metales ajustados presentes en módulo marca INTI.
- Tabla 26: Gestores autorizados por el IDEAM en Bogotá para tratamiento de RAEE.
- Tabla 27: Programa de Residuos Sólidos Convencionales.
- Tabla 28: Programa de Residuos Peligrosos.
- Tabla 29: Plan de Manejo para disposición final de Paneles Solares.

1. Resumen

En el crecimiento acelerado y exponencial de las energías renovables, la energía solar se presenta como una solución fundamental a la necesidad energética mundial. Así mismo 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 resulta inquietante el desconocimiento por parte de los fabricantes, entidades y consumidores hacia las directrices que aseguren una segura y eficaz gestión de los módulos fotovoltaicos. Energía Integral Andina S.A., se constituye como una empresa líder a nivel nacional e internacional en la licitación e instalación de proyectos solares. 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 manejo para disposición final de paneles solares establece las estrategias para la gestión, tratamiento y disposición necesarias para un adecuado proceso. Lo anterior se desarrolla con el fin de reducir los posibles impactos al ambiente que pueden suceder.

Palabras clave: Panel solar, RAEE, Disposición final, Energía solar, Energía renovable.

2. Abstract

In the accelerated and exponential growth of renewable energy, solar energy is presented as a fundamental solution to the world's energy needs. Likewise, the management for the disassembly of solar photovoltaic projects generates an ongoing market in this sector of the industry. The waste generated by a solar module can be exploited and recycled by approximately 85%, considering the treatment method that is established for this process.

At the national level, the lack of knowledge on the part of manufacturers, entities and consumers towards the guidelines that ensure a safe and efficient management of photovoltaic modules is disturbing. Energía Integral Andina S.A., is established as a leading company at the national and international level in the bidding and installation of solar projects. Unfortunately, in the integral 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. The Management Plan presented here for the final disposal of solar panels establishes the strategies for the management, treatment and disposal necessary for an environmentally safe and efficient process. The foregoing is developed in order to reduce the possible impacts to the environment that may occur.

Keywords: Solar Panel, WEEE, Final Disposal, Solar energy, Renewable energy.

3. Lista de abreviaciones

AEE	Aparato Eléctrico o Electrónico
B	Boro
EIASA	Energía Integral Andina S.A.
EPP	Elementos de Protección Personal
EVA	Etileno Vinilo Acetato
IRENA	International Renewable Energy Agency
MADS	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible
MAVDT	Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial
MDE	Ministerio de Desarrollo Económico
MW	Megawatt
P	Fósforo
Pb	Plomo
RAEE	Residuo de Aparatos Eléctricos o Electrónicos
RESPEL	Residuos Peligrosos
SGA	Sistema Globalmente Armonizado
Si	Silicio
Sn	Estaño
UPME	Unidad de Planeación Minero Energética

4. Introducción

En el crecimiento exponencial de las energías renovables, la energía solar juega un rol fundamental en la búsqueda de soluciones a la necesidad energética mundial, resultado del desarrollo y evolución del hombre. La energía fotovoltaica se constituye como una tecnología que reduce las emisiones, la extracción de minerales y a su vez se desarrolla con un uso sostenible a lo largo de su vida útil.

El crecimiento de proyectos con energías renovables en las dos últimas décadas, permite visibilizar ante entidades como el IRENA o PV Cycle, la generación de un mercado secundario en la industria fotovoltaica. Como resultado a lo anterior, a nivel internacional se comienza a generar y estipular una serie de directrices, políticas y directivas enfocadas al manejo responsable y sostenible de los Aparatos Eléctricos y Electrónicos (AEE) (IRENA, 2016).

La generación de energía solar en Colombia, empleando sistemas fotovoltaicos surgió a comienzos de los años 80 con la atención del gobierno, entidades del sector principalmente de la comunicación, universidades y unas pocas empresas. Con el paso del tiempo surgió el interés de diversos sectores de la industria para diversas instalaciones, y hoy en día se establece como un sistema esencial para muchas de las empresas pioneras en Colombia.

Energía Integral Andina S.A. es una empresa colombiana fundada en 1986, líder en la integración de sistemas de energía eléctrica y de respaldo, equipos, diseño y construcción de redes de energía, etc.. Actualmente su experiencia de aproximadamente 20 años en el mercado fotovoltaico a nivel nacional e internacional, le permite trabajar con altos estándares de calidad y ofrecer a su vez productos y servicios garantizados con certificaciones que permiten generar valor y respaldo competitivo.

Este documento presenta un plan de manejo que determina los componentes de un sistema solar fotovoltaico, especialmente detallando en los paneles solares y establece aquellas estrategias necesarias para la gestión, tratamiento y disposición de los residuos generados. De este modo se previenen posibles impactos a la salud y al ambiente por inapropiadas acciones de disposición.

De igual manera el plan de manejo se desempeña como una herramienta de gestión que permite identificar aquellos residuos peligrosos y no peligrosos de un módulo fotovoltaico y su pertinente separación, para que posteriormente se efectúen procedimientos de aprovechamiento y reciclaje. Este documento se centra únicamente en los proyectos adjudicados a Energía Integral Andina S.A. en la ciudad de Bogotá desde el año 2010, para la elaboración de una prueba piloto y seguidamente una evaluación para determinar la eficiencia e importancia de extenderlo a nivel nacional.

5. Planteamiento del problema

El saliente mercado para la gestión y desensamble de proyectos solares y la creciente industria fotovoltaica, revelan datos por el Institute Renewable Energy Agency (IRENA), para países como China, Estados Unidos, Japón, India y Alemania, en los cuales la proyección de residuos de paneles solares para el año 2016 fue de entre 43,500 y 250,000 toneladas. Aquellos residuos generados por el deterioro, la reposición con otros sistemas más eficaces o el fin de su vida útil (IRENA, 2016).

A nivel nacional resulta preocupante el desconocimiento por parte de fabricantes, proveedores, consumidores y entidades gubernamentales frente a la disposición y tratamiento que debe llevarse a cabo para los RAEE. Es por esto que como consecuencia del modelo socioeconómico y el consumismo, la fabricación de Aparatos Eléctricos y Electrónicos, aumenta sin un control y genera una acelerada extracción de materias primas.

Establecer una serie de directrices enfocadas a la disposición final de los residuos generados por los paneles solares, disminuye el riesgo de impactos adversos al ambiente que estos pueden generar. De igual forma la adecuada separación de los elementos que compone un panel solar, posibilita la identificación y reciclaje de aquellos residuos aprovechables y no aprovechables.

La generación de la Política para la Gestión Integral de RAEE, tiene como alcance el territorio nacional y a su vez muestra la importancia de realizar un tratamiento y cambio de paradigma “comprar, usar desechar” de RAEE, así como de enfocar las políticas a la ruta para la gestión hasta el año 2032. Se plantea una implementación gradual con su respectivo seguimiento y así permitir que estos residuos permanezcan dentro del ciclo productivo, alcanzado una sostenibilidad ambiental de la generación actual y futura (MADS, 2017). Es importante resaltar que la existencia de una ley o guía enfocada a la vida útil, tratamiento y disposición de módulos fotovoltaicos, se hace necesaria en relación a la magnitud de residuos que serán generados en un futuro próximo.

Energía Integral Andina S.A. al ocupar una destacada posición a nivel nacional e internacional, debe establecer sus correspondientes lineamientos para garantizar una trazabilidad en el producto ofrecido y de esta manera generar valor agregado y confiabilidad en el consumidor, al momento de adquirir su producto o servicio.

6. Justificación

El cumplimiento de las normas colombianas aplicables y la adopción de las disposiciones emitidas por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible hacia compañías generadoras de residuos por sus productos y en su proceso productivo, muestra el compromiso ambiental y un sentido de pertenencia con la responsabilidad social. Lo anterior es un factor que genera valor agregado para la compañía y ratifica la sostenibilidad en cada uno de los procesos (EIASA, 2018).

El porcentaje aprovechable de los residuos de un panel solar ronda el 85% aproximadamente, razón por la cual es un área en continua investigación. Constituir lineamientos y procedimientos que permitan la identificación de residuos aprovechables y peligrosos se hace necesario para el establecimiento de las cantidades mínimas necesarias para una rentable operación. Lo anterior estará sujeto a un estudio de mercadeo del área de influencia en la que se trabajará y el número de proyectos que se desensamblarán (IRENA, 2016).

El componente económico se ve tentado por la opción de desechar los paneles solares en rellenos sanitarios o celdas de seguridad, debido a su costo inferior en comparación de un proceso de reciclaje. Ambientalmente se hace necesario, aquellos procesos que permitan el aprovechamiento de los residuos con el objeto de prevenir y reducir impactos al ambiente y la salud.

Energía Integral Andina S.A. reconoce la importancia de inclusión de mano de obra en sus procesos de fabricación y operación, razón por la cual el presente proyecto trae consigo beneficios sociales y ambientales debido al método con que se gestionan los módulos fotovoltaicos. Esta técnica se escogió y ajustó según se realizan actualmente los procesos y procedimientos.

Para la compañía es prioritario evaluar la gestión ambiental en el marco del ciclo de vida para lo que se cuenta con auditorías periódicas en cada una de las sedes y procesos, cumpliendo de esta forma con la política, objetivos y criterios internos y externos que se plantean para incrementar y tener una mejora continua de posicionamiento en el mercado (EIASA, 2018). La complejidad de realizar auditorías a los procesos instalados, es el difícil acceso a las zonas en donde se han desarrollado.

La disposición final de paneles solares fotovoltaicos se plantea como una práctica amigable y controlada con el ambiente, a fin de no encontrar dificultades o daños en el ecosistema. Del mismo modo, el reciclaje de los materiales peligrosos, resulta significativo, puesto que la extracción de metales y otros materiales cada vez se hace más compleja e inaccesible.

7. Objetivos y Pregunta de Investigación

7.1. Objetivo General

Proponer un Plan de manejo para la adecuada disposición final de paneles solares de Energía Integral Andina S.A.

7.2. Objetivos Específicos

- Identificar los componentes de un sistema solar fotovoltaico, haciendo énfasis en un panel solar y sus celdas fotovoltaicas.
- Determinar las estrategias para la gestión, tratamiento y disposición de los materiales de un panel solar fotovoltaico.

7.3. Pregunta de Investigación

¿Cuáles son las actividades que se deben incluir en el Plan de manejo para la adecuada disposición final de los residuos generados por un panel solar según sus características?

8. Marco de referencia

La empresa colombiana Energía Integral Andina S.A., es líder en la integración de sistemas de energía eléctrica y de respaldo, equipos, diseño y construcción de redes de energía, telecomunicaciones, gas y servicios públicos. Actualmente, su vasta experiencia en contratación pública y privada, el conocimiento del mercado, así como la altísima calidad de sus productos, le han llevado a ocupar una destacada posición a nivel nacional e internacional logrando extender sus horizontes en Sur América, Centroamérica, Asia y E.E.U.U. Su infraestructura cuenta con un laboratorio certificado para pruebas de fabricación de baterías industriales, bodegas y unidades móviles de servicio, modernos sistema integrados de gestión y software especializado (EIASA, 2018).

De igual forma Energía Integral Andina S.A., simultáneamente a su desarrollo y crecimiento organizacional, se compromete a través del Sistema de Gestión Ambiental, al fortalecimiento institucional, la generación de valores corporativos y el desarrollo del talento humano, enfocados hacia el control ambiental preventivo y correctivo de las actividades que generan impactos sobre el medio ambiente. El Fomento de cultura y conciencia hacia la preservación de los recursos naturales, la prevención de la contaminación, el cumplimiento de la normatividad legal y el seguimiento de las políticas organizacionales, es nuestro compromiso para el desarrollo sostenible del planeta (EIASA, 2018).

8.1. Antecedentes

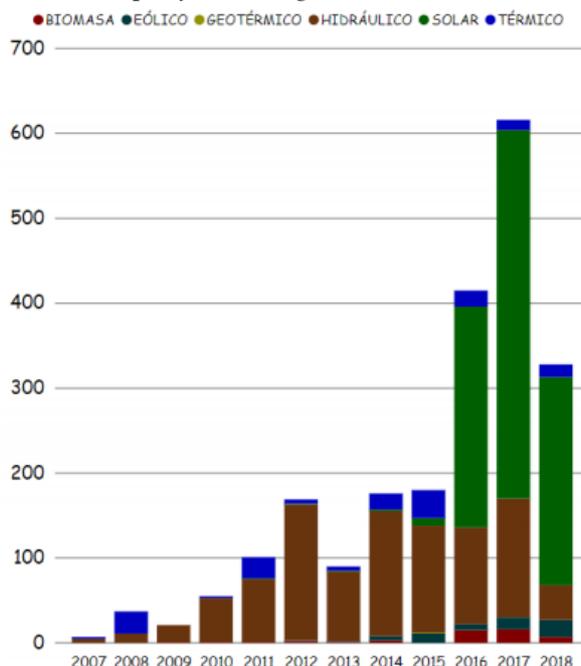
El desarrollo de las energías renovables ha experimentado un crecimiento sostenido y fuerte. Las energías que mayor aumento e impulso han tenido son la solar y eólica, habiéndose expandido casi tres y diez veces respectivamente desde el 2010 (IRENA, 2018).

La Unión Europea adoptó a partir del 2012 la Directiva 2012/19/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, para establecer las medidas que protejan el medio ambiente y la salud humana, mediante la prevención y mitigación de impactos adversos que generan los Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE). Al interior de la Directiva se describe el periodo de transición y adopción de dichos lineamientos, el cual finalizó el 14 de agosto de 2018 (Diario Oficial de la UE, 2012).

La información de los AEE que se detalla en la Directiva, incluye los paneles fotovoltaicos a los cuales habrá que realizar una recogida separada de los otros diferentes residuos, a fin de garantizar un correcto tratamiento (Diario Oficial de la UE, 2012).

En Colombia, la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME) destaca una serie de informes anuales en los que se desglosa información relacionada a los proyectos registrados para la generación de energía eléctrica y el tipo de fuente en la cual se basa para su respectiva tecnología de aprovechamiento. Los diferentes tipos de fuente son biomasa, eólico, geotérmico, hidráulico, solar y térmico. En la gráfica 1 se presentan el número de proyectos que se instalaron entre 2007 y 2018, teniendo un auge en el desarrollo de proyectos de energía solar desde el 2016 y 2018 (UPME, 2018).

Gráfica 1: Número de proyectos registrados desde el año 2007 a 2018.



Fuente: (UPME, 2018).

El año 2017, presentó 434 proyectos de energía solar que se atribuyen principalmente al 20% del total histórico, especialmente en proyectos de menos de 1MW. Los departamentos que están involucrados en su mayoría son Antioquia con un 24,5% (el 74,5% restante son proyectos hidráulicos), Cundinamarca con un 83% (el 17% restante son proyectos de biomasa, hidráulico y térmico), Atlántico 100%, Valle del Cauca 83% (el 17% restante son proyectos de biomasa e hidráulico), Bolívar 91,2% (el 8,8% restante son proyectos de biomasa, eólico y térmico), Bogotá 96,7% (el 3,3% restante son proyectos eólicos) y Santander y Cesar con un 100% de energía solar. Los departamentos mencionados anteriormente son aquellos que cuentan con más de 20 instalaciones de producción de energía solar como mínimo (UPME, 2018).

Entre los años 2017 y 2018 se realizaron grandes e importantes proyectos de energía solar a nivel nacional, entre los que se destacan aquellos que superaron una capacidad de igual o mayor a 400 MW, a continuación se detallan:

Tabla 1: Proyectos 2017-2018 con capacidad mayor a 400 MW.

AÑO	EMPRESA PROMOTORA	NOMBRE DEL PROYECTO	UBICACIÓN	FASE	CAPACIDAD (MW)
2017	ISAGEN S.A. E.S.P.	PROYECTO HIDROELÉCTRICO PATÍA 1	Nariño - Policarpa	I	520
2017	ISAGEN S.A. E.S.P.	PATIA II	Nariño - Policarpa	I	570
2017	GUAYEPO SOLAR S.A.S.	GUAYEPO SOLAR 400 MW	Atlántico - Ponedera	I	400
2017	MINESA S.A.	TERMOBERRÍO	Santander - Cimitarra	II	700
2018	SLOANE ENERGY COLOMBIA S.A.S.	CENTRAL TÉRMICA LA LUNA	Cesár - El Paso	II	750

Fuente: (UPME, 2018).

De igual forma en la Tabla 2 se muestran los datos desglosados de proyectos registrados en la Unidad de Planeación Minero Energética.

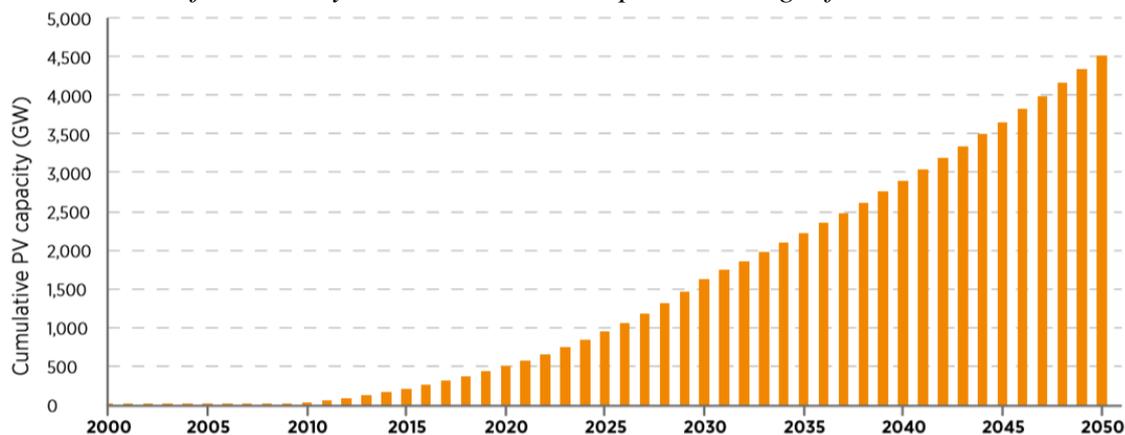
Tabla 2: Número de proyectos registrados por tipo de fuente y por año.

Año	BIOMASA	EÓLICO	GEOTÉRMICO	HIDRÁULICO	SOLAR	TÉRMICO	Total
2007				5		2	7
2008				11		26	37
2009	1			20			21
2010	1			52		2	55
2011	1			74	1	25	101
2012	2	1		160	1	5	169
2013	1	1		82	1	5	90
2014	3	5		147	2	19	176
2015		11	1	126	9	33	180
2016	15	7		114	260	19	415
2017	16	14		140	434	12	616
2018	7	20		41	245	15	328
Total	47	59	1	972	953	163	2195

Fuente: (UPME, 2018)

En el año 2008 la cantidad de energía anual que recibió el planeta tierra fue de aproximadamente 1,6 millones de KW/h, una cantidad mucho mayor a la que se consume actualmente (Secretaría de Energía, 2008). A partir de estudios como el de la Secretaría de Energía en España que data del año 2008, se evidencia la necesidad de aprovechamiento de la radiación solar en proyectos fotovoltaicos hacia un futuro cercano. Según lo anterior el uso e inclusión de energías renovables en el mercado nacional seguirá en ascenso como se muestra en la gráfica 2 según el Institute Renewable Energy Agency (IRENA).

Gráfica 2: Proyección de desarrollo para la energía fotovoltaica.



Fuente: (IRENA, 2016)

8.2. Marco Conceptual

- **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)

- **Arreglo Fotovoltaico:**

Sistema interconectado de paneles o módulos fotovoltaicos junto con la estructura de soporte y otros componentes, que funcionan como una unidad generadora de electricidad.

(ICONTEC, 2005)

- **Celda Fotovoltaica:**

Dispositivo básico que genera electricidad por el efecto fotovoltaico cuando es expuesto a energía radiante tal como la luz solar.

(ICONTEC, 2005)

- **Disposición final:**

Es el proceso de aislar y confinar los residuos sólidos en especial los no aprovechables, en forma definitiva, en lugares especialmente seleccionados y diseñados para evitar la contaminación, y los daños o riesgos a la salud humana y al ambiente. En todo caso, quedará prohibida la disposición de residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE) en rellenos sanitarios.

(Congreso de la República, 2013)

- **Dopaje de un átomo:**

Técnica utilizada para variar el número de electrones y huecos en semiconductores. El dopaje crea un material Tipo N, cuando los materiales del grupo IV de la tabla periódica se dopan con los átomos del grupo V. Los materiales de Tipo P se crean cuando los materiales semiconductores del grupo IV y se dopan con los átomos del grupo III.

(PVEducation, 2018)

- **Energía Renovable:**

Son fuentes que producen energía constantemente, de forma que se renueva continuamente, y su utilización se considera ilimitada (ANTONIO CRESPO MARTINEZ, 2003). Las fuentes renovables de energía pueden clasificarse en dos categorías, las no contaminantes o limpias tales como: la energía solar (térmica y termoeléctrica), la energía eólica, la energía hidráulica, la energía mareomotriz y la energía geotérmica; y las potencialmente contaminantes como las que se obtienen a partir de la materia orgánica o biomasa, por la emisión de dióxido de carbono, y la obtenida mediante los residuos sólidos urbanos que emiten material particulado y residuos no calcinables.

(Alsina, 2011)

- **Energía no renovable:**

Se denominan así a aquellas fuentes de energía que a través de los años han sido formadas en las distintas épocas geológicas y reciben el nombre de combustibles por el uso que se les ha dado, además de que deberían transcurrir muchos años para que esta pueda volver a generarse.

(Alsina, 2011)

- **Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE):**

Son los aparatos eléctricos o electrónicos en el momento en que se desechan o descartan. Este término comprende todos aquellos componentes, consumibles y subconjuntos que forman parte del producto en el momento en que se desecha, salvo que individualmente

sean considerados peligrosos, caso en el cual recibirán el tratamiento previsto para tales residuos.

(Congreso de la República, 2013)

- **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 (usualmente se utilizan 12V a 36V) 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 años, período a partir del cual la potencia entregada disminuye. El tipo de corriente eléctrica que proporcionan es corriente continua, por lo que si necesitamos corriente alterna o aumentar su tensión, tendremos que añadir un inversor y/o un convertidor de potencia.

(energiza, 2016)

- **Productor de Aparatos Eléctricos o Electrónicos:**

Cualquier persona natural o jurídica que, con independencia de la técnica de venta utilizada, incluidas la venta a distancia o la electrónica: 1) fabrique aparatos eléctricos y electrónicos; 2) importe o introduzca aparatos eléctricos y electrónicos o 3) arme o ensamble equipos sobre la base de componentes de múltiples productores; 4) introduzca al territorio nacional aparatos eléctricos y electrónicos; 5) remanufacture aparatos eléctricos y electrónicos con su propia marca o remanufacture marcas de terceros no vinculados con él, en cuyo caso estampa su marca, siempre que se realice con ánimo de lucro o ejercicio de actividad comercial.

(MADS, 2017)

- **Reciclaje:**

Son los procesos mediante los cuales se aprovechan y transforman los residuos recuperados y se devuelven a los materiales su potencialidad de reincorporación como materia prima para la fabricación de nuevos productos.

(MADS, 2017)

- **Reacondicionamiento:**

Procedimiento técnico de renovación, en el que se restablecen las condiciones funcionales y estéticas de un aparato eléctrico y electrónico para usar en un nuevo ciclo de vida. Puede implicar además reparación, en caso que el equipo tenga algún daño.

(MADS, 2017)

- **Reutilización:**

La reutilización de un equipo eléctrico o electrónico se refiere a cualquier utilización de un aparato o sus partes, después del primer usuario, en la misma función para la que el aparato o parte fue diseñado.

(MADS, 2017)

- **Remanufactura:**

Comprende cualquier acción necesaria para construir productos con calidad de nuevos, utilizando componentes tomados de AEE previamente usados, así como nuevos componentes, si es el caso. El producto resultante cumple con la funcionalidad y especificaciones de confiabilidad originales del fabricante.

(MADS, 2017)

- **Reparación:**

Implica una acción, incluyendo el reemplazo de componentes defectuosos, para corregir una falla específica de un aparato eléctrico y electrónico usado o un RAEE de tal forma que el equipo quede totalmente funcional para usar en su propósito original.

(MADS, 2017)

- **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. Así mismo, se considera residuo o desecho peligroso los envases, empaques y embalajes que hayan estado en contacto con ellos.

(MAVDT, 2005)

- **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.

(MDE, 2002)

- **Residuo Sólido o desecho:**

Es cualquier objeto, material, sustancia o elemento sólido resultante del consumo o uso de un bien en actividades domésticas, industriales, comerciales, institucionales, de servicios, que el generador abandona, rechaza o entrega y que es susceptible de aprovechamiento o transformación en un nuevo bien, con valor económico o de disposición final. Los residuos se dividen en aprovechables y no aprovechables. Igualmente, se consideran como residuos aquellos provenientes del barrido de áreas públicas.

(ICONTEC, 2003)

- **Residuo Sólido No Aprovechable:**

Es todo material o sustancia sólida o semisólida de origen orgánico e inorgánico, putrescible o no, proveniente de actividades domésticas, industriales, comerciales, institucionales, de servicios, que no ofrece ninguna posibilidad de aprovechamiento, reutilización o reincorporación en un proceso productivo. Son residuos sólidos que no tienen ningún valor comercial, requieren tratamiento y disposición final y por lo tanto generan costos de disposición.

(MDE, 2002)

8.3. Marco Teórico

De acuerdo con el “International Renewable Energy Agency”, se generó el informe de “End of Life Management: Solar Photovoltaic Panels” para el año 2016, en el cual aclaran la importancia de la separación de los residuos sólidos aprovechables y no aprovechables. Puesto que se evita que estos residuos terminen en ecosistemas afectando la biodiversidad y la salud humana. Esta clasificación permite un aprovechamiento para la reutilización, recuperación, reciclaje y eliminación (IRENA, 2016).

La generación de residuos por el mercado fotovoltaico sigue siendo aún mínima a nivel mundial, y esto se debe a la larga vida útil que tienen los paneles solares; aunque para el año 2030 se prevé un aumento sustancial. De esta manera la creación de marcos regulatorios que apoyen el desarrollo de técnicas y tecnologías de gestión del ciclo de vida, se apoyaran de igual forma en políticas encaminadas al desmantelamiento, reciclaje y eliminación 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 (Brouwer, 2011).

La importancia de la energía solar en Colombia surge a raíz de las aplicaciones que se generaron con la inclusión de calentadores solares domésticos hacia los años setenta. Posterior a esto, el origen de los sistemas fotovoltaicos fue ligado al sector rural, debido al difícil acceso a redes de energía eléctrica. A lo largo de los últimos años se han realizado un gran número de instalaciones en el territorio nacional gracias al apoyo del estado y del FAZNI (Fondo de Apoyo Financiero para la Energización de las Zonas No Interconectadas) (Murcia, 2009).

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. La presente política se desarrolla como un marco de referencia a nivel general de los RAEE y se integran a los consumidores, productores de AEE y gestores de RAEE con licencia ambiental como se muestra en el anexo No. 2.

8.4. Marco Normativo

Tabla 3: Legislación nacional.

Norma	Entidad	Descripción
Constitución Política de Colombia de 1991	Asamblea Nacional Constituyente	Artículo 79. Todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano. La ley garantizará la participación de la comunidad en las decisiones que puedan afectarlo. Es deber del Estado proteger la diversidad e integridad del ambiente, conservar las áreas de especial importancia ecológica y fomentar la educación para el logro de estos fines. (Asamblea Nacional Constituyente, 1991)
Ley 1715 de 2014	Congreso de Colombia	Capítulo IV. Desarrollo y promoción de las fuentes no convencionales de energía renovable. Artículo 19. Desarrollo de la energía solar. (Congreso de Colombia, 2014)
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. (MADS, 2018)

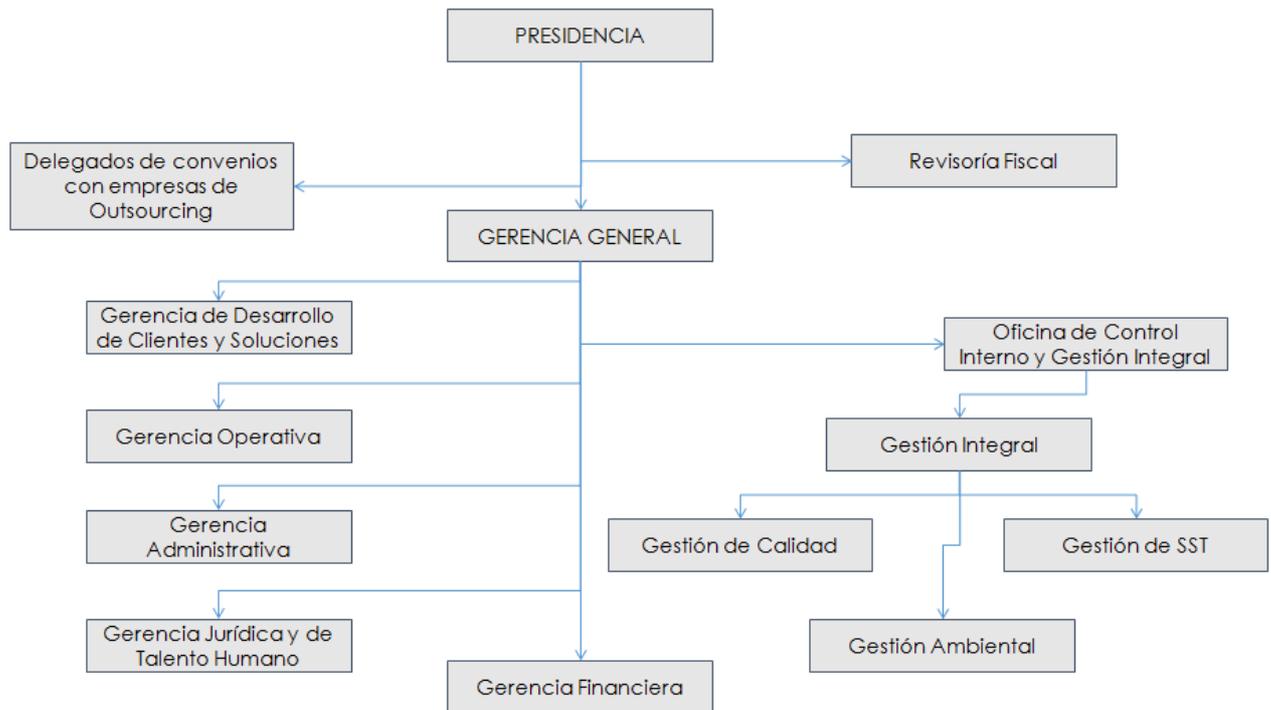
Norma	Entidad	Descripción
Decreto 2981 de 2013	Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio	Se reglamenta la prestación del servicio público de aseo. Artículo 20. Sistemas de almacenamiento colectivo de residuos sólidos. Artículo 24. Características de la caja de almacenamiento. Artículo 25. Sitios de ubicación para las cajas de almacenamiento. (MVCT, 2013)
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. (MAVDT, 2005)
Decreto Único Reglamentario 1076 de 2015	Secretaria 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. (MADS, 2015)
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. (MADS, 2017)
GTC 24 de 2009	Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC)	Guía para la separación en la fuente. Gestión Ambiental. (ICONTEC, 2009)
GTC 86 de 2003	ICONTEC	Guía para la implementación de la Gestión Integral de Residuos Sólidos – GIR. (ICONTEC, 2003)
NTC 2775 de 2005	ICONTEC	Energía Solar Fotovoltaica: Terminología y definiciones. (ICONTEC, 2005)

Fuente: Autor, 2018.

8.5. Marco Institucional

Energía Integral Andina S.A. posee una estructura organizacional principal como se muestra en la gráfica 4, y al interior de sus ejes se desglosan de igual forma otros, asesores, analistas, coordinadores, ingenieros, técnicos, almacenistas, conductores y corresponsales.

Gráfica 3: Estructura Organizacional de EIASA.



Fuente: Autor, 2018.

8.6. Marco Geográfico

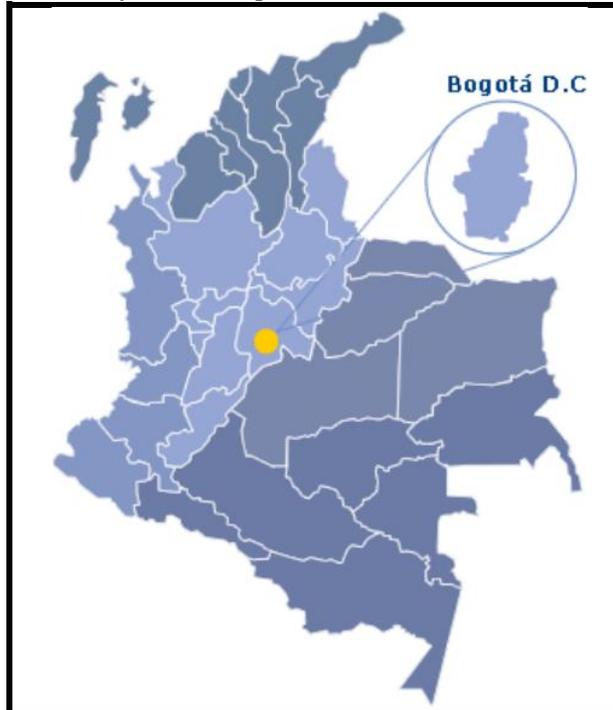
La delimitación del marco geográfico está basada en los proyectos que se han adjudicado a Energía Integral Andina S.A. y a su vez relacionado con la información proporcionada por la empresa. Para el presente proyecto se toma únicamente aquellos que se adjudicaron y se instalaron en la ciudad de Bogotá D.C., para poder llevar a cabo la prueba piloto.

La ciudad de Bogotá, se encuentra ubicada en el centro del país, en la cordillera oriental, y posee una extensión aproximada de 33 kilómetros de sur a norte y 16 kilómetros de oriente a occidente. Posee una altitud promedio de 2652 metros sobre el nivel del mar y una temperatura que varía de acuerdo con los meses del año, desde diciembre hasta marzo son altas, al contrario de abril y octubre en donde son más bajas (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2017).

La ubicación de las bodegas en una primera instancia estarán en la sede administrativa de la empresa Energía Integral Andina S.A., la cual se encuentra en la UPZ 12 Toberín, en

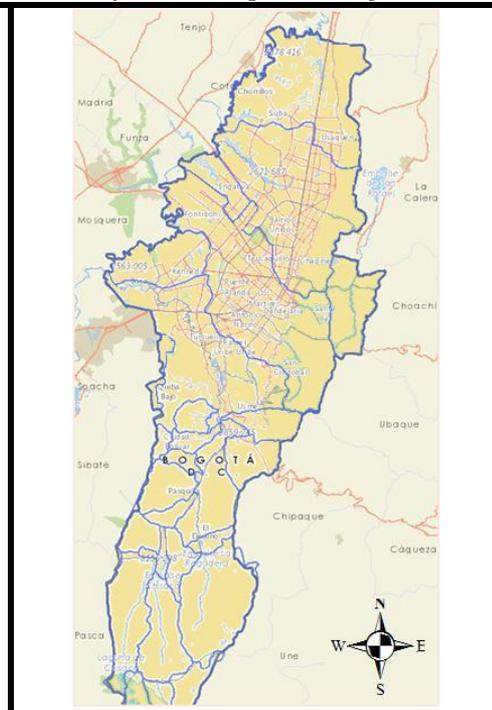
la Localidad No. 1 Usaquén, está localizada en la zona nor-oriental de la ciudad y está conformada por 9 UPZ.

Gráfica 4: Mapa Físico de Colombia.



Fuente: (Guerrero A. F., 2017).

Gráfica 5: Mapa de Bogotá D.C.



Fuente: (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2009)

8.7. Marco Demográfico

La delimitación del marco demográfico se ajustó a los proyectos que ha desarrollado Energía Integral Andina S.A. desde el año 2011 en la ciudad de Bogotá D.C., los cuales han sido los que se describen en la tabla 2. Así mismo en el anexo 1 se ajustó la información entregada por la empresa para la descripción general de 21 proyectos que han realizado en el territorio nacional desde el año 2011 hasta el mes de septiembre de 2018. Estos 21 proyectos mencionados se refieren a instalaciones completas fotovoltaicas, y no a suministro de materiales, componentes o arreglos con clientes.

Tabla 4: Proyectos de EIASA en la ciudad de Bogotá D.C. de Energía Solar.

No.	CLIENTE	OBJETO	AÑO	CIUDAD	FECHA DE TERMINACIÓN PROGRAMADA INICIAL
1	URIGO LTDA	SUMINISTRO DE PANELES SOLARES	2010	Bogotá D.C.	11/nov/2010
2	ETB S.A. ESP	SUMINISTRO DE (6) PANELES SOLARES CON ACCESORIOS DE CONEXION Y ANCLAJE	2010	Bogotá D.C.	10/ene/2011
3	INGEOMINAS	PANELES SOLARES DE 12V 85W, BATERIAS DE 2V-600AH, BATERIAS DE 12V-40AH, BATERIAS DE 12V-12AH, CARGADOR DE CARGA LENTA, CARGA FANTASMA, SISTEMAS DE TRANSFERENCIA, MODULO ETHERNET PARA RECTIFICADORAS, RECTIFICADOR EATON, INVERSOR 1000W, 24VDC-110AC, REGULADORES SOLARES 60AH, REGULADORES SOLARES 10AH SUNSAVER O EQUIVALENTE	2010	Bogotá D.C.	03/mar/2011
4	AJOVER S.A.	SUMINISTRO DE MODULO SOLAR FOTOVOLTAICO MARCA SOPRAY DE REF SR-85 CON TENSION DE OPERACIONES DE 12VDC PTENCIA PICO DE 85W LAS CELULAS DEL PANEL SON DE SILICIO MONOCRISTALINO	2011	Bogotá D.C.	13/ene/2012
5	CMA INGENIERIA Y CONSTRUCCIÓN	SUMINISTRO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS QUE SUSTITUYEN LA RED MEDIA Y BAJA TENSION	2013	Bogotá D.C.	08/mar/2013
6	AGENCIA DE LA GIZ EN COLOMBIA	SUMINISTRO DE UN SISTEMA SOLAR	2016	Bogotá D.C.	15/jul/2016
7	PRODUCEL INGENIEROS	SUMINISTRO DE MODULOS SOLARES	2016	Bogotá D.C.	20/sep/2016
8	DEUTSCHE GESELLSCHAFT FUR INTERNATIONALE	MODULO SOLAR POLY 130W/12V --- ELECTROBOMBA SUMERGIBLE TIPO LAPICER --- ROLLO CABLE ENCAUCHETADO --- CONECTORES MC4 (PARES) --- FLOTADORES ELECRCOS --- VARILLA COPERWELD 1,8+CONECTOR --- UNIDADES DE GUAYA BLINDADA --- BASES PARA PANELES SOLARES	2016	Bogotá D.C.	22/ago/2016

Fuente: Autor, 2018.

9. Marco Metodológico

El desarrollo y cumplimiento de los objetivos planteados en el presente trabajo, están basados en la metodología que plantea Roberto Hernández Sampieri y de la cual se realiza una descripción detallada del proceso secuencial que se llevó a cabo.

(Sampieri, 2014)

9.1. Enfoque de la investigación

La presente investigación tiene un enfoque cualitativo, debido al surgimiento de preguntas o hipótesis en el desarrollo del mismo. Esto se genera dado que la investigación y la indagación de los diferentes tipos de gestión, tratamiento, recolección y disposición son relativamente diferentes y dependen de diversos factores. De igual forma, no se especifica una población únicamente, a consecuencia que la aplicación del presente plan de manejo puede estar enfocado para una empresa, una entidad pública, un gestor autorizado de dichos residuos, etc.

Así mismo como lo describe Hernández Sampieri, el enfoque escogido está basado en la literatura, la descripción y el entendimiento de la información recopilada con el fin de encontrar la gestión y/o tratamiento más eficiente para la disposición final de paneles solares y generando un resultado flexible que se ajuste al contexto y necesidades de un determinado proyecto, obra o actividad.

(Sampieri, 2014)

9.2. Alcance de la investigación

El tipo de alcance determinado fue explicativo, debido a la bibliografía internacional que se encuentra relacionada con la gestión adecuada de paneles solares y sus diversas formas de aprovechamiento cuando estos cumplen su vida útil o desean ser cambiados por otros con mayor y mejor eficiencia.

(Sampieri, 2014)

De esta forma se pretende recopilar información que permita ser aterrizada al contexto de Energía Integral Andina S.A. y así generar un valor agregado en la empresa gracias a la gestión que se realiza a lo largo del ciclo de vida de estas tecnologías. A causa de lo anterior se reúne información de los conceptos y variables que influyen en la problemática del trabajo. El presente proyecto se limita a tomar únicamente los proyectos ejecutados en la ciudad de Bogotá D.C., los cuales se muestran en el anexo 1. Será en primera instancia una prueba piloto para la recepción, tratamiento, gestión y disposición final del conjunto de módulos fotovoltaicos incluidos en dichos proyectos.

9.3. Matriz metodológica para Objetivo Específico 1

Tabla 5: Matriz Metodológica de Objetivo Específico 1.

Matriz Metodológica – Objetivo Específico 1					
Objetivos		Actividad	Metodología		Resultados esperados
General	Específico		Técnica	Instrumento	
Proponer un Plan de manejo para la adecuada disposición final de paneles solares de Energía Integral Andina S.A.	Identificar los componentes de un sistema solar fotovoltaico, haciendo énfasis en un panel solar y las celdas fotovoltaicas.	<p>Recopilar información nacional e internacional con base a entidades públicas y/o privadas.</p> <p>Sintetizar la información recopilada.</p> <p>Análisis y extracción de información relevante para cumplimiento de objetivo.</p> <p>Identificar el porcentaje de presencia de los materiales químicos que se encuentran en una celda solar.</p>	<p>Revisión bibliográfica.</p> <p>Investigación y observación de campo.</p> <p>Investigación interna empresarial.</p>	<p>Documentos y bases de datos.</p> <p>Guías de disposición final internacionales.</p> <p>Capacitaciones.</p> <p>Asesorías técnicas.</p>	<p>Se identificarán los componentes de un sistema fotovoltaico y un panel solar.</p> <p>Diagnóstico de los proyectos solares que ha realizado Energía Integral Andina S.A.</p> <p>Matrices EXCEL con información sobre proyectos de la empresa en cuanto a energía solar fotovoltaica.</p>

Fuente: Autor, 2018.

9.4. Matriz metodológica para Objetivo Específico 2

Tabla 6: Matriz Metodológica de Objetivo Específico 2.

Matriz Metodológica – Objetivo Específico 1					
Objetivos		Actividad	Metodología		Resultados esperados
General	Específico		Técnica	Instrumento	
Proponer un Plan de manejo para la adecuada disposición final de paneles solares de Energía Integral Andina S.A.	Determinar las estrategias para la gestión, tratamiento y disposición de los materiales de un panel solar fotovoltaico.	<p>Revisión de normatividad colombiana aplicable.</p> <p>Recopilar información nacional e internacional y entidades públicas y/o privadas.</p> <p>Visita a proyectos de Energía Solar instalados por Energía Integral Andina S.A.</p> <p>Identificar y determinar las estrategias adecuadas para residuos sólidos y residuos peligrosos.</p> <p>Revisión y diagnóstico a gestión y obtención de paneles solares por parte de EIASA.</p>	<p>Revisión bibliográfica.</p> <p>Análisis de documentos, guías, metodologías para el desmantelamiento de paneles solares fotovoltaicos.</p> <p>Investigación interna empresarial.</p>	<p>Capacitaciones en Energía Integral Andina S.A.</p> <p>Documentos y bases de datos.</p> <p>Asesorías técnicas.</p>	<p>Determinar las estrategias que mejor eficiencia de gestión, tratamiento y disposición poseen para los paneles solares.</p> <p>Propuesta de etiqueta para la clasificación de los residuos peligrosos de una celda solar.</p>

Fuente: Autor, 2018.

10. Cronograma

El cronograma estipulado esta dado para los meses de agosto, septiembre, octubre y noviembre en donde se planean una serie de actividades y conforme se van realizando, así mismo se realizará el seguimiento en dicha matriz.

Tabla 7: Cronograma.

MES	ACTIVIDADES	Revisión bibliográfica (Artículos, Asesorías, Fuentes informáticas)		Reunión con tutor empresarial		Reunión con Director de Proyecto		Trabajo práctico en EIASA		Capacitaciones	
		P	E	P	E	P	E	P	E	P	E
AGOSTO	Semana 1	X	X	X	X						
	Semana 2	X	X					X	X		
	Semana 3	X	X							X	X
	Semana 4	X	X	X	X					X	X
SEPTIEMBRE	Semana 1	X	X			X	X			X	X
	Semana 2	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	Semana 3	X	X			X	X	X	X		
	Semana 4	X	X	X	X	X	X				
OCTUBRE	Semana 1	X	X			X	X				
	Semana 2	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	Semana 3	X	X	X	X	X	X	X	X		
	Semana 4	X	X			X	X				
NOVIEMBRE	Semana 1	X	X			X	X				
	Semana 2										
	Semana 3										
	Semana 4										

CONVENCIONES	
Planeado	P
Ejecutado	E
Preparación y documentación de viaje	

Observaciones: Las capacitaciones son realizadas por parte de profesionales en el tema de energía solar y sistemas fotovoltaicos (PV) por parte de EIASA.

Fuente: Autor, 2018.

11. Presupuesto

El presupuesto del presente proyecto está dado por actividades que involucran revisiones bibliográficas, reuniones con directores de proyecto y de Energía Integral Andina S.A., capacitaciones sobre energía solar, energías renovables, sistemas solares fotovoltaicos, componentes, descripción y funcionamiento de un sistema solar, visita en campo a instalaciones realizadas por dicha empresa y todos los gastos correspondientes a cada una de las actividades.

Tabla 8: Presupuesto.

PRESUPUESTO: PROYECTO PLAN DE MANEJO PARA DISPOSICIÓN FINAL DE PANELES SOLARES DE ENERGÍA INTEGRAL ANDINA S.A.					
ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
1 Revisión Bibliográfica y Asesorías					
1.1	Transporte	Pesos/Trajectos	30	\$ 2.500	\$ 75.000
1.2	Tiempo de revisión y asesoría	Pesos/Horas	50	\$ 50.000	\$ 2.500.000
TOTAL PARCIAL					\$ 2.575.000
2 Trabajo con Director Universitario del Proyecto					
2.1	Tiempo de reunión y acompañamiento	Pesos/Horas	56	\$ 100.000	\$ 5.600.000
TOTAL PARCIAL					\$ 5.600.000
3. Trabajo en campo por parte de la Empresa Energía Integral Andina S.A.					
3.1	Visita de campo a Planta Manizales				
3.1.1	Transporte aéreo	Pesos/Trajectos	2	\$ 215.000	\$ 430.000
3.1.2	Viáticos	Pesos	1	\$ 700.000	\$ 700.000
3.2	Visita de campo a Planta San Andrés				
3.2.1	Transporte aéreo	Pesos/Trajectos	2	\$ 215.000	\$ 430.000
3.2.2	Viáticos	Pesos	1	\$ 700.000	\$ 700.000
TOTAL PARCIAL					\$ 2.260.000
4 Capacitaciones de Sistemas PV en Energía Integral Andina S.A.					
4.1	Transporte a instalaciones de EIASA	Pesos/Trajectos	52	\$ 2.000	\$ 104.000
TOTAL PARCIAL					\$ 104.000
OBSERVACIONES:		TOTAL COSTO DIRECTO			\$ 10.539.000
		AIU 10%			\$ 1.053.900
		TOTAL PROYECTO			\$ 11.592.900

Fuente: Autor, 2018.

12. Resultados

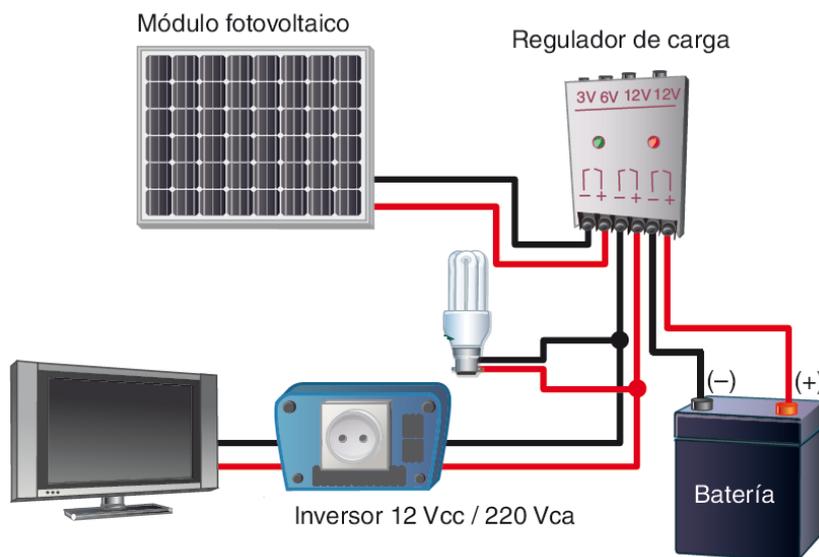
12.1. Desarrollo y resultados de Objetivo Específico 1

Identificar los componentes de un sistema solar fotovoltaico, haciendo énfasis en un panel solar y las celdas fotovoltaicas.

12.1.1. Componentes del sistema fotovoltaico

El sistema solar fotovoltaico está compuesto por el panel solar o modulo fotovoltaico, regulador de carga, inversor, batería y los aparatos eléctricos y electrónicos que se abastezcan de este tipo de sistema.

Gráfica 6: Componentes de una instalación solar fotovoltaica.



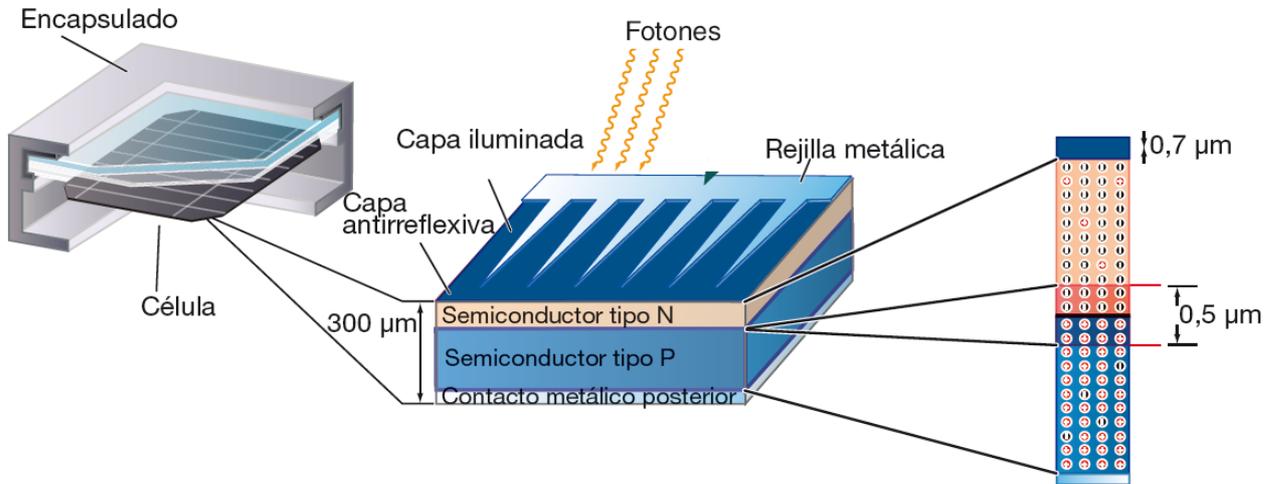
Fuente: (UNAM MX, 2017).

El uso de los componentes mencionados está directamente relacionado al tipo de instalación que se va a realizar, teniendo en cuenta que un sistema conectado a la red requiere de los componentes básicos y adicionalmente dos contadores como mínimo para hacer el seguimiento de la energía consumida y la energía producida. Por otro lado una instalación fotovoltaica autónoma posee un conjunto de paneles solares que su cantidad depende del requerimiento de energía y a su vez el regulador de carga, inversor y batería.

12.1.2. Celda solar fotovoltaica

La célula o celda solar fotovoltaica está hecha de materiales semiconductores, los cuales poseen electrones que permiten ser llevados a un circuito externo y realizar la conversión de la radiación solar en energía que pueda ser aprovechada. Está fundamentada en el efecto fotovoltaico, el cual se caracteriza por la conversión directamente en electricidad de los fotones provenientes de la luz del sol. Como se muestra en la gráfica 7, la parte expuesta a la radiación solar es el semiconductor tipo N (compuesto por silicio y dopado con Fósforo), y la parte inferior es el semiconductor tipo P (compuesto por silicio y dopado con Boro) logrando de esta manera que los fotones que impacten a la celda, se activen y en el campo eléctrico intermedio se dé el contacto para la conversión de energía (UNAM MX, 2017).

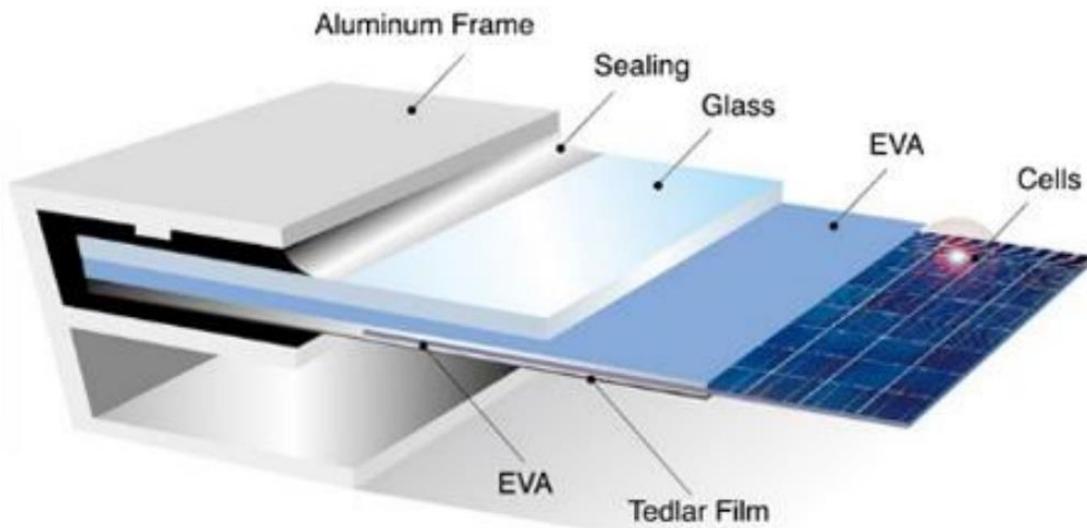
Gráfica 7: Características de una celda solar fotovoltaica.



Fuente: (UNAM MX, 2017).

La estructura del panel solar como se muestra en la gráfica 8, incluye aluminio y vidrio como componentes presentes en un 85% aproximadamente y clasificados como materiales no peligrosos (IRENA, 2016). El vidrio funciona como protector primario en el panel por lo que se busca que sea templado y debido a la prevención de futuros daños por las condiciones climáticas de un determinado sitio. Así mismo el resto de materiales son los elementos de la celda o célula fotovoltaica entre los que está el silicio, boro, fósforo y algunos metales. El protector encapsulante entre las celdas y el vidrio esta hecho de etileno vinilo acetato (EVA), al ser un polímero que al aplicar calor forma una película selladora e aislante en torno a las células solares (Auer, 2015).

Gráfica 8: Estructura de módulo solar fotovoltaico.



Fuente: (Auer, 2015).

En relación a la gráfica 8 se aclaran los nombres del panel mencionados como lo son:

- Aluminum Frame: Marco de aluminio.
- Sealing: Sellado.
- Glass: Vidrio convencional.
- EVA: Etileno Vinilo Acetato.
- Cells: Celda solar fotovoltaica.
- Tedlar film: Lamina Tedlar.

12.1.3. Tipos de paneles solares según su tecnología

La fabricación de paneles solares depende del tipo de tecnología que se implemente en su interior para su rendimiento. La tabla 9, muestra la diferencia entre los 3 tipos de silicio a los cuales se les han aplicado una serie de evaluaciones para verificar su rendimiento en laboratorio, rendimiento en campo y características básicas de fabricación.

Tabla 9: Tipos de Silicio al interior de los paneles solares.

Tipo de Silicio (Si)	Rendimiento en laboratorio	Rendimiento directo	Características y fabricación
Mono cristalino	24 %	15 – 18 %	Su obtención viene de silicio puro fundido y dopado con boro. Son típicos los azules homogéneos.
Poli cristalino	19 – 20 %	12 – 14 %	Contiene distintos tipos de azules y la superficie se estructura en cristales. Obtención del silicio puro y en su fabricación se disminuye el número de fases de cristalización.
Amorfo	16 %	< 10 %	Color homogéneo (color marrón), sin embargo no son visibles las conexiones entre las celdas solares. Principalmente se coloca sobre un sustrato de vidrio o plástico.

Fuente: (UNAM MX, 2017).

12.1.4. Composición de paneles solares

La composición de materiales que se muestra a continuación está relacionada a paneles de tipo poli cristalino de las dos marcas (Anexo 3), al ser los que se usan en los proyectos de la empresa Energía Integral Andina S.A.. De igual forma los porcentajes fueron tomados de la respectiva revisión bibliográfica y cálculos para los metales que se encuentran internamente en el módulo solar, como se desglosa en el anexo 4.

Tabla 10: Composición de materiales de panel solar poli cristalino marca INTI.

Componente	Materiales	Porcentaje del panel solar (Cantidad)
Marco	Aluminio	20 %
Cristal templado	Vidrio Convencional	64 %
Encapsulante adhesivo	Etileno vinilo acetato (EVA)	7.5 %
Caja de conexiones	Cables de electricidad	1 %
Lamina Tedlar	Sustrato de fluoruro de polivinilo	2.5 %
Celda Solar (Materiales semiconductores y otros metales)	Silicio (Si)	3,9997 %
	Boro (B)	2.845×10^{-8} %
	Fósforo (P)	9.9335×10^{-9} %
	Plomo (Pb)	4.8×10^{-3} %
	Plata (Ag)	5.6×10^{-3} %
	Estaño (Sn)	4.8×10^{-3} %
	Cobre (Cu)	1.48×10^{-2} %

Fuente: (Brouwer, 2011).

Tabla 11: Composición de materiales de panel solar poli cristalino marca JA SOLAR.

Componente	Materiales	Porcentaje del panel solar (Cantidad)
Marco	Aluminio	20 %
Cristal templado	Vidrio Convencional	64 %
Encapsulante adhesivo	Etileno Vinilo Acetato (EVA)	7.5 %
Caja de conexiones	Cables de electricidad	1 %
Lamina Tedlar	Sustrato de fluoruro de polivinilo	2.5 %
Celda Solar (Materiales semiconductores y otros metales)	Silicio (Si)	3.9998 %
	Boro (B)	8.7×10^{-8} %
	Fósforo (P)	3.4×10^{-9} %
	Plomo (Pb)	4.8×10^{-3} %
	Plata (Ag)	5.6×10^{-3} %
	Estaño (Sn)	4.8×10^{-3} %
	Cobre (Cu)	1.48×10^{-2} %

Fuente: (Brouwer, 2011).

La composición de los paneles solares marca INTI y JA SOLAR, como se muestra en la Tabla 10 y Tabla 11 respectivamente, están compuestos por una serie de materiales de los cuales el porcentaje que representa cada uno es aproximado. Los materiales principales de los dos paneles son el vidrio convencional y el marco de aluminio con un 64% y 20% respectivamente.

La composición de las celdas solares está dada por unos materiales semiconductores y otros metales que hacen posible el efecto fotovoltaico y se genere la energía necesaria para el autoabastecimiento. La celda está compuesta principalmente por silicio teniendo un 99.996% y un 99.9997% de presencia en los paneles marca INTI y JA SOLAR respectivamente.

12.1.5. Paneles solares de Energía Integral Andina S.A.

Energía Integral Andina S.A., es consciente del potencial de la energía fotovoltaica, y de los recursos que el sol proporciona a lo largo de la vida. La esperanza de las energías renovables es en mayor medida la energía solar, debido a su prácticamente inagotable fuente, energía silenciosa y fiable, ecológica, limpia y sin emitir CO₂ a la atmósfera.

El recorrido de EIASA en el campo de la energía solar ronda los 10 años aproximadamente, teniendo presencia a nivel local, nacional e internacional. Las principales ciudades en las que se han licitado y adjudicado proyectos son Bogotá D.C., Barranquilla y algunos municipios del departamento del Meta. En su gran mayoría los paneles y/o módulos fotovoltaicos instalados en los proyectos son de tipo policristalino.

Actualmente continúa ofreciendo, licitando e instalando a sus clientes paneles solares de silicio poli cristalino, los cuales son importados con dos proveedores diferentes (Ver Anexo 3). El tipo de panel instalado está directamente relacionado a las necesidades o requerimientos del cliente y a su vez el costo económico. Así mismo este tipo de proyectos no incluyen un plan de disposición final una vez concluya su vida útil.

12.2. Desarrollo y resultados de Objetivo Específico 2

Determinar las estrategias para la gestión, tratamiento y disposición de los materiales de un panel solar fotovoltaico.

12.2.1. Diagnóstico General de la Gestión de Residuos

Actualmente se cuenta en Energía Integral Andina S.A. 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 objeto establecer mecanismos y acciones que permitan reducir, reciclar y reutilizar aquellos residuos que por sus características pueden ser aprovechados. A su vez su campo de aplicación está disponible para todas las sedes de Energía Integral Andina S.A., exceptuando la Planta de fabricación de baterías industriales ubicada en Manizales, Caldas. Para el desarrollo de este programa se determinan una serie de actividades entre las que se destacan el diagnóstico actual, la recolección interna, el manejo de residuos aprovechables y no aprovechables, la separación en la fuente, el cambio de bolsas en los puntos ecológicos, el consumo de papel, la caracterización de los residuos, los escombros que se generan en dichos procedimientos y una actualización y revisión periódica al programa en ejecución. Estas actividades deben ser cumplidas para el logro de los indicadores ambientales que se planteen en el presente año.

El Programa de Residuos Peligrosos tiene como propósito establecer y ejecutar actividades enfocadas a la minimización de la generación de residuos peligrosos y sus posibles impactos ambientales. El programa se desarrolla a través de 4 componentes (Prevención y minimización, Manejo interno, Manejo externo, Ejecución, seguimiento y evaluación), en donde se fijan las condiciones generales que deben ser cumplidas según la legislación nacional (MAVDT, 2005), con el fin de prevenir aquellas acciones que puedan generar una afectación en el ambiente. En el apartado 12.2.5.2. se especifica la gestión e identificación de los residuos peligrosos y el proceso de tratamiento que se lleva a cabo por EIASA.

El seguimiento que se realiza a los programas es definido por el número de auditorías internas, la cantidad de RESPEL dispuesto con los gestores autorizados, la posible recuperación de residuos que se generen y la prevención de los incidentes ambientales. Así mismo la ejecución de las actividades están sujetas a los recursos económicos (son establecidos anualmente con el Departamento de Gestión Integral), tecnológicos (se utilizan principalmente aparatos eléctricos y electrónicos) y humanos (personal de las sedes involucrado al Departamento de Gestión Ambiental).

La continua ejecución de los programas con los que se cuenta, permite su adaptación a la gestión de los residuos de los paneles solares fotovoltaicos. Se plantea en la prueba piloto, la ejecución de fases de recepción, tratamiento, reciclaje y disposición final del conjunto de paneles solares fotovoltaicos. La recepción por parte de EIASA estará ejecutada en un determinado depósito temporal que cumpla con las normas legales vigentes (MAVDT, 2005).

Posteriormente, se inicia con el respectivo tratamiento que consiste en un desensamble que involucra el método manual y el método térmico, teniendo en cuenta aquellas características que en sus procesos generan menores gastos económicos. Se comparó con base a proyectos

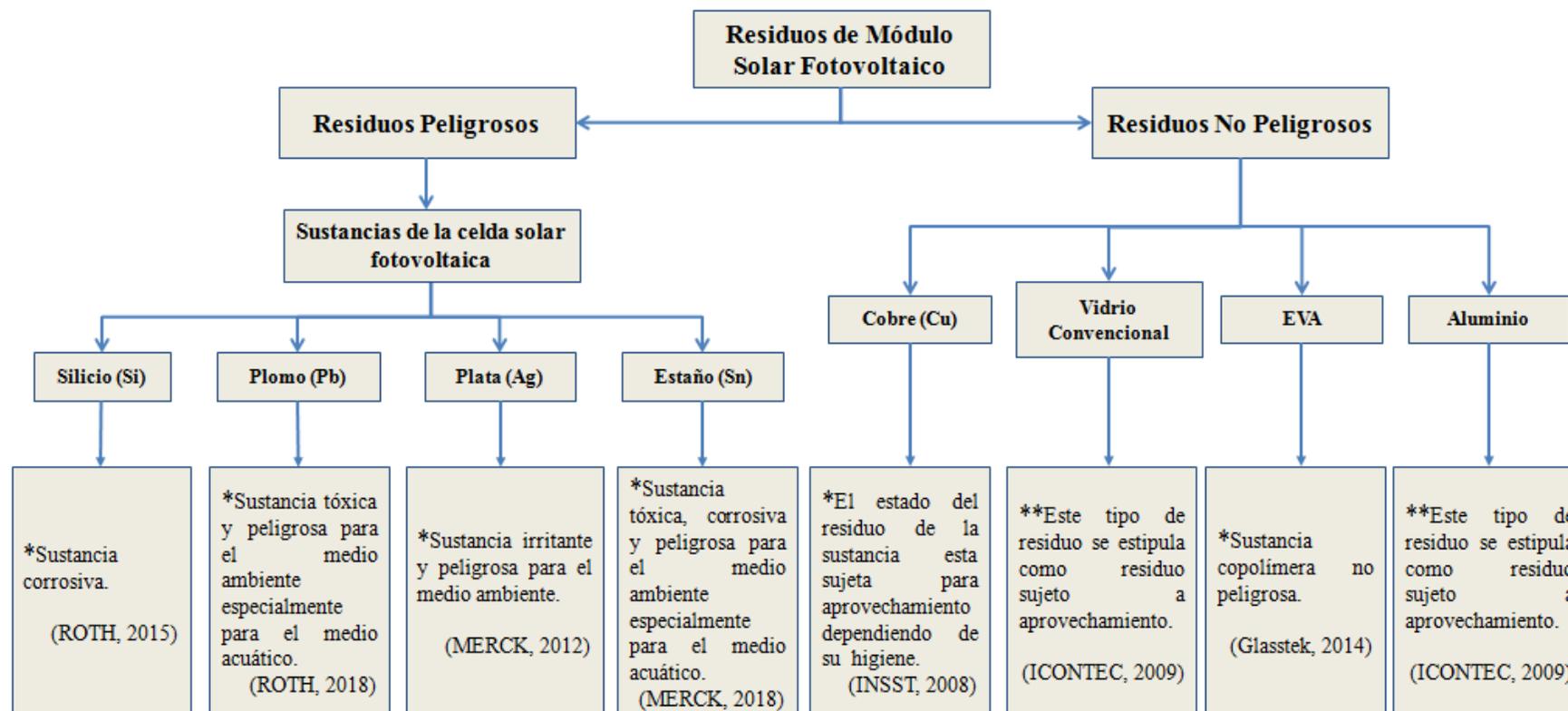
realizados con un solo método de los dos anteriormente mencionados. Escoger únicamente el método térmico, trae consigo impactos al ambiente como lo son el alto gasto de energía y los costos de adquisición de máquinas e importación son representativos para la prueba piloto que se realizará (Hylský, 2017).

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 (Engineering Ed., 2018), a una temperatura de 70°C (Glasstek, 2014) 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 (Ver Anexo 3).

Posterior a esto, la separación del vidrio convencional con las celdas solares será realizada con ventosas de plástico, disminuyendo el riesgo al que se exponen los trabajadores y la facilidad de manipulación de los mismos. Estos dos residuos ya entran a procesos de tratamiento interno y/o disposición final con gestores autorizados. Los componentes a lo largo del proceso de gestión y tratamiento serán separados y clasificados según el apartado “12.2.2. Tabla de Clasificación de los Residuos de un Panel Solar”. En dicho diagrama se muestran las especificaciones para cada uno de los residuos generados.

12.2.2. Tabla de Clasificación de los Residuos de un Panel Solar

Tabla 12: Clasificación de Residuos de un Módulo Fotovoltaico.



*Los datos de peligrosidad se estipulan en la ficha de seguridad correspondiente.

**La clasificación esta relacionada a la GTC 24 de ICONTEC.

Fuente: Autor, 2018.

12.2.3. Diagnóstico de Residuos No Peligrosos en EIASA

12.2.3.1. Gestión Interna

Actualmente en la gestión de los residuos sólidos convencionales, se realiza una separación en la fuente para su identificación y próximo aprovechamiento. Dicho proceso es realizado con gestores autorizados que le dan el respectivo tratamiento y/o disposición final.

De acuerdo a los procedimientos que se incluyen en el programa de gestión integral de residuos sólidos convencionales, aún no se realiza en Energía Integral Andina S.A. la gestión y la recepción de los residuos generados por un módulo fotovoltaico. Esto sucede, debido a que no se contempla un Plan de Manejo que permita establecer acciones de tratamiento y/o disposición final. Lo anterior sucede debido a la larga vida útil de este tipo de energías no convencionales.

El sitio de acopio actual (Ver Anexo 6), se estableció para una separación de los residuos convencionales según la Guía Técnica Colombiana 24, en la cual se establecen unos determinados colores que permitan la identificación adecuada para cada tipo de residuo (ICONTEC, 2009).

El seguimiento a nivel interno de la gestión de residuos sólidos es realizado desde el departamento de Gestión Ambiental, llevando un control mensual en donde los resultados son consolidados a los indicadores ambientales con los que se cuenta. Los gestores actualmente cuentan con permisos ambientales que se estipulan para EIASA, según la Política de Aprovechamiento Sostenible, que aplica para funcionarios, clientes y proveedores (Energía Integral Andina S.A., 2018). Del mismo modo estos gestores autorizados realizan la recolección de residuos cada 4 meses aproximadamente, lo cual depende del uso y consumo de materiales en los servicios que se prestan por parte de Energía Integral Andina S.A.

Con el fin de identificar de forma clara, aquellos aspectos que cumplen con lo estipulado en la GTC-24 y GTC-86, se plantea el siguiente check-list y su respectivo porcentaje de cumplimiento:

Tabla 13: Check-list de cumplimiento para Residuos Sólidos

Ítem	Criterio	Descripción	Valor
1	Ventilación	Cumple	12,5 %
2	Acceso práctico y sencillo	Cumple parcialmente	6,25 %
3	Rutas de fácil transporte	Cumple parcialmente	6,25 %
4	Uso de EPP y ayudas mecánicas pertinentes	Cumple parcialmente	6,25 %
5	Mantenimiento	Cumple parcialmente	6,25 %
6	Separación y clasificación	Cumple parcialmente	6,25 %
7	Rutas de emergencia claras y señalizadas	Cumple	12,5 %
8	Disposición Final	Cumple	12,5 %
TOTAL			68,75 %

Fuente: Autor, 2018.

Cuadro de Convenciones

Criterio	Valor
Cumple	12,5 %
Cumple parcialmente	6,25 %
No cumple	0 %

Fuente: Autor, 2018.

12.2.4. Diagnóstico de Residuos Peligrosos en EIASA

12.2.4.1. Gestión Interna

La gestión para los residuos peligrosos se plantea en el Programa de gestión integral para RESPEL, en el cual se realiza una clasificación por medio de etiquetas que estipulen los riesgos relacionados. Estas etiquetas son hechas con base a la hoja de seguridad que entrega cada proveedor. Las principales etiquetas que hay para la clasificación de residuos peligrosos son:

Tabla 14: Principales sustancias clasificadas en EIASA como RESPEL.

Sustancias clasificadas como Residuo Peligroso	
Elementos de Protección Personal (EPP)	Luminaria
Electrolito contaminado	Varsol contaminado
Residuo de Aparato Eléctrico y Electrónico (RAEE)	Tóner usado
Aceite Usado	Material contaminado con hidrocarburo
Batería de litio	Batería libre de mantenimiento
Pintura anticorrosiva	Quimident
Silicona transparente	Electrolito

Fuente: Autor, 2018.

La disposición final de estos residuos se realiza con los respectivos gestores autorizados. Actualmente no se ha realizado la disposición de paneles fotovoltaicos, debido a que se debe tener en cuenta que su vida útil es aproximadamente más de 20 años y a su vez la recolección de los mismos será compleja a nivel nacional debido a la ubicación geográfica en donde se encuentran ubicados la gran mayoría de los proyectos.

El sitio de acopio con el que se cuenta en la sede de Bogotá D.C. no cumple con los lineamientos y directrices que entrega el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible en la Guía Ambiental de almacenamiento y transporte por carretera de sustancias químicas peligrosas y residuos peligrosos (MAVDT, 2005). En el anexo 6, gráfica 14 se muestra el actual sitio de almacenamiento temporal.

Con el fin de identificar de forma clara, aquellos aspectos que cumplen con lo estipulado en las directrices de la Guía Ambiental de almacenamiento y transporte por carretera de sustancias químicas peligrosas y residuos peligrosos, se plantea el siguiente check-list y su respectivo porcentaje de cumplimiento:

Tabla 15: Check-list de cumplimiento para Residuos Peligrosos

Ítem	Criterio	Descripción	Valor
1	Ventilación	Cumple	10 %
2	Acceso práctico y sencillo	Cumple parcialmente	5 %
3	Rutas de fácil transporte	Cumple parcialmente	5 %
4	Uso de EPP y ayudas mecánicas pertinentes	Cumple parcialmente	5 %
5	Mantenimiento	Cumple parcialmente	5 %
6	Separación y clasificación	Cumple parcialmente	5 %
7	Rutas de emergencia claras y señalizadas	Cumple	10 %
8	Drenaje separados del sistema de alcantarillado	No cumple	0 %
9	Desnivel de mínimo 1% para contención de emergencias	No cumple	0 %
10	Disposición Final	Cumple	10 %
TOTAL			55 %

Fuente: Autor, 2018.

Cuadro de Convenciones

Criterio	Valor
Cumple	10 %
Cumple parcialmente	5 %
No cumple	0 %

Fuente: Autor, 2018.

12.2.5. Propuesta de mejora

La articulación del presente Plan de Manejo para Paneles Solares con el Programa de Residuos Sólidos Convencionales y Programa de Residuos Peligrosos, se plantea con el fin de relacionar las actividades y procesos necesarios para continuar tratando y gestionando los residuos que se generan por los procesos y servicios de Energía Integral Andina S.A. Así mismo se deberán programar en el cronograma de actividades del Departamento de Gestión Ambiental, aquellas capacitaciones necesarias para la comprensión de funcionarios, proveedores y clientes acerca del presente plan de manejo. A su vez, lo anterior estará apoyado por auditorías internas, separación en la fuente de los residuos y aquellas directrices y lineamientos necesarios para la infraestructura del depósito temporal.

Entre los residuos no peligrosos o Residuos Sólidos se incluyen el vidrio convencional, el EVA, el cobre y el aluminio una vez sean separados de las celdas solares. El EVA (Glasstek, 2014) y el cobre (INSST, 2008) no son considerados materiales o sustancias peligrosas de acuerdo con sus hojas de seguridad, libro naranja de las Naciones Unidas (Naciones Unidas, 2015) y Convenio de Basilea “Sobre el Control de los movimientos transfronterizos de los desechos peligrosos y su eliminación” (PNUMA, 1996). Estos

materiales no presentan peligrosidad, sin embargo deben ser tratados y aprovechados por gestores autorizados.

Los residuos no peligrosos generados por un módulo solar poseen características similares a los residuos que se generan en las labores cotidianas de EIASA como lo son la integración de sistemas de energía eléctrica, diseño y construcción de redes de energía, telecomunicaciones y saneamiento básico. Esta similitud posibilita la articulación del Plan de manejo de paneles solares con el programa de gestión integral de residuos sólidos convencionales.

Los residuos peligrosos identificados al interior del panel están dados por Silicio (Si) (ROTH, 2015) principalmente, seguido de Cobre (Cu) y por último en cantidades similares el Estaño (Sn) (MERCK, 2018), la Plata (Ag) (MERCK, 2012), el Plomo (Pb) (ROTH, 2018), el Fósforo (P) y Boro (B).

Para lograr evidenciar un funcionamiento de los lineamientos que se establecen a continuación, se propone un Programa para Residuos Sólidos Convencionales (Ver Anexo 7) y un Programa para Residuos Peligrosos (Ver Anexo 8). Los programas definen un objetivo, meta, actividades y responsables de las mismas.

12.2.5.1. *Gestión e identificación de los residuos sólidos convencionales*

Las características de los residuos convencionales permiten que estos puedan ser aprovechados y así ser incluidos en los procesos ya establecidos en el Programa de Residuos Convencionales para su respectiva gestión. La identificación del vidrio convencional y el aluminio estuvo soportada en la “Guía Técnica Colombiana 24 – Residuos Sólidos. Guía para separación en la fuente” (ICONTEC, 2009), en donde se muestran los criterios para la clasificación y los colores para el tipo de residuo generado. El EVA y el Cobre deben ser acopiados en el mismo sitio de almacenamiento, pero en distinto tipo de contenedor.

Para la aplicación de la GTC 24 a la separación en la fuente con estas características de estos residuos se plantea la siguiente distinción (ICONTEC, 2009).

Tabla 16: Separación propuesta para Residuos Convencionales de un panel solar.

Tipo de residuo	Color
Vidrio	Contenedor blanco
Aluminio	Contenedor café claro
EVA	Contenedor verde
Cobre	Contenedor café oscuro

Fuente: Autor, 2018.

De igual forma se tendrá en cuenta el decreto 2981 de 2013, para identificar las características mínimas del cuarto de acopio para los residuos sólidos convencionales (MVCT, 2013).

12.2.5.1.1. Depósito de Almacenamiento

El acopio de los residuos no peligrosos se realizará de forma temporal en un depósito para lo cual se tiene la “Guía Técnica Colombiana 86 para la gestión integral de residuos” (ICONTEC, 2003) y la “Guía Técnica Colombiana 24 para la separación en la fuente” (ICONTEC, 2009). Es por esto que el aprovechamiento de estos residuos depende principalmente del estado en que se encuentren. A continuación se establecen las condiciones mínimas necesarias para el centro de acopio entre las que se incluye principalmente un diseño interno, el manejo de los residuos, el uso de elementos de protección personal, un mantenimiento y la adecuada disposición.

Con el fin de dimensionar el cuarto de acopio temporal, se propone una bodega con un área total de 152 mts² y a su vez contará con una sola vía de acceso como se muestra en el anexo 10. Los espacios de almacenamiento para cada uno de los residuos varían según las dimensiones que poseen los mismos.

12.2.5.1.2. Condiciones de almacenamiento

El tiempo de acopio de los residuos no peligrosos de los paneles solares, se acumulará hasta lograr la cantidad mínima necesaria para que el gestor autorizado los recolecte. Esta cantidad mínima deberá ser de una disposición de 30 módulos solares.

12.2.5.1.3. Diseño

El depósito debe contar con rutas internas para la movilización de los residuos, y que de la misma forma en ningún momento se crucen los residuos convencionales con los residuos peligrosos. Es por esto que el lugar deberá contar espacio suficiente debido a las dimensiones de los paneles. El techo de dicha instalación no deberá permitir el ingreso de agua lluvia y de lo contrario si contar con aberturas de ventilación.

La separación de los residuos debe hacerse en diferentes contenedores para los 4 tipos de residuos aprovechables. Esto con el fin de mantener la higiene y facilitar la recepción por parte de el/los gestor(es) autorizado(s).

12.2.5.1.4. Manejo Seguro de Residuos

Para el manejo de los residuos acopiados o almacenados se procurará que los desplazamientos internos sean los más cortos posibles y las rutas establecidas deben garantizar la recolección del 100% de los residuos. Con base a lo anterior, dichos desplazamientos se muestran en el anexo 10.

12.2.5.1.5. Elementos de Protección Personal y Ayudas Mecánicas

El uso de EPP para el caso de residuos convencionales requiere principalmente de un overol, guantes especiales para manejo de materiales que pueden cortar por sus características en las que se reciben, botas y gafas de seguridad.

De igual forma a nivel interno se tendrán herramientas mecánicas para que los trayectos de transporte sean prácticos y ágiles para su posterior almacenamiento temporal. Estas

herramientas se establecerán a medida que se inicie la prueba piloto y relacionada a su vez con la cantidad de módulos solares que se van a gestionar.

12.2.5.1.6. Mantenimiento

El lugar en el cual se acopien dichos residuos deberá contar con un mantenimiento cada dos semanas, como el que se lleva a cabo en las sedes de Energía Integral Andina S.A. actualmente. Este mantenimiento consiste en la limpieza de los contenedores y un barrido general del depósito. De igual forma el personal encargado estará con el conocimiento previo de los residuos que se almacenan.

Posterior a la recepción de los residuos por el gestor autorizado, se debe realizar un lavado y/o limpieza a cada uno de los contenedores, ayudas mecánicas, implementos utilizados y sitio de almacenamiento.

12.2.5.1.7. Disposición final

La disposición final de residuos no peligrosos o convencionales estará sujeta a que se apruebe el presente plan de manejo para evaluar la posibilidad de que el gestor con el que se dispone actualmente, sea el encargado de gestionar a su vez estos residuos. La evaluación del gestor está regida por la Política de Aprovechamiento Sostenible, en donde se estipula que debe contar con un permiso o licencia para el tratamiento de residuos.

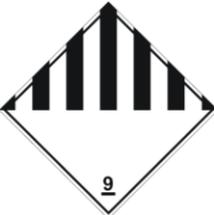
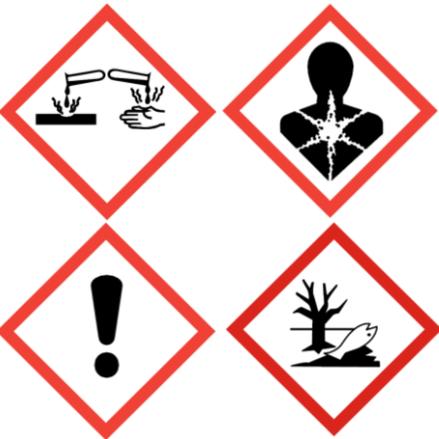
12.2.5.2. Gestión e identificación de los residuos peligrosos

Los residuos peligrosos generados por un módulo solar son de menor cantidad que los residuos no peligrosos como se muestra en la Tabla 10 y 11, debido a que los metales que se incluyen en el interior del módulo pertenecen principalmente a las celdas solares fotovoltaicas.

Una vez el módulo solar ha sido desensamblado la acumulación de celdas solares fotovoltaicas deben ser acopiadas en un depósito temporal para su posterior disposición. El tratamiento de las celdas solares para su aprovechamiento de metales, requiere de procesos químicos tecnificados y es por esto que en el caso del presente proyecto al ser una prueba piloto, se dispondrán con gestores autorizados (Hylský, 2017).

Los residuos peligrosos (Ver Diagrama 1), se identificaron a través de los peligros que se estipulan en las hojas de seguridad respectivas a cada una de las sustancias. Para el caso del Silicio se identifica como una sustancia corrosiva (ROTH, 2015); el Plomo es una sustancia tóxica y peligrosa para el medio ambiente, especialmente para el medio acuático (ROTH, 2018); la Plata se identifica como una sustancia irritante y peligrosa para el ambiente (MERCK, 2012); y el Estaño es una sustancia tóxica, corrosiva y peligrosa para el ambiente, fundamentalmente en el medio acuático (MERCK, 2018).

Tabla 17: Clasificación de peligros, etiquetas ONU y pictogramas del SGA.

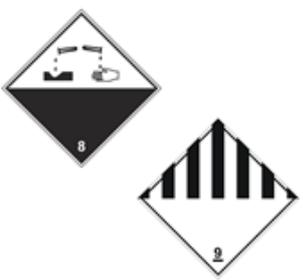
SUSTANCIA	CLASE	ETIQUETA DE PELIGRO	ETIQUETA DE SGA
Silicio (Si)	Clase 8 – Sustancias Corrosivas		
Plomo (Pb)	Clase 9 – Sustancias Peligrosas Varias		
Plata (Ag)	Clase 8 – Sustancias Corrosivas		
Estaño (Sn)	Clase 8 – Sustancias Corrosivas		

Fuente: Autor, 2018.

12.2.5.3. Etiqueta

La descripción de la información incluida en la etiqueta para la celda solar fotovoltaica, está directamente relacionada a las hojas de seguridad del Silicio (Si), Plomo (Pb), Plata (Ag) y Estaño (Sn). Lo anterior es realizado para poder identificar el tipo de residuo que se acopiara en el depósito temporal para su posterior tratamiento y aprovechamiento.

Gráfica 9: Etiqueta celda solar fotovoltaica

PELIGRO		CELDA SOLAR FOTOVOLTAICA		
PICTOGRAMAS		INDICACIONES DE PELIGRO		
		Tóxico por bioacumulación concretamente en vegetales y organismos acuáticos especialmente en peces.		
		CONSEJOS DE PRUDENCIA		
Peso (kg) <input type="text"/> Cantidad <input type="text"/>		Pueden ser peligrosos para la cadena alimentaria referida a los seres humanos por bioacumulación		
EPP				
		GENERADOR	Energía Integral Andina S.A.	
		TELÉFONO	(+57) - #####	
		DIRECCIÓN	<input type="text"/>	

Fuente: Autor, 2018.

12.2.5.4. Depósito de Almacenamiento

El depósito de almacenamiento deberá cumplir con los lineamientos que se detallan en los siguientes numerales, los cuales se rigen por el documento del Ministerio de Ambiente relacionado el almacenamiento y transporte de sustancias químicas peligrosas y residuos peligrosos (MAVDT, 2005). A continuación se detallan las condiciones mínimas necesarias para el centro de acopio entre las que se incluye principalmente la ubicación, el diseño interno, el manejo de los residuos, el uso de elementos de protección personal, un mantenimiento y la adecuada disposición.

Se propone un depósito de almacenamiento temporal con un área total de 84 mts² y a su vez contará con una sola vía de acceso como se muestra en el anexo 11. La bodega contará con 10 contenedores con dimensiones de 1.5mx1mx1m (largo, ancho y alto).

12.2.5.4.1. Condiciones del Sitio de Almacenamiento

El depósito temporal de residuos peligrosos será un espacio físico definido por un determinado tiempo de carácter previo a su aprovechamiento y/o valorización, tratamiento y/o disposición final (Universidad de los Andes, 2012). El tiempo de almacenamiento deberá ser no mayor a 12 meses y así mismo tomar medidas de prevención y control con el fin de evitar daños a la salud, trabajadores e impactos negativos al ambiente (MAVDT, 2005).

Las siguientes condiciones son los lineamientos que se deben tener en cuenta para el acopio de los residuos de paneles solares, según sea su identificación. Así mismos están dadas según la legislación aplicable y la empresa estará en la libertad de realizar el diseño más acorde para la recepción de tal magnitud.

12.2.5.4.2. Ubicación

La ubicación del depósito deberá estar alejada de zonas densamente pobladas, de fuentes de captación de agua potable, áreas inundables y posibles fuentes externas de peligro. Así mismo contar con un fácil acceso para el transporte y situaciones de emergencia.

(MAVDT, 2005)

12.2.5.4.3. Diseño

El diseño del lugar contará con espacio suficiente para el transporte interno de los paneles solares. Los componentes que representen peligrosidad deben ser compatibles y de no serlo, se dividirá el sitio para permitir la separación de los materiales incompatibles. Las puertas que se coloquen deben ser las suficientes para el acceso y salida de material, como también no debe haber obstrucción alguna que impida el cierre de las puertas en caso de emergencia. La planificación de las salidas de emergencia debe estar señalizada y en caso de emergencia se requiere que estas abran en sentido de la evacuación.

El piso debe contar con un mínimo de 1% de desnivel con el fin de poder contener la emergencia sin trascender otros espacios; los drenajes no deben estar abiertos con el fin de prevenir la descarga a cuerpos de agua o al sistema de alcantarillado público del agua usada contaminada en la emergencia. De este modo los drenajes interiores no estarán conectados directamente al sistema de alcantarillado.

El techo de la bodega de almacenamiento debe estar diseñado para que permita la salida de humo, gases o vapores, pero que no admita el ingreso del agua lluvia a las instalaciones. Las aberturas que se destinen para la ventilación, deben estar permanentemente abiertas o dar la posibilidad de abrirlas manual o automáticamente para los casos de emergencia.

(MAVDT, 2005)

12.2.5.4.4. Otras instalaciones

Lo ideal para el almacenamiento de residuos con contenido de sustancias peligrosas, es que no se encuentren oficinas o cuartos de residuos convencionales con el fin de prevenir la salud de los trabajadores y la dimensión de una posible emergencia. En el caso de encontrar algún lugar ajeno del depósito de residuos peligrosos como los mencionados anteriormente,

debe contar con una estructura de separación que tenga una resistencia al fuego mínima de 60 minutos.

(MAVDT, 2005)

12.2.5.5. Manejo Seguro de Residuos

Para lograr un eficaz manejo de los residuos de los paneles solares se tendrá que contar con determinados EPP, ayudas mecánicas para transporte interno y un mantenimiento al depósito de acopio. Así mismo la presencia de hojas de seguridad de las sustancias presentes en el panel deberá permanecer visible para conocer la compatibilidad con otro tipo de residuo peligroso. La limpieza, aseo y orden cumplen un papel fundamental para que la ejecución del tratamiento sea eficaz.

12.2.5.5.1. Elementos de Protección Personal y Ayudas Mecánicas

Los principales EPP que se requieren para el desensamble de los paneles solares son overoles, mascarilla para polvo, gafas de seguridad, botas de seguridad y guantes de carnaza. Los guantes son de uso importante debido a la temperatura con la que salen los paneles después de haber pasado por el horno.

Como herramientas adicionales que faciliten el proceso, se propone el uso de ventosas plásticas para la separación del vidrio convencional y las celdas solares, así como de vehículos mecánicos para el transporte interno de los paneles y carros de soporte para los módulos que ingresarán al horno.

12.2.5.5.2. Mantenimiento

El mantenimiento para el sitio de acopio para los residuos peligrosos deberá ser semanal, y de la misma manera realizar una inspección para el conocimiento del estado en que se encuentren los residuos. Lo anterior debe ser llevado a cabo por parte del personal capacitado y encargado. El conocimiento del tipo de residuo que se almacena debe ser del conocimiento del personal de servicios generales para una eventual emergencia, y la correcta interpretación de las hojas de seguridad.

12.2.5.6. Disposición Final

La disposición de los residuos peligrosos una vez separados se hará con un gestor autorizado para residuos de aparatos eléctricos y electrónicos. Dicho gestor debe cumplir con permiso ambiental o licencia ambiental para el tratamiento de los residuos. De igual forma deberá proporcionar a EIASA un certificado de disposición final para el respectivo seguimiento. Según el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), se proporciona una matriz (Ver Anexo 5) con los gestores autorizados y avalados por dicha entidad, que tienen cobertura en Bogotá D.C. y alrededores como Cota y Funza. El Anexo 5 está ajustado hasta el año 2017.

13. Análisis y discusión de resultados

La composición de un panel solar fotovoltaico está dada por 6 componentes (marco de aluminio, vidrio convencional, encapsulante adhesivo, caja de conexiones, lamina Tedlar y la celda solar), de los cuales la celda se divide en materiales semiconductores y otros metales (Engineering Ed., 2018). Para el caso del presente proyecto el Boro y Fósforo no se identificarán como un residuo peligroso, teniendo en cuenta que son usados únicamente para el dopaje con el Silicio y a su vez, su bajo porcentaje en la celda siendo $2.845 \times 10^{-8} \%$ y $9.933 \times 10^{-9} \%$ respectivamente para la marca de panel solar INTI; y para la marca del panel JA SOLAR se tiene un $8.7 \times 10^{-8} \%$ de Boro y $3.4 \times 10^{-9} \%$ de Fósforo. Los metales Silicio (Si), Plomo (Pb), Plata (Ag) y Estaño (Sn), se considerarán como residuo peligroso debido a tener 3,98%, $4.8 \times 10^{-3} \%$, $5.6 \times 10^{-3} \%$ y $4.8 \times 10^{-3} \%$ respectivamente de presencia en la celda y panel fotovoltaico.

El dopaje de las celdas solares puede realizarse con otros materiales semiconductores como lo pueden ser Cadmio (Cd), Selenio (Se), Indio (In), etc. (Iwamuro, 2013), pero en la actualidad se realiza principalmente con Boro y Fósforo, debido a la facilidad de unión con los átomos de Silicio (Si) (Engineering Ed., 2018). Los paneles fotovoltaicos usados en EIASA están compuestos de Silicio policristalino y dopados con Boro y Fósforo como habitualmente lo realizan los grandes proveedores en sus procesos de producción. En el desarrollo de la clasificación porcentual de aquellos componentes presentes en la celda solar, se tuvo en cuenta como factor primordial, el número de átomos dopados con fósforo (P) y Boro (B) en los átomos de Silicio (Si), que se encuentran en los semiconductores Tipo P y Tipo N.

El diagnóstico a la gestión interna de los residuos sólidos y residuos peligrosos que se le da en Energía Integral Andina S.A., está identificado en las tablas 13 y 15 respectivamente. Con base a lo anterior se definieron 8 criterios para los residuos sólidos basados en la GTC-24 y GTC-86, teniendo un cumplimiento del 68,75 %. Para los residuos peligrosos se definieron 10 criterios basados en la Guía Ambiental de almacenamiento y transporte por carretera de sustancias químicas peligrosas y residuos peligrosos (MAVDT, 2005), teniendo un cumplimiento del 55 %. Los criterios que se están incumpliendo en su totalidad son los drenajes que no se encuentran separados del sistema de alcantarillado y el desnivel mínimo de 1% para la contención de emergencias.

El sector fotovoltaico para Europa ha sido desarrollado a lo largo de los últimos años, dando como resultado la creación de PV Cycle. Es una asociación de Alemania, España y Bélgica en el 2007 con el objetivo de realizar la recogida y reciclaje de paneles fotovoltaicos. Esta entidad genera informes en los que se destaca que para el año 2021 se proyecta el desmantelamiento de grandes granjas solares en distintos países de Europa. Lo anterior se relaciona con Colombia, debido a que existen proyectos con grandes magnitudes y de los cuales no se realizan directrices que permitan tener una guía para la gestión y tratamiento de estos AEE. PV Cycle posee el 90 % de cobertura en el sector fotovoltaico a nivel europeo y se encuentra certificada y con permisos para realizar el transporte, recepción, almacenamiento, gestión, tratamiento, reciclaje y disposición de los mismos (PV Cycle, 2015).

El método que se utilizará para la separación de las celdas solares y el vidrio templado o convencional será mixto, incluyendo ciertos procesos del método manual y otros del método térmico. Esto se realiza según proyectos y resultados de laboratorio estudiados en República

Checa, los cuales muestran que al unir esta serie de procedimientos se reduce el costo económico y no se compromete la calidad y eficiencia de los materiales que se pretenden recuperar (Hylský, 2017). Al interior de los procedimientos que se llevarán a cabo se requiere primordialmente del uso de ventosas plásticas para la separación de componentes una vez sean retirados del horno necesario para este tratamiento.

La importancia del uso de los elementos de protección personal en los procesos de desensamble y separación de los componentes de un panel solar es necesaria para prevenir daños a la salud, y así mismo tener conocimiento de las normas básicas de seguridad establecidas en el Reglamento de Seguridad y Salud en el Trabajo (Guerrero M. A., 2012).

La vida útil de los paneles fotovoltaicos se definió como la pérdida de eficiencia del 20% con respecto a la original, por lo cual la garantía que se ha estudiado muestra que la eficiencia a los 10-12 años se ha reducido en un 10%, y para 25 años aproximadamente se reduce a un 20% cumpliéndose su vida útil (Hylský, 2017). Es por esto que las entidades, compañías y/o empresas de la industria fotovoltaica, perciben un auge en un futuro próximo, en cuanto a la disposición de paneles que se encuentran instalados actualmente.

Desde hace algunos años y con base a la anterior información, entidades como el Institute Renewable Agency presenta el documento “End of Life Solar Photovoltaic Panels del año 2016” (IRENA, 2016), la compañía “PV Cycle” adelanta estrategias y directrices de recolección y tratamiento en los países de la Unión Europea desde el año 2007 (PV Cycle, 2015), con el fin prevenir posibles impactos al ambiente que pueden darse por una inadecuada disposición de módulos solares en lugares no permitidos.

En Colombia a su vez se iniciaron políticas desde el año 2013 con la “Ley 1672 de 2013, en la cual se establecen los lineamientos para la adopción de una Política Pública de Gestión Integral de RAEE” (MADS, 2013), posterior se presentó en el 2017 la “Política Nacional de Gestión Integral de RAEE, en la cual se define la ruta que se llevará a cabo hasta el año 2032 en un accionar sistémico y coordinado con las entidades involucradas” (MADS, 2017). Como herramienta de gestión, EIASA debe incluir en sus políticas empresariales un plan de disposición final para los paneles solares al contar con servicios y productos de sistemas solares fotovoltaicos.

Actualmente en Energía Integral Andina S.A., a los residuos generados se les realiza un seguimiento y control por medio del “Programa de Gestión Integral de Residuos Sólidos Convencionales” y el “Programa de Gestión Integral de Residuos Peligrosos”. Con base a los resultados que muestre la prueba piloto se ajustará el presente Plan de Manejo para la disposición de paneles solares, a los programas actuales con el fin de poder gestionar los residuos con los gestores autorizados y avalados por el Departamento de Gestión Ambiental (Energía Integral Andina S.A., 2018).

La planificación de actividades para los dos programas mencionados anteriormente, es realizada previo a iniciar el siguiente año a ejecutar, con objeto de realizar actividades, capacitaciones, auditorías internas y externas, seguimientos a procesos y visitas de las sedes a nivel nacional. Estos programas fueron unificados en el transcurso del año 2018 para el tratamiento de residuos en todas las sedes y de la misma forma se ajustan los indicadores ambientales que proporcionan disminución, cantidad y porcentaje de aprovechamiento (Energía Integral Andina S.A., 2018).

14. Conclusiones

- En la gama de paneles solares fotovoltaicos contemplados dentro del marco del presente estudio y aplicados en Energía Integral Andina S.A., se logró identificar los componentes básicos de un módulo fotovoltaico con base a las revisiones bibliográficas y las fichas técnicas como lo son el vidrio, el aluminio, el EVA, la caja de conexiones, la lámina Tedlar y la celda solar. Así mismo el tipo de silicio usado es policritalin006F.
- La composición de una celda solar fotovoltaica está dada por materiales semiconductores como el silicio con un porcentaje identificado de 3.99% en la celda, el dopaje con fósforo y boro que se tiene un porcentaje de $3.4 \times 10^{-9} \%$ y $8.7 \times 10^{-8} \%$. Los metales como plata, plomo, cobre y estaño corresponden a un porcentaje de $5.6 \times 10^{-3} \%$, $4.8 \times 10^{-3} \%$, $1.48 \times 10^{-2} \%$ y $4.8 \times 10^{-3} \%$ respectivamente al interior de las celdas.
- Los paneles fotovoltaicos contienen materiales recuperables como lo son el vidrio, aluminio y celdas solares; estos pueden ser reutilizados una vez los módulos lleguen al final de su vida útil. Los procesos para separar las celdas de silicio cristalino se plantean en este documento así como el aprovechamiento de materiales como el vidrio y el aluminio.
- Energía Integral Andina cuenta con un Programa para los residuos convencionales y otro Programa para los residuos peligrosos, los cuales poseen componentes que pueden ser empleados para la gestión de los residuos de los módulos solares fotovoltaicos.
- A partir de lo identificado en el diagnóstico se desarrollaron estrategias para los residuos convencionales ajustadas a la Guía Técnica Colombia 24 (GTC 24 de 2009), en donde el vidrio estará en un contenedor de color blanco, el aluminio en un contenedor de color café claro, el etileno vinilo acetato en un contenedor de color verde y el cobre en un contenedor de color café oscuro. En cuanto a los residuos peligrosos se propone la identificación a partir de la etiqueta propuesta para las celdas solares como se estipula en la NTC 1692 de 2012 para la acorde clasificación y marcación. Su acopio será separado de los demás residuos peligrosos.
- Debido a que el desmantelamiento de módulos solares aun es un proceso incipiente, su recolección requiere ser centralizada en un lugar unificado para permitir hacer las labores de transporte, tratamiento y reciclaje.
- La ejecución de la prueba piloto y los resultados que esta arroje, permitirá conocer la importancia de unificar los programas con los que cuenta Energía Integra Andina S.A. para el manejo integral de residuos sólidos convencionales y peligrosos, con el objeto de adoptar e incluir el presente plan de manejo.

15. Recomendaciones

- La creación de alianzas con entidades, organizaciones y/o empresas nacionales e internacionales del sector fotovoltaico, permite que la recolección de módulos solares sea factible, debido a que si se cuenta con una mayor cantidad de paneles, se constituye como un proceso más rentable y aprovechable.
- A nivel interno de EIASA, es necesaria la creación de información documental y elementos de seguimiento de los mismos, que permitan llevar a cabo un control de las actividades propuestas en el presente plan y de esta forma evitar percances en el transporte, almacenamiento, tratamiento y disposición final.
- En caso de cambiar de proveedor de paneles solares fotovoltaicos, es necesario realizar una reevaluación de los componentes del presente plan, para garantizar que los elementos de gestión sean los apropiados.
- Se sugiere realizar un cambio de pictogramas en las actuales etiquetas de Energía Integral Andina, debido a que se está usando la marcación según el Sistema Globalmente Armonizado el cual aplica solamente cuando son materias primas y el que debe ser utilizado para este caso es el propuesto por las Naciones Unidas (ONU), como se estipula en el Decreto 1496 de 2018.
- Es necesario realizar un modelo de gestión que integre a las diferentes sedes de Energía Integral Andina S.A., con el fin de conocer la viabilidad de extender el Plan de Manejo a nivel nacional.
- Validar y actualizar tecnologías que permitan optimizar los mecanismos de recuperación de los materiales que componen un panel solar fotovoltaico.
- Evaluar y validar la gestión de los residuos desde los centros de generación a lo largo del país y de esta forma proponer empresas que se encarguen del transporte, almacenamiento, tratamiento y disposición final.

16. Referencias Bibliográficas

- AIE. (2017). *International Energy Agency. World Energy Outlook. Secure Sustainable Together*.
Alcaldía Mayor de Bogotá. (2009). *Mapa de Referencia para el Distrito Capital*. Recuperado el 2018, de Unidad Administrativa Especial de Catastro Distrital.
- Alcaldía Mayor de Bogotá. (2017). *Ubicación de la ciudad*. Recuperado el 2018, de Secretaria General: <http://www.bogota.gov.co/ciudad/ubicacion>
- Alsina, X. E. (2011). *Energía, Agua, Medioambiente, Territorialidad y Sostenibilidad*. (E. D. Santos, Editor) Recuperado el 2018
- ANTONIO CRESPO MARTINEZ, A. D. (2003). *Energías renovables para el desarrollo*. Madrid: Paraninfo.
- Asamblea Nacional Constituyente. (1991). *Constitución Política 1 de 1991 Asamblea Nacional Constituyente*. Recuperado el Julio de 2018, de <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=4125>
- Auer, A. (2015). *Photovoltaic module decommissioning and recycling in Europe and Japan - current methodologies, norms and future trends*. Recuperado el 2018, de Swedish University of Agricultural Sciences. Faculty of Natural Resources and Agricultural Sciences. Department of Urban and Rural Development.
- Brouwer, K. A. (2011). *Methods and concerns for disposal of photovoltaic solar panels*. Recuperado el 2018, de Master of science on engineering. San Jose State University.
- Congreso de Colombia. (1994). *Régimen de actividades en materia energética*. Recuperado el 2018, de http://www.upme.gov.co/normatividad/upme/ley_143_1994.pdf
- Congreso de Colombia. (2014). *Integración de energías renovables no convencionales al sistema energético nacional*. Recuperado el 2018, de http://www.upme.gov.co/normatividad/nacional/2014/ley_1715_2014.pdf
- Congreso de Colombia. (2014). *Ley 1715 de 2014*. Recuperado el 2018, de Integración de energías renovables no convencionales al sistema energético nacional: <http://www.fedebiocombustibles.com/files/1715.pdf>
- Congreso de la República. (2013). *Lineamientos para la adopción de una política pública de gestión integral de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos*. Recuperado el 2018, de http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/leyes/2013/ley_1672_2013.pdf
- Cordova, J. L. (S.F.). *El número de Avogadro*. Recuperado el 2018, de Departamento de Química UAM-I.
- Diario Oficial de la UE. (Julio de 2012). *Directiva 2012/19/UE para la gestión de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos*. Recuperado el 2018, de El Parlamento Europeo y El Consejo de la Unión Europea.
- EIASA. (2018). *Nuestra empresa*. Recuperado el 2018, de Política Integral: <https://www.energiaintegralandina.com/home.html>
- Energía Integral Andina S.A. (2018). *Programas de Gestión Ambiental. Gestión de Residuos*. Recuperado el 2018, de Departamento de Gestión Ambiental.
- energiza. (2016). *Paneles Fotovoltaicos: Concepto y tipos*. Recuperado el 2018, de Solar Fotovoltaica: <http://www.energiza.org/solar-fotovoltaica/22-solar-fotovoltaica/627-paneles-fotovoltaicos-concepto-y-tipos>
- Engineering Ed. (2018). *Engineering Lessons for Education*. Recuperado el 2018, de Solar Energy. Photovoltaic System.
- Gestión Integral EIASA. (2011). *Programa de ahorro y uso eficiente de la energía eléctrica*. Recuperado el 2018, de GAP-01: http://servermw1.eiasa.com/sigeiasa/documents/ambiental/programas/GAP-01_prog_ahorr_uso_efic_energia_2017-05-03.pdf

- Glasstek. (2014). *evguard. Hoja de seguridad del material EVA películas*. Recuperado el 2018, de Folienwerk wolfen GmbH. Alemania.
- Guerrero, A. F. (2017). *ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CREACIÓN DE UN EMPRESA PRODUCTORA Y COMERCIALIZADORA DE BEBIDAS REFRESCANTES CARBONATADAS, ENDULZADAS A BASE DE PANELA, EN BOGOTÁ, D. C.* Recuperado el 2018, de Fundación Universidad América. Ingeniería Industrial.
- Guerrero, M. A. (2012). *Proyecto de factibilidad para uso de paneles solares en generación fotovoltaica de electricidad en el complejo habitacional "San Antonio de Riobamba"*. Recuperado el 2018, de Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Escuela de Ingeniería Mecánica.
- Hylský, J. (2017). *Methods for recycling photovoltaic modules and their impact on environment and raw material extraction*. Recuperado el 2018, de Acta Montanistica Eslovaca.
- ICONTEC. (11 de 11 de 2003). *GTC 86 - Guía Técnica Colombiana para la implementación de la Gestión Integral de Residuos Sólidos (GIR)*. Recuperado el 2018, de Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación.
- ICONTEC. (24 de 08 de 2005). *NTC 2775 - Energía Solar Fotovoltaica. Terminología y definiciones*. Recuperado el 2018, de Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación.
- ICONTEC. (24 de Agosto de 2005). *NTC 2775 de 2005. Terminología y definiciones de la energía solar fotovoltaica*. Recuperado el 2018, de Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación.
- ICONTEC. (2009). *Guía para la separación en la fuente. Gestión Ambiental*. Recuperado el 2018, de Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación.
- IDEAM. (2017). *Listado de Gestores de Residuos Peligrosos*. Recuperado el 2018, de Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.
- INSST. (2008). *Fichas Internacionales de Seguridad Química. Cobre*. Recuperado el 2018, de Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo.
- IRENA. (2016). *END-OF-LIFE MANAGEMENT: Solar Photovoltaic Panels*. Alemania.
- IRENA. (2018). *IRENA's Data & Statistics. Insights on Renewables*. Recuperado el 2018, de International Renewable Energy Agency.: <http://www.irena.org/>
- Iwamuro, T. N. (2013). *Doping paste for Photovoltaic Solar Cell*. Recuperado el 2018, de Hitachi Chemical. Working on wonders.
- Jhonnatan Gómez Ramírez, J. D. (2016). *La energía solar fotovoltaica en Colombia: Potenciales, Antecedentes y Perspectivas*. Universidad Santo Tomás. Facultad de Ingeniería., Bogotá, Colombia.
- John Moore, C. S. (2008). *Chemistry 3rd Edition. The molecular Science*. Belmont CA, USA: International Student Edition.
- MADS. (1974). *Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente*. Recuperado el 2018, de Decreto Ley 2811 de 1974: <http://parquearvi.org/wp-content/uploads/2016/11/Decreto-Ley-2811-de-1974.pdf>
- MADS. (16 de 07 de 2013). *Ley 1672 de 2013 . Lineamientos para la política para la gestión de RAEE*. Recuperado el 2018, de Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.
- MADS. (2015). *Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible*. Recuperado el 2018, de Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.
- MADS. (2017). *Política Nacional para la Gestión Integral de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE)*. Recuperado el 2018, de Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.
- MADS. (2018). *Decreto 284 de 2018. Gestión Integral de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos*. Recuperado el 2018, de Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

- MADS. (2018). *Gestión Integral de los Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos*. Recuperado el 2018, de Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible: <http://es.presidencia.gov.co/normativa/normativa/DECRETO%20284%20DEL%2015%20FEBRERO%20DE%202018.pdf>
- MAVDT. (30 de 12 de 2005). *Decreto 4741 de 2005. Prevención y manejo de residuos o desechos peligrosos*. Recuperado el 2018, de Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.
- MAVDT. (2005). *Guías Ambientales de Almacenamiento y Transporte por carretera de sustancias químicas peligrosas y residuos peligrosos*. Recuperado el 2018, de Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Consejo Colombiano de Seguridad.
- MERCK. (2012). *Ficha de datos de seguridad. Producto Plata (Ag)*. Recuperado el 2018, de Merck Chemical and Life Science S.A.
- MERCK. (2018). *Ficha de datos de seguridad. Producto Estaño (Sn)*. Recuperado el 2018, de Merck Chemical and Life Science S.A.
- Murcia, H. R. (2009). *Desarrollo de la energía solar en Colombia y sus perspectivas*. Bogotá D.C.
- MVCT. (2013). *Decreto 2981 de 2013. Reglamento para la prestación del servicio público de aseo*. Recuperado el 2018
- Naciones Unidas. (2015). *Libro Naranja. Recomendaciones relativas al Transporte de Mercancías Peligrosas*. Recuperado el 2018, de Volúmen II.
- PNUMA. (1996). *Convenio de Basilea. Sobre el Control de los movimientos transfronterizos de los desechos peligrosos y su eliminación*. Recuperado el 2018, de Ley 253 de 1996.
- PV Cycle. (2015). *PV Cycle. Annual Report 2015*. Recuperado el 2018
- PVEducation. (2018). *Dopaje. Dispositivos semiconductores*. Recuperado el 2018, de Introduction to Semiconductors.
- ROTH. (2015). *Ficha de datos de seguridad. Producto Silicio (Si)*. Recuperado el 2018, de CARL ROTH.
- ROTH. (2018). *Ficha de datos de seguridad. Producto Plomo (Pb)*. Recuperado el 2018, de CARL ROTH.
- Sampieri, R. H. (2014). *Método de la investigación Sexta Edición*. (M. Education, Ed.) Recuperado el 2018
- Secretaria de Energía. (2008). *Energía Solar*. (T. d. Financiera, Editor) Recuperado el 2018, de Energías Renovables.
- U.S. Energy Information Administration. (2017). *International Energy Outlook 2017*. EIA, U.S.
- UNAM MX. (2017). *Life Cycle Analyses. Ingeniería 201*. (M. G. Education, Ed.) Recuperado el 2018, de Componentes de una instalación solar fotovoltaica.
- Universidad de los Andes. (21 de 02 de 2012). *Procedimiento para la gestión y disposición de residuos sólidos y peligrosos*. Recuperado el 2018, de Departamento Médico y de Salud Ocupacional.
- UPME. (2018). *Informe de registro de proyectos de generación del año 2018. Ministerio de Minas y Energía*. Recuperado el 2018, de Unidad de Planeación Minero Energética.