

**Identificación de potencialidades para el aprovechamiento y valorización de transformadores eléctricos desechados en Bogotá D.C.**

**Identificación de potencialidades para el aprovechamiento y valorización de transformadores eléctricos desechados en Bogotá D.C.**

**Belin Fung Vinasco**

**Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD**

**Escuela de Ciencias Administrativas, Contables, Económicas y de Negocios**

**Bogotá, octubre de 2019**

**Identificación de potencialidades para el aprovechamiento y valorización de transformadores eléctricos desechados en Bogotá D.C.**

2

**Identificación de potencialidades para el aprovechamiento y valorización de transformadores eléctricos desechados en Bogotá D.C.**

**Belin Fung Vinasco**

**C.C. 42134245 de Pereira**

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de Especialista en gestión de proyectos**

**Directora: MBA. Myriam Lucia Pineda González**

**Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD**

**Escuela de Ciencias Administrativas, Contables, Económicas y de Negocios**

**Especialista en Gestión de Proyectos**

**Bogotá, octubre de 2019**

**Identificación de potencialidades para el aprovechamiento y valorización de transformadores eléctricos desechados en Bogotá D.C.**

**Nota de aceptación**

-----

-----

-----

-----

-----

Firma del Jurado

-----

Firma del Jurado

Bogotá, octubre de 2019

# **Identificación de potencialidades para el aprovechamiento y valorización de transformadores eléctricos desechados en Bogotá D.C.**

4

## **Dedicatoria**

Esta tesis soporta mi gratitud en Dios, quien siempre a pesar de todo, estuvo a mi lado ayudándome a seguir y salir adelante, en mi madre quien siempre me apoyo y me impulso a continuar creciendo, a mi hija que me condono parte de su tiempo para mi formación, esposo que siempre me brindo su amor y soporte, bebé a punto de nacer que es mi nueva ilusión y hermana que ha sido toda la vida tan especial conmigo, inigualable.

Gracias a todos, a cada una de las personas que me ayudo y que quizás olvide nombrar...

# **Identificación de potencialidades para el aprovechamiento y valorización de transformadores eléctricos desechados en Bogotá D.C.**

5

## **Agradecimientos**

Agradezco enormemente el apoyo en la consecución de la información difícil de obtener a instituciones como el IDEAM, con funcionarios que me brindaron su ayuda, como: los ingenieros Julián D. Páez S. y Maritza Casallas M. y a empresas del sector de chatarra y residuos, como EXIN, su gerencia Zonia Medina y apoyo Andrea Garzón.

También quiero brindar una especial gratitud a mí profesora guía de tesis, quien nunca me abandonó y me brindo siempre su colaboración.

# Identificación de potencialidades para el aprovechamiento y valorización de transformadores eléctricos desechados en Bogotá D.C.

11

## Resumen

La presente monografía tiene como objetivo principal, demostrar cómo se puede aprovechar y valorizar transformadores que han sido desechados, y que no están contaminados con PCB – Bifenilos Policlorados, este documento pretende exponer como la gestión ambiental integral de transformadores eléctricos desechados por parte del sector eléctrico que maneja la distribución de energía en Bogotá D.C., no PCB, puede generar beneficios económicos al mismo tiempo que se cumple con las metas a nivel país que tiene Colombia, respecto a la eliminación de estos equipos según la normatividad ambiental vigente, en donde se establece que todos los transformadores y equipos contaminados con PCB, deben estar fuera de operación a más tardar en el año 2028. La idea general, es presentar un panorama de la norma respecto a la gestión de transformadores y a la comercialización de sus partes, que muchos sectores realiza, brindando una nueva fuente de ingreso que traspasa las fronteras nacionales. Y reduce significativamente la disposición final de residuos permitiendo una nueva obtención de materias primas de segunda mano. En esta tesis se describe de forma muy general, como las instituciones colombianas, los gremios, las empresas y entes internacionales ejercen una sincronía para que la gestión de transformadores eléctricos genere beneficios ambientales, económicos, y de paso beneficios sociales. Apuntándole indudablemente a un concepto integral de economía circular.

*Palabras claves:* Transformadores, metales ferrosos y no ferrosos, valorización, aprovechamiento.

# Identificación de potencialidades para el aprovechamiento y valorización de transformadores eléctricos desechados en Bogotá D.C.

11

## Abstract

The main objective of this monograph is to demonstrate how transformers that have been discarded and that are not contaminated with PCBs - Polychlorinated Biphenyls can be used and valorized, this document aims to expose as the integral environmental management of electrical transformers discarded by the electrical sector that manages the distribution of energy in Bogotá DC, not PCB, can generate economic benefits at the same time that it meets the goals at the country level that Colombia has, regarding the disposal of these equipment according to the current environmental regulations, where it is established that all transformers and equipment contaminated with PCBs, must be out of operation no later than 2028. The general idea is to present an overview of the standard regarding the management of transformers and the transmission of their parts, which many sectors realize, providing a new source of income that crosses national borders And re The final disposal of necessary waste is a new obtaining of second-hand raw materials. This thesis describes in a very general way, how Colombian institutions, unions, companies and international entities exercise a synchrony so that the management of electrical transformers generate environmental, economic, and social benefits. Undoubtedly pointing to a comprehensive concept of circular economy.

*Key words:* Transformers, ferrous and non-ferrous metals, valorization, exploitation.

# Identificación de potencialidades para el aprovechamiento y valorización de transformadores eléctricos desechados en Bogotá D.C.

11

## Tabla de contenido

<b>I. Línea de Investigación</b> .....	16
<b>II. Planteamiento del Problema</b> .....	16
<b>III. Pregunta de investigación</b> .....	17
<b>IV. Justificación</b> .....	17
<b>V. Metodología</b> .....	18
<b>VI. Objetivos</b> .....	20
<b>I. Objetivo General</b> .....	20
<b>II. Objetivos específicos</b> .....	20
Capítulo 1 .....	21
<b>1.1 Marco teórico</b> .....	21
<b>1.1.1 Convenio de Estocolmo</b> .....	21
<b>1.1.2 Plan Nacional de Aplicación de Eliminación de COP</b> .....	22
<b>1.1.3 Normatividad ambiental en Colombia para el manejo de transformadores eléctricos</b> .....	22
<b>1.1.4 Que son los PCB</b> .....	23
<b>1.1.5 Usos de los PCB</b> .....	23
<b>1.1.6 Riesgos ambientales de los PCB</b> .....	24
<b>1.2 Marco conceptual técnico - Distribución de energía eléctrica</b> .....	24
<b>1.2.1 Transformadores Eléctricos</b> .....	25
<b>1.2.2 Clasificación de los transformadores</b> .....	28
<b>1.2.2.1 Transformadores de Potencia.</b> .....	28
<b>1.2.2.2 Transformadores de Distribución.</b> .....	28



<b>Identificación de potencialidades para el aprovechamiento y valorización de transformadores eléctricos desechados en Bogotá D.C.</b>	11
1.2.2.2.1 Contaminación de transformadores.....	29
1.3 Marco Legal - Decreto 222 de 2011: equipos desechados No PCB .....	30
1.4 Resultados: Inventario preliminar de transformadores desechados .....	31
Capítulo 2.....	36
2.1 Descripción del manejo dado a los transformadores desechados no PCB en Bogotá .....	36
2.2 Reciclaje de materiales ferrosos y no ferrosos en Bogotá.....	37
2.2.1 Fundiciones.....	38
2.2.2 Instalaciones con permiso de emisiones atmosféricas de fuentes fijas que incluyen el aprovechamiento de materiales ferrosos y no ferrosos.....	39
2.2.3 Fundiciones de metales en Colombia .....	42
2.3 Ventajas de reciclar metales ferrosos y no ferrosos, usos .....	42
2.3.1 Reciclaje de metales ferrosos .....	42
2.4 Oportunidades en un negocio potencial como la chatarra .....	44
2.5 Exportación de metales ferrosos y no ferrosos .....	46
2.5.1 Cifras del reciclaje del material ferroso y no ferroso .....	46
2.6 Valorización de un transformador.....	49
2.6.1 Valorización de transformadores de distribución.....	52
Capítulo 3.....	57
3.1 Economía circular. Reincorporando materiales de segunda mano .....	57
3.1.1 Aprovechamiento de residuos.....	61
3.1.2 Identificación de beneficios Ambientales tras el aprovechamiento de transformadores .....	62
3.2 Beneficios Tributarios para la chatarra .....	64

# **Identificación de potencialidades para el aprovechamiento y valorización de transformadores eléctricos desechados en Bogotá D.C.**

11

<b>3.2.1</b>	<b>Impuestos por compra venta de materiales ferrosos y no ferrosos .....</b>	<b>64</b>
<b>3.3</b>	<b>Situación de Colombia frente a Latinoamérica respecto a la chatarra .....</b>	<b>64</b>
<b>3.4</b>	<b>Discusión.....</b>	<b>65</b>
<b>4</b>	<b>Conclusiones.....</b>	<b>67</b>
<b>5</b>	<b>Referencias.....</b>	<b>69</b>

# Identificación de potencialidades para el aprovechamiento y valorización de transformadores eléctricos desechados en Bogotá D.C.

11

## Lista de tablas

Tabla 1 <i>Clasificación de equipos según la concentración de PCB</i> .....	30
Tabla 2 <i>Resumen resultado inventario PCB quinquenio: 2013-2017</i> .....	32
Tabla 3 <i>Exportación de Material ferroso, Fe 2013-2017</i> .....	47
Tabla 4 <i>Exportación de Material no ferroso, Cu 2013-2017</i> .....	47
Tabla 5 <i>Exportación de Material no ferroso, Al 2013-2017</i> .....	48
Tabla 6 <i>Valorización de los componentes de un transformador</i> .....	50
Tabla 7 <i>Tabla de valorización de transformadores de distribución tipo poste 15 Kv</i> .....	52
Tabla 8 <i>Tabla de valorización de transformadores de distribución tipo pedestal 35 Kv</i> .....	53
Tabla 9 <i>Tabla de valorización de transformadores de distribución radial 15 – 25 Kv</i> .....	54
Tabla 10 <i>Tabla de valorización de transformadores de distribución Malla 12-25 Kv</i> .....	55

# Identificación de potencialidades para el aprovechamiento y valorización de transformadores eléctricos desechados en Bogotá D.C.

11

## Lista de Ilustraciones

<i>Ilustración 1.</i> Transformador Eléctrico. Tinyurl.....	26
<i>Ilustración 2.</i> Partes constitutivas de un transformador. Partes de un trafo. Automatismo Industrial .....	26
<i>Ilustración 3.</i> Placa de características de un transformador. Tinyurl.....	28
<i>Ilustración 4.</i> Chatarra para siderurgia semi integrada. Gerdau .....	41
<i>Ilustración 5.</i> Horno de OBT. bit/ly.....	41
<i>Ilustración 6.</i> Materia prima para la industria. Sismoresistencia. Gerdau.....	43
<i>Ilustración 7.</i> Materia prima para la construcción. Sismoresistencia. Gerdau .....	44

# Identificación de potencialidades para el aprovechamiento y valorización de transformadores eléctricos desechados en Bogotá D.C.

11

## Lista de Gráficos

<i>Grafico 1.</i> Cadena Productiva de la Energía Eléctrica. Codensa S.A. E. S. P. ....	24
<i>Grafico 2.</i> Inventario de transformadores desechados IDEAM 2013. Nota: Elaboración propia a partir de los inventarios de PCB del IDEAM 2013 .....	33
<i>Grafico 3.</i> Inventario de transformadores desechados IDEAM 2014. Nota: Elaboración propia a partir de los inventarios de PCB del IDEAM 2014 .....	33
<i>Grafico 4.</i> Inventario de transformadores desechados IDEAM 2015. Nota: Elaboración propia a partir de los inventarios de PCB del IDEAM 2016 .....	34
<i>Grafico 5.</i> Inventario de transformadores desechados IDEAM 2016. Nota: Elaboración propia a partir de los inventarios de PCB del IDEAM 2016 .....	34
<i>Grafico 6.</i> Inventario de transformadores desechados IDEAM 2017. Nota: Elaboración propia a partir de los inventarios de PCB del IDEAM 2017 .....	35
<i>Grafico 9.</i> Gráfico de fusión y afino. Sidenal .....	40
<i>Grafico 12.</i> Insumos para la industria siderúrgica .....	45
<i>Grafico 13.</i> Déficit en la capacidad instalada de producción de acero en Colombia.....	46
<i>Grafico 11.</i> Exportación de metales ferrosos y no ferrosos Vs valor generado.....	49
<i>Gráfico 7.</i> Gráfico sobre las iniciativas normativas de Colombia relacionadas con la economía circular: MADS.....	57
<i>Grafico 8.</i> Las 9R en la Economía Circular. Nota: Elaboración propia, adaptado de la Estrategia Nacional de Economía Circular .....	58
<i>Grafico 10.</i> Reducción de recursos y contaminación al reciclar materias primas .....	62
<i>Grafico 14.</i> Grafica de componentes de un transformador .....	66

**Glosario**

**Acero:** material ferroso, maleable, resistente, conductor de calor y electricidad.

**Aisladores:** elementos que cumplen la función de sujetar mecánicamente a los conductores

**Aluminio:** elemento químico metálico, de baja densidad, alta resistencia mecánica y a la corrosión

**Aprovechamiento:** recuperación eficiente de diferentes materiales presentes en los desechos

**Bifenilos Policlorados (PCB):** compuestos aromáticos formados de tal manera que los átomos de hidrógeno en la molécula bifenilo (2 anillos bencénicos unidos entre sí por un enlace único carbono-carbono) pueden ser sustituidos por hasta diez átomos de cloro

**Cementita:** carburo de hierro es un constituyente de los aceros, y otras aleaciones férreas

**COP- Contaminantes Orgánicos Persistentes:** sustancias químicas que tienen la propiedad de perdurar en el ambiente.

**Devanados:** componente de un circuito eléctrico formado por un hilo conductor aislado y devanado repetidamente, en forma variable según su uso

**Electromagnético:** hace referencia a la interacción de partículas cargadas con campos eléctricos y magnéticos

**Generador eléctrico:** dispositivo capaz de mantener una diferencia de potencial eléctrica entre dos de sus puntos, transformando la energía mecánica en eléctrica

**Hierro:** Material magnético, dúctil, maleable, buen conductor de calor y electricidad

**Horno de fusión OBT:** hornos de fusión compactos para la fundición de metales no ferrosos y aleaciones especiales

## **Identificación de potencialidades para el aprovechamiento y valorización de transformadores eléctricos desechados en Bogotá D.C.**

12

**kVA:** unidad de potencia aparente de un aparato eléctrico de características principalmente inductivas cuando funciona con corriente alterna, cuya equivalencia es normalmente de 1 KVA = 0.8 KW

**Metales ferrosos:** los metales ferrosos son todos aquellos metales que contienen hierro y acero y con altas propiedades magnéticas

**Metales no ferrosos:** los metales ferrosos son todos aquellos metales que no contienen hierro. Tienen gran contenido de Aluminio, Cobre, Estaño, plomo, y no tiene propiedades magnéticas

**Palanquilla:** producto final de las acerías, correspondiente al vertido y solidificación del acero líquido que forman parte de la línea eléctrica, manteniéndolos aislados de tierra y de otros conductores

**Transformador:** máquina estática de corriente alterno, que permite variar alguna función de la corriente como el voltaje o la intensidad, manteniendo la frecuencia y la potencia

**Transformadores desechados:** son todos aquellos equipos que no pueden volver a ser utilizados para el fin con el que fueron fabricados, debido a que sus características técnicas no lo permiten o que se ha tomado la decisión de descartarlos, rechazarlos o entregarlos

**Valorización de residuos:** residuos que sirven para sustituir a otros, al cumplir una función particular

# Identificación de potencialidades para el aprovechamiento y valorización de transformadores eléctricos desechados en Bogotá D.C.

13

## Introducción

Los transformadores fueron equipos creados en el año de 1885 por los ingenieros Károly Zipernowsky, Miksa Déri y Ottó Bláthy, de origen húngaro. Estos equipos tenían como objetivo transformar la corriente alterna en energía eléctrica, el 1886 se instaló el primer sistema de distribución eléctrica, que permitió llevar a los hogares de Great Barington, Massachusetts, electricidad.

La electricidad dentro de una comunidad es sinónimo de desarrollo y calidad de vida, es uno de los pilares para que el mundo moderno haya sido capaz de avanzar y de seguir avanzando, la iluminación eléctrica, los aparatos eléctricos, bienes y servicios que facilitan nuestros quehaceres cotidianos, y especialmente el desarrollo tecnológico y medios para acortar distancias y tener acceso al conocimiento e información como son los celulares y computadores, son equipos que han sido puestos a nuestra disposición, gracias a la energía eléctrica.

Los transformadores son equipos eléctricos que funcionan por inducción electromagnética, transfiriendo energía eléctrica de uno o más circuitos, a uno o más circuitos a la misma frecuencia, incrementando o reduciendo la tensión y corriente eléctrica, son equipos fundamentales dentro de la composición de una subestación eléctrica y se clasifican en dos grupos, de potencia y distribución, los transformadores de potencia son aquellos equipos con capacidad de recibir hasta 500 kVA y su uso generalmente está asociado a los generadores de energía eléctrica, su función básica es proporcionar energía a una línea de transmisión. Y los de distribución son aquellos equipos capaces de recibir hasta 500 kVA.

Los principales componentes de un transformador son:

- a) Circuito magnético (núcleo), conformadas por Silicio (Si).



## **Identificación de potencialidades para el aprovechamiento y valorización de transformadores eléctricos desechados en Bogotá D.C.**

14

- b) Circuito eléctrico (devanados), conformadas por Cobre (Cu).
- c) Sistema de aislamiento, conformados por cartón, papel, porcelana, aceite y tanque, conformados por Hierro (Fe)

De acuerdo a los componentes que conforman estas unidades, se tiene prevista una valorización económica, que es un negocio potencial que va en ascenso, apoyado en la normatividad ambiental, en la exoneración de obligaciones tributarias y en la necesidad de insumos para un sector económico especializado, el siderúrgico.

Los transformadores desechados no PCB según la resolución 222 de 2011, pueden ser enajenados por parte de las empresas y/o propietarios a terceros, en el caso de estudio en particular, se pretende realizar un bosquejo, donde se tenga una proyección de los resultados que ha tenido el inventario nacional de PCB, sobre la cuantificación de los transformadores desechados no PCB que tiene la empresa distribuidora de energía de Bogotá Codensa, durante los años 2013,2014,2015,2016 y 2017, y que genera un mercado de residuos no peligrosos, conforme estos equipos son retirados de uso, y logran entrar dentro del marco de una economía circular para proveer la industria de nuevos materiales de segunda mano donde sus materiales constitutivos pueden ser aprovechados y valorizados, permitiendo una retribución económica por su gestión especializada. Que finalmente permiten reducir la contaminación de los recursos naturales. Reduciendo la disposición de residuos en Rellenos Sanitarios y/o botaderos abiertos o dándoles un mal manejo que genera una contaminación a suelos, aguas y aire.

Los costos asociados al aprovechamiento y la valorización de transformadores, no se tienen claramente compilados y establecidos para determinar una viabilidad económica de gestión, se desconoce si estos equipos pueden ser un negocio potencial que este apoyado por las

## **Identificación de potencialidades para el aprovechamiento y valorización de transformadores eléctricos desechados en Bogotá D.C.**

15

Autoridades Ambientales y que tenga involucrado sectores productivos interesados, entre otros; por tal razón el contenido de esta monografía pretende a grandes rasgos realizar este análisis cuantitativo, que puede servir de insumo para estudios semejantes, de mayor profundidad, en cuanto a la identificación de potencialidades de aprovechamiento y valorización de transformadores.

# **Identificación de potencialidades para el aprovechamiento y valorización de transformadores eléctricos desechados en Bogotá D.C.**

16

## **I. Línea de Investigación**

La presente monografía se fundamenta en la línea de investigación de desarrollo económico sostenible y sustentable, en la sub-línea Desarrollo sostenible en gestión de proyectos.

## **II. Planteamiento del Problema**

Durante la entrada en vigencia de la normatividad ambiental sobre la eliminación de PCB en Colombia, con la Resolución 0222 del 15 de diciembre de 2011, los transformadores desechados que están clasificados en el grupo 4 del inventario nacional de No PCB, se valorizan económicamente; pero este mercado se desconoce de forma explícita, es decir, no se tiene una cuantificación de las cantidades que se retiran de uso cada año y que no están contaminadas, no se tiene información establecida sólida, sobre los materiales que se pueden aprovechar y su valor, se desconoce el potencial económico derivado de estos artefactos.

A la fecha poco se ha determinado y/o establecido respecto a la temática de estudio, no se tiene una proyección de forma anual de la cantidad de transformadores que pueden salir al mercado dentro de un marco legal y que se pueden valorizar, no se tiene un valor compilado de los precios de las partes que los constituyen, se desconoce y/o a grandes rasgos se sabe qué mercado potencial para comercializar sus partes constitutivas existe. Tributaria y legalmente no se tiene claridad sobre los requisitos de gestión de este tipo de residuos no peligrosos. Esta monografía pretende dar a conocer el estado del arte respuesta a estas temáticas que surgen alrededor del tema propuesto.

# **Identificación de potencialidades para el aprovechamiento y valorización de transformadores eléctricos desechados en Bogotá D.C.**

17

## **III. Pregunta de investigación**

¿Cuáles son las potencialidades en el aprovechamiento y valorización de transformadores eléctricos desechados en Bogotá?

## **IV. Justificación**

Los residuos generados especialmente por la distribución de energía eléctrica, deben tener un componente de gestión ambiental adecuado en cumplimiento de las normas vigentes, en tal sentido los transformadores usados para los propósitos de las empresas o necesidades de suministro eléctrico en una comunidad, al ser dados de baja, que no están contaminados con PCB, muchas veces son comercializados para tener un valor de salvamento o simplemente por gestión de desechos no peligrosos, teniendo en consideración que muchos de sus componentes son valorizados, y que esto permite introducir nuevamente en el sistema productivo materias primas que generan un usufructo, bien sea para una empresa o reciclador de oficio, se pretende delimitar los potenciales económicos derivados de esta gestión.

En tal escenario, entregar información relevante en cuanto a la estimación o cuantificación de la cantidad de transformadores que Bogotá ha desechado y que no están contaminados y determinar los componentes que los constituyen y su precio en el mercado, estableciendo su uso posterior y estimando los beneficios económicos, al reducirse la generación de residuos, permite tener un insumo teórico práctico, de lo que reciclar dentro de una economía circular transformadores desechados significa en un mercado en expansión, adicionándole el contexto ambiental, legal, tributario y de mercado actual.

## **V. Metodología**

La presente entrega monográfica tiene un modelo investigativo, cualitativo y cuantitativo, se realizó en primera medida una revisión del estado del arte sobre la información que se tiene establecida respecto a la cantidad de transformadores no contaminados que se generan, sus componentes valorizables y/o aprovechables y su valor económico en un mercado bajo el concepto de desarrollo sostenible, teniendo como componente primario la temática de economía circular; la investigación documental se realizó bajo un exhaustiva búsqueda teórica, en documentos públicos y privados, en donde se averiguó información económica, ambiental, normativa, tributaria, y técnica, con el fin de engranar y desarrollar de forma organizada la temática expuesta, para lograr entregar datos específicos sobre este tema que está poco documentado.

Dentro del análisis cualitativo y cuantitativo de esta monografía, se contó además con la experiencia propia, obtenida durante más de diez (10) años de trabajo, de un análisis dinámico, recursivo, proactivo y creativo en donde de acuerdo al desarrollo de diferente proyectos, se sumó conocimiento de primera mano a este documento. El conocimiento sobre las fuentes de consecución de la información específica no hallada, permitió obtener datos de primera mano a través de solicitud de información cuantitativa a entidades ambientales del orden nacional como el IDEAM, que compilan estadísticas de interés para este documento, las solicitud de estas, se realizó a través de derechos de petición para sintetizar datos reales relevantes de informes ya publicados. Además de realizar entrevistas con empresas del sector de la chatarra y especialistas para lograr establecer otros datos cuantitativos de precios de un mercado variable.

## **Identificación de potencialidades para el aprovechamiento y valorización de transformadores eléctricos desechados en Bogotá D.C.**

19

Descriptivamente hablando, del análisis cualitativo y cuantitativo se seleccionaron los datos más relevantes y de interés que dieron respuesta a nuestra pregunta de investigación y desarrollaron los objetivos propuestos. Logrando establecer y presentar información sencilla de fácil comprensión.

## **VI. Objetivos**

### **I. Objetivo General**

Determinar potenciales beneficios económicos derivados del aprovechamiento y la valorización de transformadores desechados, no contaminados con PCB en Bogotá D.C.

### **II. Objetivos específicos**

- Describir el manejo dado a los transformadores desechados en Bogotá, durante los años 2013 y 2017
- Caracterizar los beneficios económicos que ofrece el aprovechamiento de los transformadores no contaminados con PCB
- Identificar beneficios ambientales del aprovechamiento de los transformadores.

## Capítulo 1

### 1.1 Marco teórico

#### 1.1.1 Convenio de Estocolmo

El convenio de Estocolmo tiene como objetivo proteger la salud humana y el medio ambiente frente a los Contaminantes Orgánicos Persistentes - COP. Este convenio entro en vigencia en el año 2004, y hacen parte activa países como Antigua y Barbuda, Bahamas, Argentina, Belice, Bolivia, Barbados, Brasil, Chile, Costa Rica, Colombia, Cuba, República Dominicana, El Salvador, Ecuador, Guayana, Guatemala, Honduras, Jamaica, México, Nicaragua, Panamá, Paraguay, Perú, Saint Kitts y Nevis, Santa Lucia, San Vicente y Las Granadinas, Suriname, Trinidad y Tobago, Uruguay y Venezuela. (Cepal, 2019).

El convenio fomenta que estos países, reduzcan y/o eliminen la producción, utilización, importación, exportación y emisión al medio ambiente de Contaminantes Orgánicos Persistentes COP, de los cuales forman parte entre otros; los aceites que se encuentran en los transformadores y otros equipos eléctricos y que sirven como fluido aislante, llamados Bifenilos Policlorados que se hallan en concentraciones superiores a 50 ppm (partes por millón).

En el año 2006, Colombia elaboro el inventario preliminar de existencias de PCB en el país, y a partir de los resultados obtenidos, sumados a otros estudios de COP, se formuló el Plan Nacional de Aplicación del Convenio de Estocolmo (PNA), para orientar las acciones necesarias a dar cumplimiento a los compromisos establecidos en dicho convenio y que tienen dentro de sus líneas estratégicas eliminar las existencias de COP, específicamente y entre otras se encuentra dentro del plan, el de acción concreta de eliminación de PCB.



## **1.1.2 Plan Nacional de Aplicación de Eliminación de COP**

El Plan Nacional de Aplicación de Eliminación de COP, tiene como objetivo, identificar, gestionar y eliminar las existencias de PCB en Colombia, logrando de esta forma reducir y gradualmente eliminar los efectos de su manejo inadecuado, dando cumplimiento a los compromisos establecidos dentro del Convenio de Estocolmo.

El sector eléctrico es uno de los sectores que mayor cantidad de equipos y aceites con PCB posee. Y dentro de su plan de acción de eliminación de estas sustancias, tienen un plan que contempla: 1. Identificar los equipos contaminados con PCB. 2. Cuantificar a través de un inventario las existencias de PCB. 3. Establecer un cronograma de eliminación y sustitución de equipos y aceites contaminados con PCB y 4. Instaurar procedimientos de prevención a la contaminación y dispersión (incluyendo el control sobre las transferencias de propiedad y actividades de manutención de aceites y equipos). Dentro de las metas como país, Colombia tiene establecido para el año 2028 no tener Bifenilos Policlorados – PCB. (MADS, 2017).

## **1.1.3 Normatividad ambiental en Colombia para el manejo de transformadores eléctricos**

La resolución 0222 de 2011, establece las obligaciones que todo poseedor de equipos y aceites con PCB debe cumplir, e instaura una metodología clara, para capturar información gradual, a través de las Autoridades Ambientales por Jurisdicción que luego entregarán un reporte consolidado al IDEAM, de las cantidades de PCB que tiene el país tiene, para de esta forma lograr cuantificar un inventario nacional de PCB, según los grupos establecidos por la norma. Esta norma tiene como fundamento el cumplimiento de los compromisos pactados en el

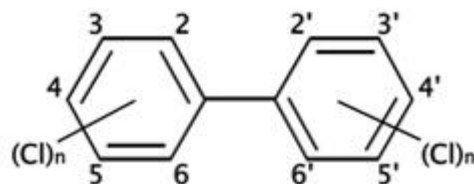
# Identificación de potencialidades para el aprovechamiento y valorización de transformadores eléctricos desechados en Bogotá D.C.

23

marco del Convenio de Estocolmo, el cual fue ratificado mediante la ley 1196 de 2008. De acuerdo al inventario nacional de PCB, Colombia al año 2017, tenía cuantificada la eliminación de 1200 toneladas de PCB, según cifras del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Y contaba con un reporte de 215.720 unidades confirmadas sin PCB.

## 1.1.4 Que son los PCB

De acuerdo al informe del IDEAM, 2016, los PCB son sustancias tóxicas y/o peligrosas, con una baja solubilidad en agua y una alta solubilidad en grasas, aceites y otros solventes orgánicos, que se caracterizan por su persistencia, es decir, resistencia a la degradación en el aire, agua, suelo y organismos, durante meses e incluso decenios, capacidad de bioacumulación y bioamplificación (acumulación en tejidos vivos en niveles más altos a los que se encuentran en el entorno) y el potencial de transporte a grandes distancias lo que significa su posibilidad de desplazarse a grandes distancias de la fuente de origen de emisión, usando distintos medios como el aire, agua y organismos vivos como especies migratorias.. Su estructura química corresponde a la siguiente:



Fórmula bruta:  $C_{12}H_{10-n}Cl_n$  con  $n=1-10$  (y principalmente  $n=2$  à  $7$ )

Masa atómica relativa: 189 – 499 g

Figura 1. Estructura química de los PCB. TREDI

## 1.1.5 Usos de los PCB

Los Bifenilos Policlorados – PCB, son sustancias que tienen excelentes propiedades aislantes eléctricas, e ignífugas, poseen estabilidad física y biológica, plasticidad e insolubilidad, además de un bajo costo.

# Identificación de potencialidades para el aprovechamiento y valorización de transformadores eléctricos desechados en Bogotá D.C.

24

Los tipos de uso más común de los PCB son:

- a) Fluidos dieléctricos (aceites) en transformadores y otros equipos.
- b) Diluyentes de pesticidas, lubricantes, soldaduras, adhesivos y pinturas, entre otros.

## 1.1.6 Riesgos ambientales de los PCB

Como lo describe TREDI, los PCB son sustancias con baja bio degradabilidad y larga persistencia, se hallan en el agua, el aire, los suelos y se acumulan en la cadena alimentaria, amplificándose en los organismos vivos como las plantas, los animales y los seres humanos. Son muy resistentes a la degradación.

Los efectos negativos de los PCB residen fundamentalmente en su carácter de disruptores del sistema endocrino humano.

## 1.2 Marco conceptual técnico - Distribución de energía eléctrica



Grafico 1. Cadena Productiva de la Energía Eléctrica. Codensa S.A. E. S. P.

La distribución de energía eléctrica consiste en transportar la energía eléctrica por los Sistemas de Transmisión Regional -STR, y los Sistemas de Distribución Local – SDL, los SDL

## **Identificación de potencialidades para el aprovechamiento y valorización de transformadores eléctricos desechados en Bogotá D.C.**

25

son sistemas conformados por redes, postes, transformadores, entre otros que llevan la energía eléctrica a los usuarios finales. Tanto los STR, como los SDL, están conectados al Sistema de Transmisión Nacional – STN.

La prestación del servicio de energía eléctrica en Bogotá está a cargo de la empresa Codensa, que transporta energía al usuario final a tensiones inferiores a los 220 kV, la distribuye y comercializa.

De acuerdo al informe del (Diario La República, 2019). Codensa actualmente tiene el 24% de participación en el mercado de distribución de energía eléctrica en el país, atiende los municipios de Bogotá y Cundinamarca, y trece municipios de los Departamentos vecinos de Meta, Tolima y Boyacá.

### **1.2.1 Transformadores Eléctricos**

Los transformadores eléctricos, forman parte de este sistema de distribución de energía, básicamente son máquinas estáticas de corriente alterna que permite variar alguna función de la corriente como el voltaje o la intensidad, manteniendo la frecuencia y la potencia en el caso de un transformador ideal. Para lograrlo, transforma la electricidad que le llega al devanado de entrada en magnetismo para volver a transformarla en electricidad, en las condiciones deseadas, en el devanado secundario.

# Identificación de potencialidades para el aprovechamiento y valorización de transformadores eléctricos desechados en Bogotá D.C.



Ilustración 1. Transformador Eléctrico. Tinyurl

Los transformadores están básicamente compuestos por: un núcleo, circuitos eléctricos o devanados, un sistema de aislamiento, un tanque y sus accesorios.

## Núcleo

- |     |                      |
|-----|----------------------|
| 1.  | Devanados            |
| 2.  | Cuba                 |
| 3.  | Aletas refrigeración |
| 4.  | <b>Aceite</b>        |
| 5.  | Deposito expansión   |
| 6.  | <b>Aisladores</b>    |
| 7.  | Junta                |
| 8.  | Conexiones           |
| 9.  | Nivel de aceite      |
| 10. | Termómetro           |
| 11. | Termómetro           |
| 12. | Grifo de vaciado     |
| 13. | Grifo de vaciado     |
| 14. | Cambios de tensión   |
| 15. | Relé bucholz         |
| 16. | Cáncamos transporte  |
| 17. | Desecador aire       |
| 18. | Tapón llenado        |
| 19. | Puesta a tierra.     |

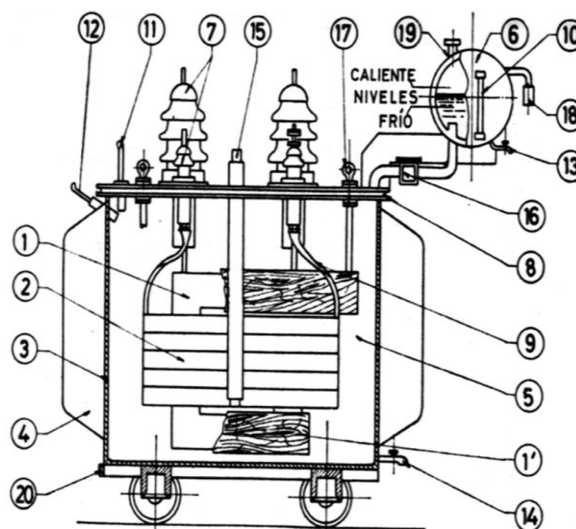


Ilustración 2. Partes constitutivas de un transformador. Partes de un trafo. Automatismo Industrial

## **Identificación de potencialidades para el aprovechamiento y valorización de transformadores eléctricos desechados en Bogotá D.C.**

27

El Núcleo: está constituido por chapas de acero al silicio aisladas entre ellas. El núcleo de los transformadores está compuesto por las columnas, que es la parte donde se montan los devanados, y las culatas, que es la parte donde se realiza la unión entre las columnas. El núcleo se utiliza para conducir el flujo magnético.

El circuito eléctrico (devanados): los devanados se construyen a partir de materiales como el cobre o aluminio, enrollados a través del núcleo en uno de sus extremos y recubiertos por una capa aislante, que suele ser barniz. Están compuestos por dos bobinas, la primaria y la secundaria. La función de los devanados es crear un flujo magnético (devanado primario) para inducir una fuerza electromotriz (devanado secundario) y transferir potencia eléctrica del primario al secundario, mediante el principio de inducción electromagnética.

El sistema de aislamiento: compuesto por papel, madera, porcelanas, y fluido líquido dieléctrico - PCB. Las funciones de estos componentes permiten al transformador soportar tensiones relativamente altas (esfuerzos dieléctricos), esfuerzos mecánicos y térmicos, y prevenir excesivas acumulaciones de calor.

El tanque o Cuba: este componente hace referencia al depósito donde están contenidas las partes constitutivas internas del transformador.

Placa del transformador: la placa que lleva cada transformador contiene información específica del equipo, como: año de fabricación, número de serie, cantidad de líquido refrigerante que contiene, el peso del transformador y el volumen del aceite, entre otros.

# Identificación de potencialidades para el aprovechamiento y valorización de transformadores eléctricos desechados en Bogotá D.C.

**"EMBLEMA Y MARCA DE LA FABRICA"**

kVA \_\_\_\_\_ SERIE \_\_\_\_\_

**VOLTS** \_\_\_\_\_

FASES \_\_\_\_\_ FREQ. \_\_\_\_\_ Hz. IMP. \_\_\_\_\_ % A \_\_\_\_\_ °C

ELEV. \_\_\_\_\_ °C ALTITUD \_\_\_\_\_ M.S.N.M. TIPO \_\_\_\_\_

O.T. \_\_\_\_\_ FECHA \_\_\_\_\_ CLASE \_\_\_\_\_ kV

NIVEL BASICO DE IMPULSO: A.T. \_\_\_\_\_ kV B.T. \_\_\_\_\_ kV

MASA APROXIMADA EN KILOGRAMOS \_\_\_\_\_

NUCLEO Y BOBINAS  TANQUE  LIQUIDO

TOTAL  LIQUIDO AISLANTE  L

POLARIDAD SUBSTRACTIVA \_\_\_\_\_ INSTRUCTIVO No. \_\_\_\_\_

DERIVACIONES			
CONECTA	POS.	VOLTS	AMPERES
4 - 5	1		
5 - 3	2		
3 - 6	3		
6 - 2	4		
2 - 7	5		
BAJA TENSION			

DIAGRAMA DE CONEXIONES

REGISTRO

Ilustración 3. Placa de características de un transformador. Tinyurl

## 1.2.2 Clasificación de los transformadores

### 1.2.2.1 Transformadores de Potencia.

Un transformador de potencia es uno de los equipos más importantes empleados en un sistema de potencia, utilizados para subir o bajar la tensión y al mismo tiempo transmitir y distribuir la energía eléctrica. Se usan en subestaciones, centrales de generación y usuarios de grandes potencia. Operan a plena carga, los transformadores de potencia generalmente están instalados en el extremo emisor o receptor de largas líneas de transmisión de alta tensión.

### 1.2.2.2 Transformadores de Distribución.

Los transformadores de distribución son aquellos equipos que proporcionar un nivel de voltaje de utilización de baja tensión a los consumidores finales. Operan a cargas ligeras y se instalan en las ciudades.

## **Identificación de potencialidades para el aprovechamiento y valorización de transformadores eléctricos desechados en Bogotá D.C.**

29

### **1.2.2.2.1 Contaminación de transformadores.**

El 30% del peso total de un transformador está constituido por aceite dieléctrico que en la mayoría de casos corresponde a PCB, este aceite tiene como función generar un medio aislante entre las partes internas constitutivas del equipo y es también un refrigerante del sistema. Muchos transformadores que actualmente están en uso o desuso, fueron construidos con aceite dieléctrico con PCB en concentraciones superiores a 50 ppm, otros, son sospechosos de estar contaminados por haber sido objeto de mantenimiento y haberse usado herramientas y/o aceites contaminados con los que no lo estaban, generándose de esta forma una contaminación cruzada, en cualquiera de los dos casos anteriormente señalados, los propietarios de los transformadores sospechoso de contener PCB por encima de las concentraciones permitidas, deben ser analizados en sus diferentes matrices, para que a través de un análisis cromatógrafo realizado por laboratorios acreditados ante el IDEAM, pueden demostrar el nivel de contaminación que contienen. De acuerdo a la normatividad ambiental vigente, Resolución 222 de 2011, todos aquellos equipos que tengan una concentración superior a 50 ppm (partes por millón), se clasifican como equipos contaminados. Y deben ser eliminados de forma progresiva, a más tardar en el año 2025 en las Zonas Interconectadas.



# Identificación de potencialidades para el aprovechamiento y valorización de transformadores eléctricos desechados en Bogotá D.C.

## 1.3 Marco Legal - Decreto 222 de 2011: equipos desechados No PCB

En el marco de la reglamentación vigente, especialmente la señalada en los artículos 7 y 28 del Decreto 222 de 2011, se indica que los transformadores que no estén contaminado con PCB (Bifenilos Policlorados), de acuerdo a los análisis cuantitativos realizados en laboratorio acreditado, conforme a los protocolos establecidos, pueden clasificarse como grupo 4 no PCB. Estos básicamente en el caso de estudio, corresponden a transformadores desechados, que contengan una concentración de PCB inferior a 50 ppm. Y que se pueden enajenar presentando de forma previa, ante la respectiva autoridad ambiental de la jurisdicción donde se encuentren, el inventario de los equipos a transferir con sus respectivos certificados de No PCB.

Tabla 1  
Clasificación de equipos según la concentración de PCB

GRUPO 1	GRUPO 2	GRUPO 3	GRUPO 4
Equipos fabricados con fluidos de PCB y desechos contaminados con PCB	Equipos y desechos que contienen o pueden contener PCB	Equipos y desechos contaminados con PCB	Equipos y desechos NO PCB
Aquellos que contienen PCB debido a que han sido fabricados equipándolos desde su origen con aceites dieléctricos o fluidos constituidos por PCB, o posteriormente rellenos con PCB en su mantenimiento o remanufactura, así como los desechos que hayan estado en contacto con el aceite de dichos equipos.	Aquellos que contienen o pueden haberse contaminado con PCB en su fabricación, utilización o mantenimiento, así como los desechos que hayan estado en contacto con el aceite de dichos equipos. Para efectos de clasificar el equipo o desecho en este grupo podrán utilizarse los resultados de análisis semicuantitativo o cuantitativo.	Aquellos que, aunque fabricados con fluidos que originariamente no contenían PCB, a lo largo de su vida se han contaminado, en alguno de sus componentes, con PCB en una concentración igual o superior a 50 ppm y menor a 500 ppm, así como los desechos que hayan estado en contacto con el aceite de dichos equipos. Para efectos de clasificar el equipo o desecho en este grupo podrán utilizarse análisis semicuantitativo o cuantitativo.	Aquellos de los que se certifique que su concentración de PCB es inferior al 0.005% ó 50 ppm, mediante análisis cuantitativo y/o certificación del fabricante en la que se certifique que el equipo se fabricó sin PCB, y el propietario certifique que el equipo no ha sufrido ninguna intervención. Aquellos equipos que sean sometidos a procesos de descontaminación, sólo podrán clasificarse en este grupo con base en el análisis cuantitativo de PCB realizado seis (6) meses después del proceso de descontaminación.
<b>CONTENIDO DE PCB</b>			
Se considerarán como equipos y desechos con concentración igual o superior a 10% (100.000 ppm en peso) de PCB.	Se considerarán como equipos y desechos con concentración igual o superior a 0.05% (500 ppm en peso) de PCB y menor a 10% (100.000 ppm en peso).	Se considerarán como equipos y desechos con concentración igual o superior a 0.005% (50 ppm en peso) de PCB, y menor de 0.05% (500 ppm en peso).	Equipos y desechos que contengan menos de 0.005% (50 ppm en peso) de PCB.

Nota: Recuperado de IDEAM. 2016

# **Identificación de potencialidades para el aprovechamiento y valorización de transformadores eléctricos desechados en Bogotá D.C.**

31

## **1.4 Resultados: Inventario preliminar de transformadores desechados**

En el marco de la normatividad ambiental Resolución 0222 de 2011, modificado por la Resolución 1741 de 2016, el inventario preliminar de PCB, conforme a los antecedentes históricos de generación de PCB por sector productivo, podemos confirmar de acuerdo al informe nacional para el seguimiento a las existencias y gestión de equipos con PCB en Colombia del IDEAM para el año 2017, que la distribución y generación de energía eléctrica, reporta la mayor cantidad de porcentaje de equipos con aceite dieléctrico, superando el 83% de existencias entre todos los sectores.

De acuerdo al informe del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), correspondiente al año 2017, para el avance en la identificación, el marcado, retiro de uso y eliminación de PCB (Bifenilos Policlorados) en Colombia, las Autoridades Ambientales nacionales habían reportado aproximadamente, que del total del inventario de PCB a nivel país, un 43.8%, de unidades correspondientes a 215720, están clasificados como equipos y desechos no PCB, que pueden ser aprovechados. Bogotá es uno de los municipios con mayor cantidad de equipos desechados no PCB.

En relación a nuestro tema de estudio: Establecer la cantidad de equipos desechados que están libres de PCB, ha sido una de las metas, conforme a los datos registrados en los inventarios de PCB de los últimos cinco (5) años, la cantidad de transformadores que pueden ser valorizados dentro de un universo de equipos eléctricos que pueden tener un valor comercial de acuerdo a sus partes constitutivas, creando un modelo de negocio inclusivo de carácter socio - económico y ambientalmente sostenible, fortaleciendo el marco del cumplimiento normativo y la consolidación de una economía circular.

## Identificación de potencialidades para el aprovechamiento y valorización de transformadores eléctricos desechados en Bogotá D.C.

32

Se puede visualizar matemáticamente conforme a las tablas siguientes que para el inventario del año 2013, se registró un total de equipos clasificados en grupo 1, 2, 3 y 4 de 322993 unidades, teniendo como clasificados en el ítem de equipos desechados, grupo 4 (libres de PCB) un total de 2211 equipos, es decir un 2% del total del inventario. Para el año 2014 el total del inventario fue de 444808 unidades clasificadas en grupo 1, 2, 3 y 4, logrando de este total un total de 6850 equipos desechados libres de PCB, en el año 2015, el inventario correspondió a un total de 430729 de equipos clasificados en grupo 1, 2, 3 y 4 de los cuales 9945 desechados estaban libres de PCB, para el año 2016 el inventario nacional reportó 408952 unidades clasificadas en grupo 1, 2, 3 y 4, de las cuales el 1% correspondiente a 17835 unidades fueron desechados y categorizadas como libres de PCB, finalmente y para el año 2017, el inventario nacional tuvo como resultado un inventario de 492711 unidades clasificadas en grupo 1, 2, 3 y 4, de las cuales el 5% correspondiente a 24686 unidades fueron desechados y categorizadas como libres de PCB.

Tabla 2  
*Resumen resultado inventario PCB quinquenio: 2013-2017*

<b>Año</b>	<b>Inventario Nal de PCB</b>	<b>Equipos desechados libres de PCB</b>	<b>% respecto al inventario nacional</b>
2013	322993	2211	1%
2014	444808	6850	2%
2015	430729	9945	2%
2016	408952	17835	4%
2017	492711	24686	5%

Nota: Elaboración propia a partir de los inventarios de PCB del IDEAM 2013, 2014, 2015, 2016, 2017

# Identificación de potencialidades para el aprovechamiento y valorización de transformadores eléctricos desechados en Bogotá D.C.

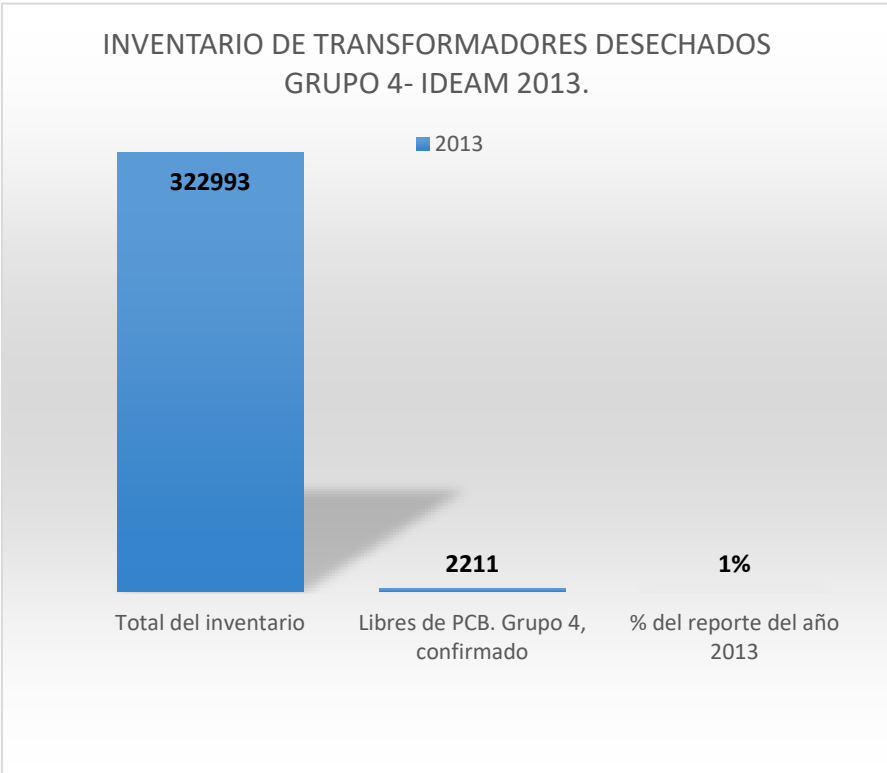


Grafico 2. Inventario de transformadores desechados IDEAM 2013. Nota: Elaboración propia a partir de los inventarios de PCB del IDEAM 2013

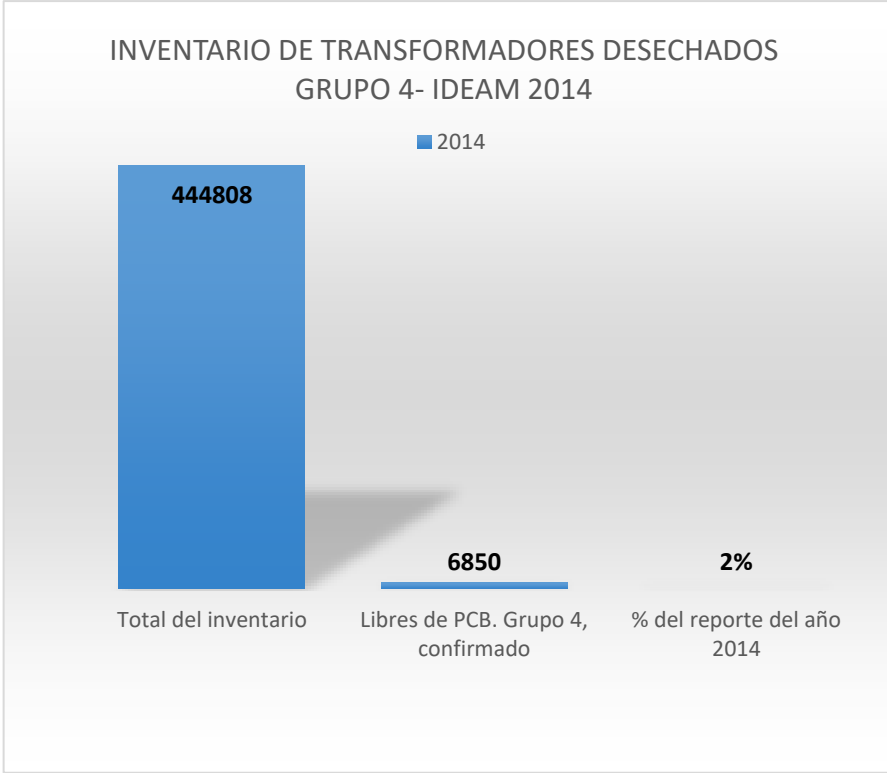
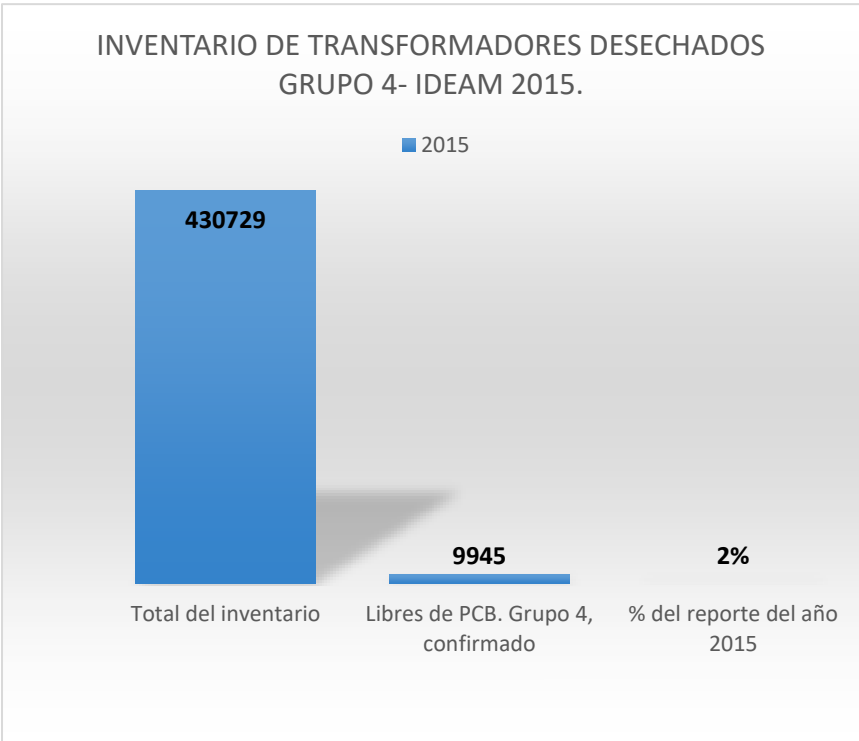
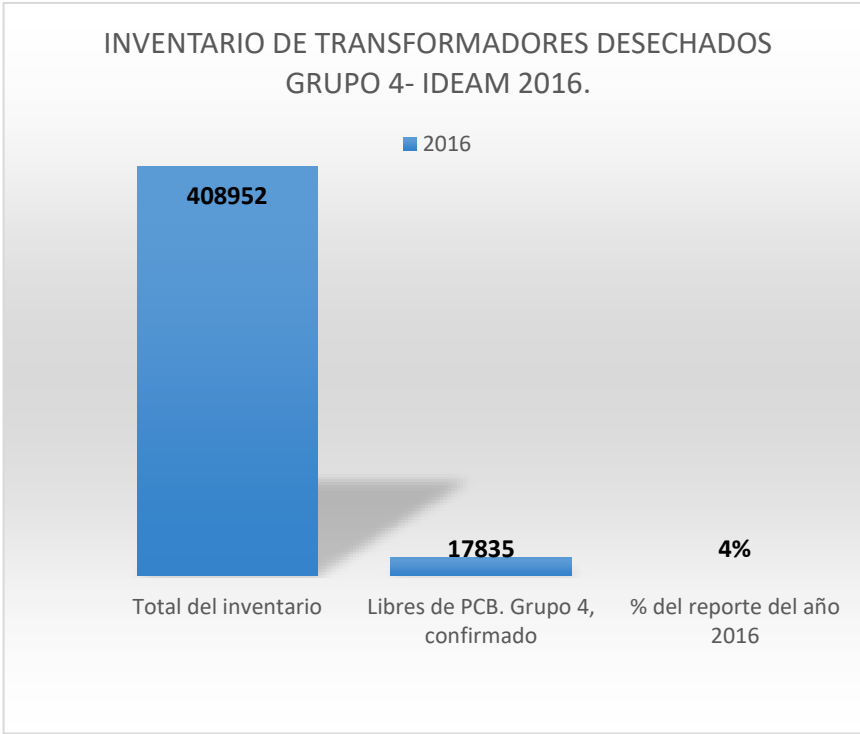


Grafico 3. Inventario de transformadores desechados IDEAM 2014. Nota: Elaboración propia a partir de los inventarios de PCB del IDEAM 2014

# Identificación de potencialidades para el aprovechamiento y valorización de transformadores eléctricos desechados en Bogotá D.C.



*Grafico 4.* Inventario de transformadores desechados IDEAM 2015. Nota: Elaboración propia a partir de los inventarios de PCB del IDEAM 2016



*Grafico 5.* Inventario de transformadores desechados IDEAM 2016. Nota: Elaboración propia a partir de los inventarios de PCB del IDEAM 2016

## Identificación de potencialidades para el aprovechamiento y valorización de transformadores eléctricos desechados en Bogotá D.C.

35



*Grafico 6.* Inventario de transformadores desechados IDEAM 2017. Nota: Elaboración propia a partir de los inventarios de PCB del IDEAM 2017

## **Capítulo 2**

### **2.1 Descripción del manejo dado a los transformadores desechados no PCB en Bogotá**

De acuerdo al informe de (Tecnalia, 2017), los datos sobre el manejo de este tipo de residuos no son específicos ni concluyentes, es difícil obtener datos y cálculos de las fuentes que generan la producción de chatarra, pero en general se tiene que la estimación para el año 2013 de este tipo de residuo correspondió a un total de 985.000 toneladas, en relación a la generación de residuos metálicos por parte de la industria manufacturera, la cifra para el mismo año fue de 196.694 toneladas. En general se tiene calculado que Colombia recicla alrededor del 85% de la chatarra que se genera. La principal fuente de chatarra se obtiene de residuos pos consumo y de la chatarra industrial. Cada una con un peso estimado de entre el 80 y 20%.

Existe un tema clave que impide obtener datos y estadísticas precisas sobre el manejo dado a los transformadores desechados no PCB en Bogotá, existe un mercado formal e informal para este tipo de gestión de residuos, pero la informalidad prevalece razón por la cual no existe información relevante sobre cantidades o registro de estadísticas en una entidad de consulta veraz.

El manejo dado a los transformadores desechados no PCB, generalmente se hace de forma contractual contra prestacional, o través de un valor de salvamento por la gestión de residuos aprovechables que los gestores de residuos, chatarreros y/o entidades cuyo objeto social son las subastas (El Martillo y Superbid, entre otras), realizan para las empresas que son propietarias de estos equipos.

# **Identificación de potencialidades para el aprovechamiento y valorización de transformadores eléctricos desechados en Bogotá D.C.**

37

## **2.2 Reciclaje de materiales ferrosos y no ferrosos en Bogotá**

Según FUNDES (2010), la cadena de reciclaje en Bogotá está compuesta por: (1) las fuentes generadoras, es decir los hogares y empresas que generan los residuos sólidos; (2) los recuperadores, que incluyen a las empresas de aseos y recicladores de oficio; (3) los recolectores y transportadores integrados por estos mismos actores pero que adicionalmente cuentan con vehículos para movilizar la carga; (4) los acopiadores, que se dividen de acuerdo a su capacidad de almacenamiento y funciones, ya que mientras los acopiadores primarios tienen baja capacidad y solo comercializan, los secundarios pueden almacenar de 20 a 40 toneladas de material, y realizan el proceso de clasificación y separación por familia de materiales; (5) los pre-transformadores, que se especializan en un material específico y compactan los residuos de acuerdo al tipo de producto; y por último (6) los transformadores que se encargan de fabricar productos terminados con valor agregado. (p. 146)

Actualmente el mercado de los metales ferrosos y no ferrosos cobra mayor relevancia, de acuerdo con el conocimiento adquirido por la población en general, que acierta sobre el valor que se puede percibir al tener una gestión correcta de los metales que se generan como desechos en las diferentes industrias, empresas, o zonas residenciales, una vez se aprende el valor de lo que ya no se va a utilizar o se desecha.

El reciclaje de hierro y acero puede ser reciclado de forma ilimitada, sin disminuir su calidad y se puede reincorporar como materia prima, fácilmente en la industria, una vez se realizan aleaciones con carbono para modificar sus propiedades mecánicas.

Los aceros se clasifican en Aceros no aleados, que son aquellos que tienen hierro y carbono y aceros aleados que son aquellos que tienen otros metales.



## 2.2.1 Fundiciones

Como parte del proceso de aprovechamiento de materiales ferrosos y no ferrosos se encuentran varios subprocesos, dentro de los cuales se mencionan el de las fundiciones y ventas directas al exterior.

Para el proceso de obtención de material se inicia con la negociación de los residuos objeto de aprovechamiento, una vez se cierra este paso, se realice la recolección, el transporte, desensamble, clasificación, pesaje y transporte a plantas de fundición o bodegas de almacenamiento para acumular cantidades importante a vender en el mercado nacional o exportar.

Si la comercialización de los residuos aprovechable tiene como destino final el mercado local, las fundidoras con permisos de emisiones atmosféricas vigentes realizan la limpieza del material, eliminando los contaminantes sobre el material, como hidrocarburos, pinturas, etc., se realiza a través de un lavado con disolución de hidróxido sódico y posteriormente se realiza una separación magnética, para realizar la fundición en hornos y obtener nuevos productos. Como es el caso de las empresas Siderúrgica Nacional -Sidenal, Gerdau Diaco, Acerías Paz del Rio, Ingerecuperar, entre otras.

Para el proceso de fundición se distinguen dos subprocesos:

- a. Fundición blanca: Su contenido principal es la cementita, esta fundición es de gran dureza y no se puede mecanizar.
- b. Y la fundición gris: Su contenido principal es el grafito, esta fundición es de baja dureza y se puede mecanizar.

## **Identificación de potencialidades para el aprovechamiento y valorización de transformadores eléctricos desechados en Bogotá D.C.**

39

En los casos de exportación del material ferroso y no ferroso formal, pudimos identificar que varias Comercializadoras Internacionales - CI, se encargan de realizar acopios temporales para realizar exportaciones de metales ferrosos y no ferrosos. Entre otras se encuentran, CI Almaseg; CI Metal Comercio; CI Metal Trade SAS; CI Metales La Unión y CI Recyclables S.A.

### **2.2.2 Instalaciones con permiso de emisiones atmosféricas de fuentes fijas que incluyen el aprovechamiento de materiales ferrosos y no ferrosos**

De acuerdo a la normatividad ambiental vigente y conforme a la Resolución 948 de 1995 del Ministerio de Ambiente, que establece la prevención y control de la contaminación atmosférica y la protección de la calidad del aire.

La empresa Diaco Gerdau, ubicada en la vereda Regencia, municipio de Tuta departamento de Boyacá; cuenta con el respectivo permiso atmosférico de fuentes fijas que otorgó la Corporación Autónoma Regional de Boyacá- Corpoboyaca, para realizar fundición de materiales ferrosos como el hierro, acero y metales, para la transformación y fabricación de palanquilla como como producto final, insumo de la industria y el sector de la construcción.

Este permiso de emisiones garantiza que la recuperación de los metales ferrosos se realice sin afectaciones a la salud humana y al ambiente.

#### **a) Siderurgia semi integrada.**

La Siderurgia semi integrada, es el proceso mediante el cual, se recicla el acero, este proceso toma como como insumo la chatarra y su proceso de preparación como materia prima considera la selección, el corte, la fragmentación y compactación que busca mejorar la eficiencia de la fusión del acero. Siempre se busca controlar su composición química para obtener el producto final requerido, de acuerdo al mercado al cual vaya dirigido.

# Identificación de potencialidades para el aprovechamiento y valorización de transformadores eléctricos desechados en Bogotá D.C.

40

El proceso de acería tiene dos fases:

Fase de fusión: esta etapa se realiza a través de la acción de un arco eléctrico, con la adición de materias primas como la Caliza, el Coque y el Oxígeno para finalmente obtener acero de buena calidad.

Fase de afino: Por medio del horno cuchara se reducen los elementos indeseables para realizar la aleación de los materiales y se adicionan las ferroaleaciones de acuerdo al producto a elaborar.



Grafico 7. Gráfico de fusión y afino. Sidenal

## Identificación de potencialidades para el aprovechamiento y valorización de transformadores eléctricos desechados en Bogotá D.C.

41



*Ilustración 4. Chatarra para siderurgia semi integrada. Gerdau*

### **b) Fabricación del acero**

Su infraestructura básicamente está constituida por un horno de fusión OBT.



*Ilustración 5. Horno de OBT. bit/ly*

# **Identificación de potencialidades para el aprovechamiento y valorización de transformadores eléctricos desechados en Bogotá D.C.**

42

## **2.2.3 Fundiciones de metales en Colombia**

Es importante tener en cuenta, que la transformación de materiales aprovechables ferrosos y no ferrosos, generalmente se encuentra en un mercado informal, donde una vez se tiene los insumos como Aluminio, Cobre y Silicio, entre otro se realiza una fundición de tipo artesanal, generalmente en horas nocturnas para evitar controles por emisiones por fuentes fijas, que vigila la autoridad ambiental de acuerdo a su jurisdicción.

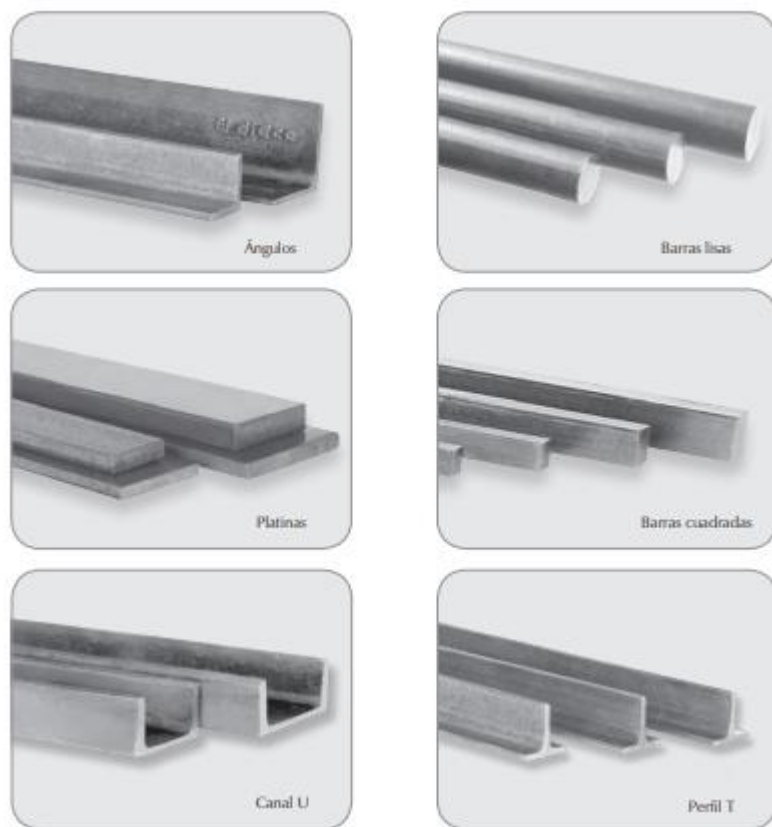
## **2.3 Ventajas de reciclar metales ferrosos y no ferrosos, usos**

### **2.3.1 Reciclaje de metales ferrosos**

Al reciclar material ferroso los usos que se tienen son múltiples, pues una vez realizada su transformación, se consideran su utilización nuevamente en la industria en aplicaciones como materia prima en: torres de comunicación, torres de transmisión de energía eléctrica, puentes vehiculares y peatonales, cubiertas, soportes guiados, señalización, muebles, ventanas, estanterías y carrocerías; industria metalmecánica, ornamentación y estructuras remachadas, atornilladas o soldadas, entre otras.

## Identificación de potencialidades para el aprovechamiento y valorización de transformadores eléctricos desechados en Bogotá D.C.

43

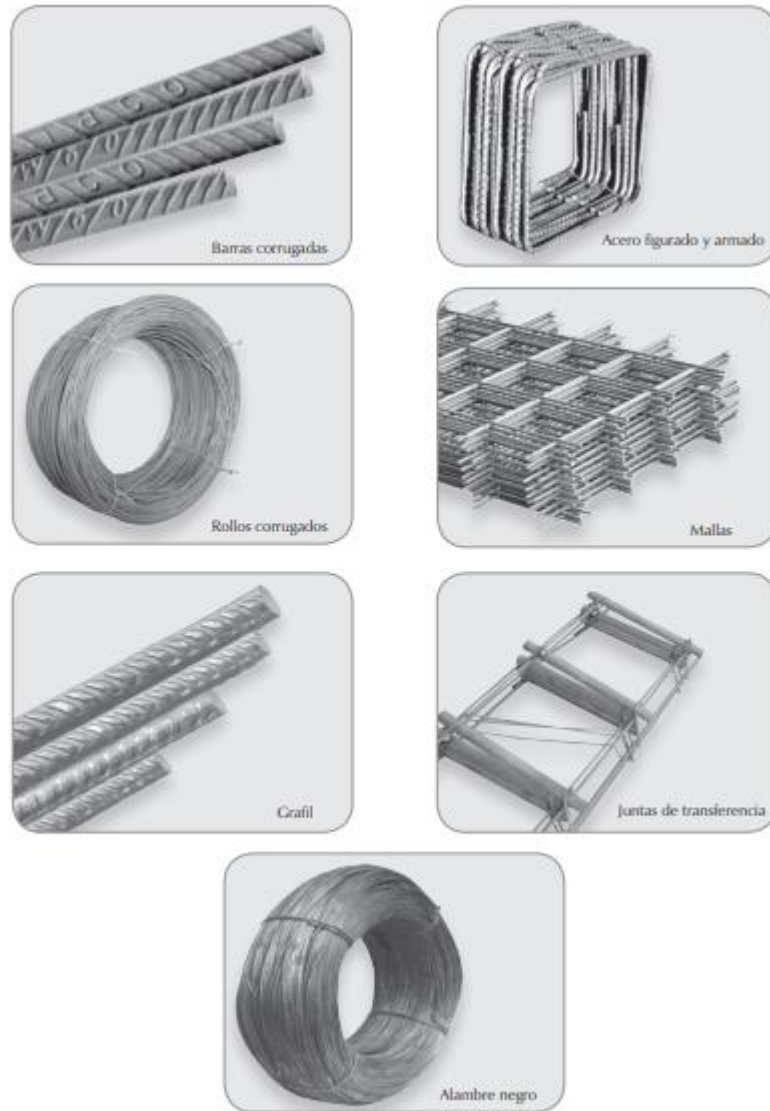


*Ilustración 6. Materia prima para la industria. Sismo resistencia. Gerdau*

Y en el sector de la construcción su aplicación básicamente se enfoca en el refuerzo del concreto en obras sismo resistente: en el amarre del concreto en obras civiles e infraestructura, como refuerzo en losas, entrepisos, pavimentos y muros de viviendas.

# Identificación de potencialidades para el aprovechamiento y valorización de transformadores eléctricos desechados en Bogotá D.C.

44



*Ilustración 7. Materia prima para la construcción. Sismo resistencia. Gerdau*

## 2.4 Oportunidades en un negocio potencial como la chatarra

Conforme a las últimas cifras anuales que se tienen consolidadas respecto al acero reciclable, es evidente una desvinculación del reciclaje local del internacional, la exportación de este material hacia países como China, durante los años 2017 y 2018 se incrementó en un 166 y 22% respectivamente en el primer semestre, este fenómeno se debe a que en el extranjero los precios

## Identificación de potencialidades para el aprovechamiento y valorización de transformadores eléctricos desechados en Bogotá D.C.

45

de la chatarra son mejores y la TMR – Tasa de Cambio Representativa en el Mercado, muchas veces es más favorable, lo cual permite maximizar los ingresos.

La exportación de chatarra ha producido en la industria siderúrgica colombiana un déficit de 679.063 toneladas de material, lo que reduce la capacidad instalada para atender la demanda nacional a un 64%, la construcción es uno de los sectores productivos que más afectado se ve por la escasez de acero, dado el incremento en los precios de este insumo que se cuantifica hasta en un 35% por encima.

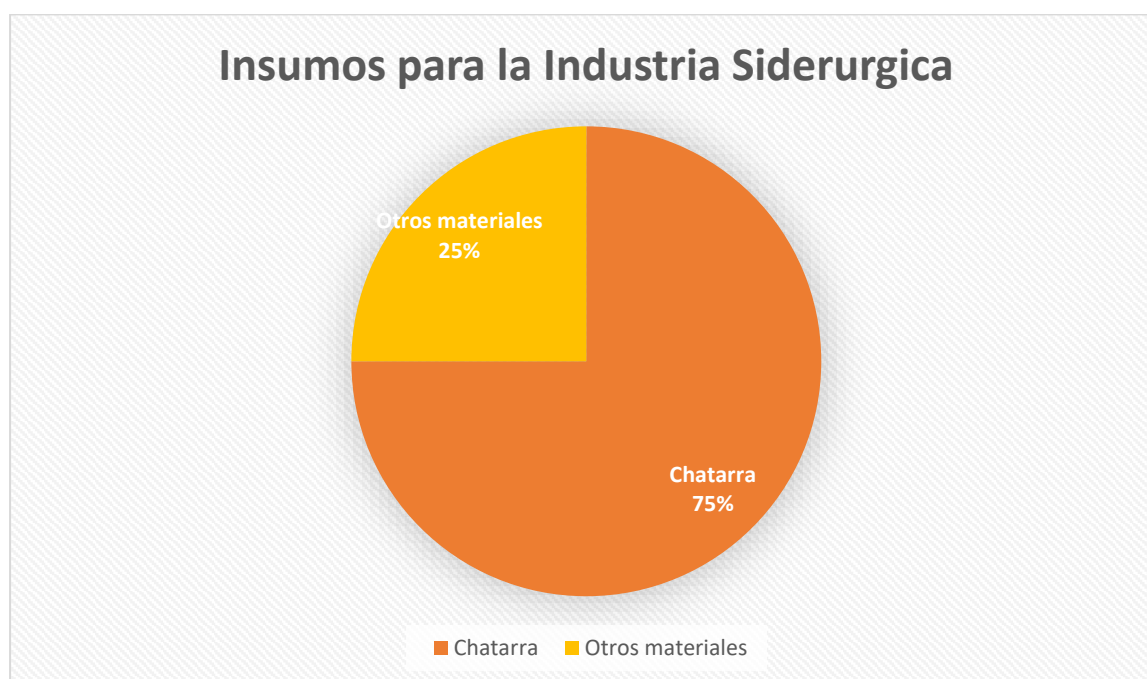


Gráfico 8. Insumos para la industria siderúrgica

Nota: Elaboración propia a partir de La guerra de la Chatarra que Colombia estaría perdiendo. El Espectador

Se estima que para que el déficit de la chatarra se reduzca y la capacidad instalada de la industria nacional alcance por lo menos el 80%, se requieren 1.660.900 toneladas de chatarra. Sin embargo es de vital importancia hacer énfasis en que la industria nacional actualmente cuenta con la capacidad de producir 2.2 millones de toneladas de acero.



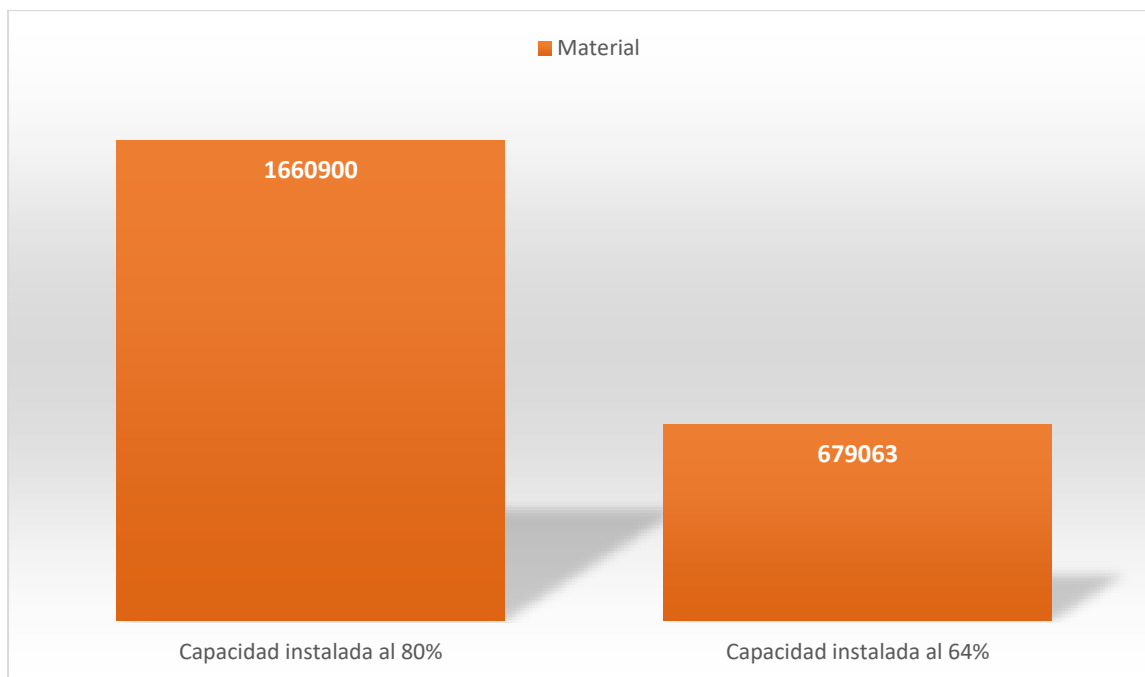


Grafico 9. Déficit en la capacidad instalada de producción de acero en Colombia.

Nota: Elaboración propia a partir de La guerra de la Chatarra que Colombia estaría perdiendo. El Espectador

## 2.5 Exportación de metales ferrosos y no ferrosos

Dentro del marco del aprovechamiento de materiales ferrosos y no ferrosos, se cuenta con las ventas directas al exterior, según la herramienta Trade Map, podemos identificar que por partidas arancelarias la exportación de chatarra, clasificada en la partida número 720429, se envía a países como Canadá, Brasil, Rusia, China e India.

Para tener un panorama general de la exportación de materiales ferrosos y no ferrosos se presenta a continuación un reporte de las cifras de reciclaje de estas materias primas

### 2.5.1 Cifras del reciclaje del material ferroso y no ferroso

En el periodo comprendido entre los años 2013 y 2017, la exportación de los residuos de "chatarra", de fundición, hierro o acero creció un 92%.

## Identificación de potencialidades para el aprovechamiento y valorización de transformadores eléctricos desechados en Bogotá D.C.

47

Tabla 3  
*Exportación de Material ferroso, Fe 2013-2017*

<u>Producto</u>	<u>Año</u>	<u>Cantidad exportada en Ton</u>	<u>Valor promedio Dollar por Ton</u>	<u>Valor</u>
Partida arancelaria 720400 Chatarra Desperdicios y desechos, de Chatarra	2017	55541	448	24276
	2016	26782	425	14152
	2015	33619	316	18297
	2014	64217	603	33149
	2013	76448	592	39500

Nota: Elaboración propia a partir de los datos de Trade Map

En el periodo comprendido entre los años 2013 y 2017, la exportación de los residuos de Cobre, de fundición, hierro o acero creció un 11%.

Tabla 4  
*Exportación de Material no ferroso, Cu 2013-2017*

<u>Producto</u>	<u>Año</u>	<u>Cantidad exportada en Ton</u>	<u>Valor promedio Dollar por Ton</u>	<u>Valor</u>
Partida arancelaria 740400 Cobre Desperdicios y desechos, de Cobre	2017	48.258	4960	239.379
	2016	43.080	4042	174.136
	2015	47.074	4620	217.501
	2014	44.802	5684	254.637
	2013	56.884	5753	327.282

Nota: Elaboración propia a partir de los datos de Trade Map

## Identificación de potencialidades para el aprovechamiento y valorización de transformadores eléctricos desechados en Bogotá D.C.

48

En el periodo comprendido entre los años 2013 y 2017, la exportación de los residuos de Aluminio creció un 20%.

Tabla 5  
*Exportación de Material no ferroso, Al 2013-2017*

<u>Producto</u>	<u>Año</u>	<u>Cantidad exportada en Ton</u>	<u>Valor promedio Dólar por Ton</u>	<u>Valor</u>
Partida arancelaria 760200 Aluminio Desperdicios y desechos, de Aluminio	2017	34.400	1410	48.514
	2016	28.603	1273	36.419
	2015	29.576	1510	44.656
	2014	31.256	1696	53.022
	2013	51.308	1567	80.384

Nota: Elaboración propia a partir de los datos de Trade Map

De acuerdo al análisis sintetizado de los cuadros de exportación de metales ferrosos y no ferrosos podemos concluir en que el material que más se exporta en el mismo periodo de tiempo, años 2013 al 2017 es la chatarra, seguido del cobre y el aluminio, y el metal que más valor genera es el cobre.

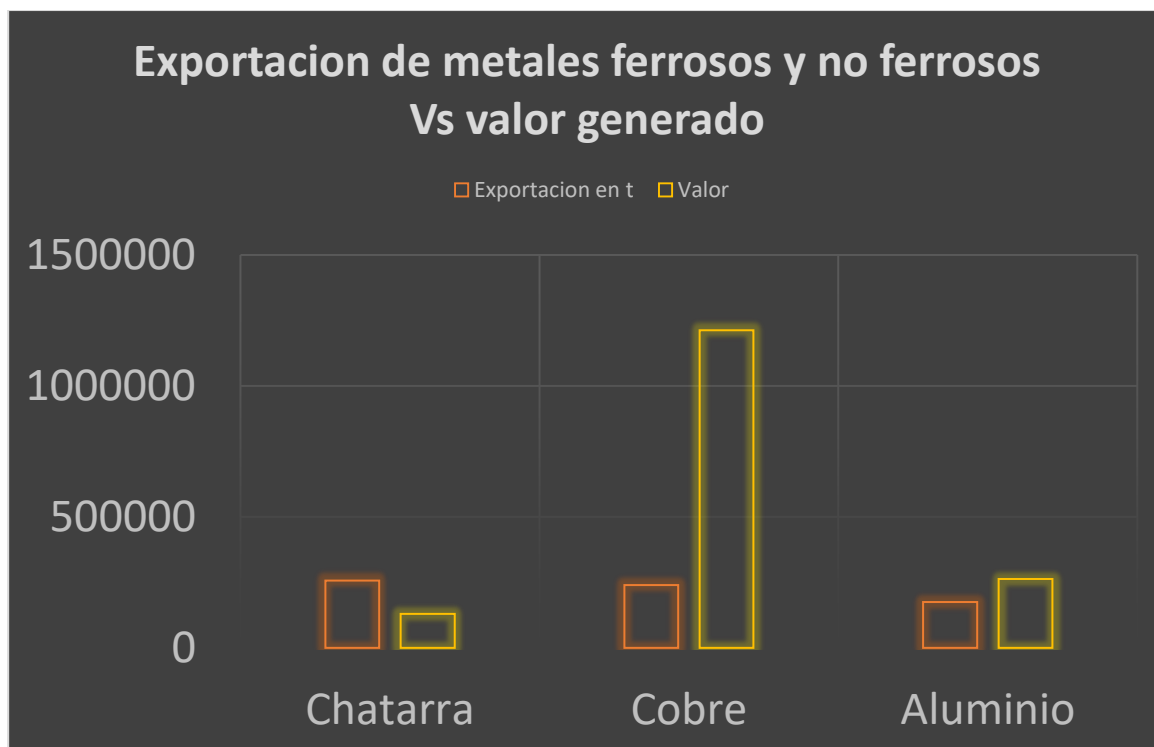


Gráfico 10. Exportación de metales ferrosos y no ferrosos Vs valor generado.

Fuente: creación propia a partir del análisis de las tablas anteriores Tabla 3, 4 y 5

## 2.6 Valorización de un transformador

La valorización de transformadores libres de PCB, ha sido contemplada como un negocio en ascenso y una nueva oportunidad de obtención de recursos, de manera que el reconocimiento en el mercado de sus partes constitutivas se han percibido como elementos que tienen un valor comercial de interés. Para determinar el valor de los componentes constitutivos de un transformador de forma general, se construyó la siguiente tabla de valorización.

## Identificación de potencialidades para el aprovechamiento y valorización de transformadores eléctricos desechados en Bogotá D.C.

50

Tabla 6

*Valorización de los componentes de un transformador*

<b><i>Promedio valorización de componentes de un transformador por cada kg que lo compone</i></b>						
<i>Material/Año</i>	<u>2017</u>	<u>2016</u>	<u>2015</u>	<u>2014</u>	<u>2013</u>	<u>Precio /kg</u>
<i>Cobre</i>	\$ 16,526	\$ 13,424	\$ 13,715	\$12,400	\$ 12,335	\$ 13,680
<i>Hierro</i>	\$ 500	\$ 400	\$ 400	\$ 400	\$ 350	\$ 410
<i>Aluminio</i>	\$ 1,845	\$ 1,866	\$ 1,662	\$ 1,604	\$ 1,968	\$ 1,789
<i>Aceite dieléctrico</i>	\$ 900	\$ 1,000	\$ 1,100	\$ 1,200	\$ 1,300	\$ 1,100
<i>Madera</i>	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	-\$ 574
<i>Cerámica</i>	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	-\$ 574
<i>Papel</i>	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	-\$ 574
	<b>Total</b>					<b>\$ 15,257</b>

Nota: Tomado de la Bolsa de los metales de Londres, Index Mundi, Exin y precios Colombia adaptado por el autor

Como podemos visualizar en la tabla 6, el valor por kilogramo de los componentes constitutivos de un transformador desechado es de aproximadamente \$15.257. Estos costos deben considerar la resta de gastos de operación, como: herramientas, traslados, cargues y descargues, personal, disposición final de residuos no aprovechables, entre otros. Es decir, la percepción del beneficio económico correspondería al final del ejercicio aun porcentaje del 45% sobre el valor inicial. Entonces para nuestro ejercicio práctico la remuneración aproximada por cada kilogramos de un transformador aprovechado de acuerdo a la sumatoria y resta de sus materiales es de alrededor de \$6.865/kg.

Es importante tener presente que el aceite dieléctrico utilizado en los transformadores como medio aislante para refrigerar el equipo, puede ser aprovechado si tiene menos de 50 ppm de

## **Identificación de potencialidades para el aprovechamiento y valorización de transformadores eléctricos desechados en Bogotá D.C.**

51

Bifenilos Policlorados (PCB) como combustible de uso industrial, en la elaboración de plastificantes y en procesos que no impliquen ingestión por humanos o animales y que no afecte el medio ambiente.

De acuerdo al artículo de Fong, Quiñonez y Tejada (2017): en otros casos, se recicla la base lubricante eliminando sedimentos, partículas y agua con el objeto de re-procesarlos para generar un nuevo lubricante. Esta reutilización se inicia con un pretratamiento que incluye remoción de contaminantes, insolubles, agua, sedimentos y productos de oxidación, mediante el empleo de diferentes procesos físico-químicos como el calentamiento del mismo, la filtración, deshidratación y centrifugación. La regeneración mediante distintos tratamientos es posible, recuperando el material lubricante base presente en el aceite original, de manera que pueda ser reprocesado para su utilización (p.136)

# Identificación de potencialidades para el aprovechamiento y valorización de transformadores eléctricos desechados en Bogotá D.C.

## 2.6.1 Valorización de transformadores de distribución

A continuación se presenta a detalle, la cuantificación de la valorización económica de un transformador, de acuerdo a sus características.

Tabla 7  
Tabla de valorización de transformadores de distribución tipo poste 15 Kv

Transformadores de distribución Tipo poste 15 Kv	Peso	Valor promedio por kg \$410		Valor promedio por kg \$13680		Valor promedio por kg \$1789		Valor promedio por kg \$1100		Total componente valorizables
		% de Hierro	Valor	% de Cobre	Valor	% de Aluminio	Valor	% de Aceite	Valor	
10	98	18	\$7,232	14	\$131,383	14	\$24,545	29	\$32,340	\$195,500
15	110	20	\$8,118	15	\$147,470	15	\$27,551	33	\$36,300	\$219,439
25	148	27	\$10,922	21	\$198,415	21	\$37,068	44	\$48,840	\$295,245
37,5	210	38	\$15,498	29	\$402,192	29	\$52,597	63	\$69,300	\$539,587
50	245	44	\$18,081	34	\$469,224	34	\$61,363	74	\$80,850	\$629,518
75	385	69	\$28,413	54	\$737,352	54	\$96,427	116	\$127,050	\$989,242
100	418	75	\$30,848	59	\$800,554	59	\$104,692	125	\$137,940	\$1,074,034
167	669	120	\$49,372	94	\$1,281,269	94	\$167,558	201	\$220,770	\$1,718,969
250	825	149	\$60,885	116	\$1,580,040	116	\$206,630	248	\$272,250	\$2,119,805
333	925	167	\$68,265	130	\$1,771,560	130	\$231,676	278	\$305,250	\$2,376,751
500	1293	233	\$95,423	181	\$2,476,354	181	\$323,845	388	\$426,690	\$3,322,312

Fuente: Creación propia a partir del manual de Rymel

De acuerdo a la tabla 7, vemos que la valorización promedio para un transformador tipo poste de 10 kVA, que pesa 98 kilogramos, teniendo en cuenta que su porcentaje de aprovechamiento de materiales constitutivos es del 76%, es decir de 74 kg, es de \$195.500 bruto, pero a este valor se le debe descontar los costos administrativos, de gestión, operación, desensamble, clasificación, transporte y almacenamiento para aprovechamiento quedando finalmente un margen aproximado del negocio del 45%, es decir del valor total de la

## Identificación de potencialidades para el aprovechamiento y valorización de transformadores eléctricos desechados en Bogotá D.C.

valorización bruta, quedaría un valor neto de valorización de \$87.975, lo cual se replicaría para las demás caracterizaciones de equipos de esta tabla.

Tabla 8

*Tabla de valorización de transformadores de distribución tipo pedestal 35 Kv*

<i>Transformadores de distribución</i>		<i>Valor promedio por kg \$410</i>		<i>Valor promedio por kg \$13680</i>		<i>Valor promedio por kg \$1789</i>		<i>Valor promedio por kg \$1100</i>		<i>Total componente valorizables</i>
<b>Tipo pedestal 34,5 Kv</b>	<i>Peso</i>									
<b>kVA</b>	<b>% de Hierro</b>	<b>Valor</b>	<b>% de Cobre</b>	<b>Valor</b>	<b>% de Aluminio</b>	<b>Valor</b>	<b>% de Aceite</b>	<b>Valor</b>		
30	1100	198	\$81,180	154	\$2,106,720	154	\$275,506	319	\$350,900	\$2,814,306
45	1210	218	\$89,298	169	\$2,317,392	169	\$303,057	351	\$385,990	\$3,095,737
75	1300	234	\$95,940	182	\$2,489,760	182	\$325,598	377	\$414,700	\$3,325,998
112,5	1390	250	\$102,582	195	\$2,662,128	195	\$348,139	403	\$443,410	\$3,556,259
150	1480	266	\$109,224	207	\$2,834,496	207	\$370,681	429	\$472,120	\$3,786,521
225	1770	319	\$130,626	248	\$3,389,904	248	\$443,314	513	\$564,630	\$4,528,474
300	1840	331	\$135,792	258	\$3,523,968	258	\$460,846	534	\$586,960	\$4,707,566
400	2050	369	\$151,290	287	\$3,926,160	287	\$513,443	595	\$653,950	\$5,244,843
500	2285	411	\$168,633	320	\$4,376,232	320	\$572,301	663	\$728,915	\$5,846,081
630	2750	495	\$202,950	385	\$5,266,800	385	\$688,765	798	\$877,250	\$7,035,765
750	3025	545	\$223,245	424	\$5,793,480	424	\$757,642	877	\$964,975	\$7,739,342
1000	3800	684	\$280,440	532	\$7,277,760	532	\$951,748	1102	\$1,212,200	\$9,722,148



Fuente: Creación propia a partir del manual de Rymel



## Identificación de potencialidades para el aprovechamiento y valorización de transformadores eléctricos desechados en Bogotá D.C.

De acuerdo a la tabla 8, deducimos que la valorización promedio para un transformador tipo pedestal de 30 kVA, que pesa 1100 kilogramos, teniendo en cuenta que su porcentaje de aprovechamiento de materiales constitutivos es del 76%, es decir de 74 kg, es de \$2.814.306 bruto, pero a este valor se le debe descontar los costos administrativos, de gestión, operación, desensamble, clasificación, transporte y almacenamiento para aprovechamiento quedando finalmente un margen aproximado del negocio del 45%, es decir del valor total de la valorización bruta, quedaría un valor neto de valorización de \$1.266.438, lo cual se replicaría para las demás caracterizaciones de equipos de esta tabla.

Tabla 9  
*Tabla de valorización de transformadores de distribución radial 15 – 25 Kv*

Transformadores de distribución	Peso	Valor promedio por kg \$410		Valor promedio por kg \$13680		Valor promedio por kg \$1789		Valor promedio por kg \$1100		Total componente valorizables
		% de Hierro	Valor	% de Cobre	Valor	% de Aluminio	Valor	% de Aceite	Valor	
<b>Radial de 15 -25 Kv</b>										
<b>kVA</b>										
<b>45</b>	950	171	\$70,110	133	\$1,819,440	133	\$237,937	276	\$303,050	\$2,430,537
<b>75</b>	994	179	\$73,357	139	\$1,903,709	139	\$248,957	288	\$317,086	\$2,543,109
<b>112,5</b>	1056	190	\$77,933	148	\$2,022,451	148	\$264,486	306	\$336,864	\$2,701,734
<b>150</b>	1160	209	\$85,608	162	\$2,221,632	162	\$290,534	336	\$370,040	\$2,967,814
<b>225</b>	1480	266	\$109,224	207	\$2,834,496	207	\$370,681	429	\$472,120	\$3,786,521
<b>300</b>	1650	297	\$121,770	231	\$3,160,080	231	\$413,259	479	\$526,350	\$4,221,459
<b>400</b>	1900	342	\$140,220	266	\$3,638,880	266	\$475,874	551	\$606,100	\$4,861,074
<b>500</b>	2000	360	\$147,600	280	\$3,830,400	280	\$500,920	580	\$638,000	\$5,116,920
<b>630</b>	2195	395	\$161,991	307	\$4,203,864	307	\$549,760	637	\$700,205	\$5,615,820
<b>750</b>	2800	504	\$ 206,640	392	\$ 5,362,560	392	\$701,288	812	\$893,200	\$7,163,688
<b>1000</b>	3100	558	\$ 228,780	434	\$ 5,937,120	434	\$776,426	899	\$988,900	\$7,931,226

Fuente: Creación propia a partir del manual de Rymel

## Identificación de potencialidades para el aprovechamiento y valorización de transformadores eléctricos desechados en Bogotá D.C.

La tabla 9, reporta que la valorización promedio para un transformador tipo radial de 45 kVA, que pesa 950 kilogramos, teniendo en cuenta que su porcentaje de aprovechamiento de materiales constitutivos es del 76%, es decir de 74 kg, es de \$2.430.537 bruto, pero a este valor se le debe descontar los costos administrativos, de gestión, operación, desensamble, clasificación, transporte y almacenamiento para aprovechamiento quedando finalmente un margen aproximado del negocio del 45%, es decir del valor total de la valorización bruta, quedaría un valor neto de valorización de \$1.093.742, lo cual se replicaría para las demás caracterizaciones de equipos de esta tabla.

Tabla 10  
*Tabla de valorización de transformadores de distribución Malla 12-25 Kv*

<i>Transformadores de distribución</i>	<i>Peso</i>	<i>Valor promedio por kg \$410</i>		<i>Valor promedio por kg \$13680</i>		<i>Valor promedio por kg \$1789</i>		<i>Valor promedio por kg \$1100</i>		<i>Total componente valorizables</i>
		<i>% de Hierro</i>	<i>Valor</i>	<i>% de Cobre</i>	<i>Valor</i>	<i>% de Aluminio</i>	<i>Valor</i>	<i>% de Aceite</i>	<i>Valor</i>	
<i>Malla de 15 -25 Kv</i>										
<i>kVA</i>										
45	1188	214	\$87,674	166	\$2,275,258	166	\$297,546	345	\$378,972	\$3,039,450
75	1243	224	\$91,733	174	\$2,380,594	174	\$311,322	360	\$396,517	\$3,180,166
112,5	1320	238	\$97,416	185	\$2,528,064	185	\$330,607	383	\$421,080	\$3,377,167
150	1450	261	\$107,010	203	\$2,777,040	203	\$363,167	421	\$462,550	\$3,709,767
225	1850	333	\$136,530	259	\$3,543,120	259	\$463,351	537	\$590,150	\$4,733,151
300	2063	371	\$152,249	289	\$3,951,058	289	\$516,699	598	\$658,097	\$5,278,103
400	2375	428	\$175,275	333	\$4,548,600	333	\$594,843	689	\$757,625	\$6,076,343
500	2500	450	\$184,500	350	\$4,788,000	350	\$626,150	725	\$797,500	\$6,396,150
630	2744	494	\$202,507	384	\$5,255,309	384	\$687,262	796	\$875,336	\$7,020,414
750	3500	630	\$258,300	490	\$6,703,200	490	\$876,610	1015	\$1,116,500	\$8,954,610
1000	3875	698	\$285,975	543	\$7,421,400	543	\$970,533	1124	\$2,236,125	\$9,914,033

Fuente: Creación propia a partir del manual de Rymel

## **Identificación de potencialidades para el aprovechamiento y valorización de transformadores eléctricos desechados en Bogotá D.C.**

56

La tabla 10, reporta que la valorización promedio para un transformador tipo malla de 45 kVA, que pesa 1188 kilogramos, teniendo en cuenta que su porcentaje de aprovechamiento de materiales constitutivos es del 76%, es decir de 74 kg, es de \$3.039.450 bruto, pero a este valor se le debe descontar los costos administrativos, de gestión, operación, desensamble, clasificación, transporte y almacenamiento para aprovechamiento quedando finalmente un margen aproximado del negocio del 45%, es decir del valor total de la valorización bruta, quedaría un valor neto de valorización de \$1.367.752, lo cual se replicaría para las demás caracterizaciones de equipos de esta tabla.

## Capítulo 3

### 3.1 Economía circular. Reincorporando materiales de segunda mano

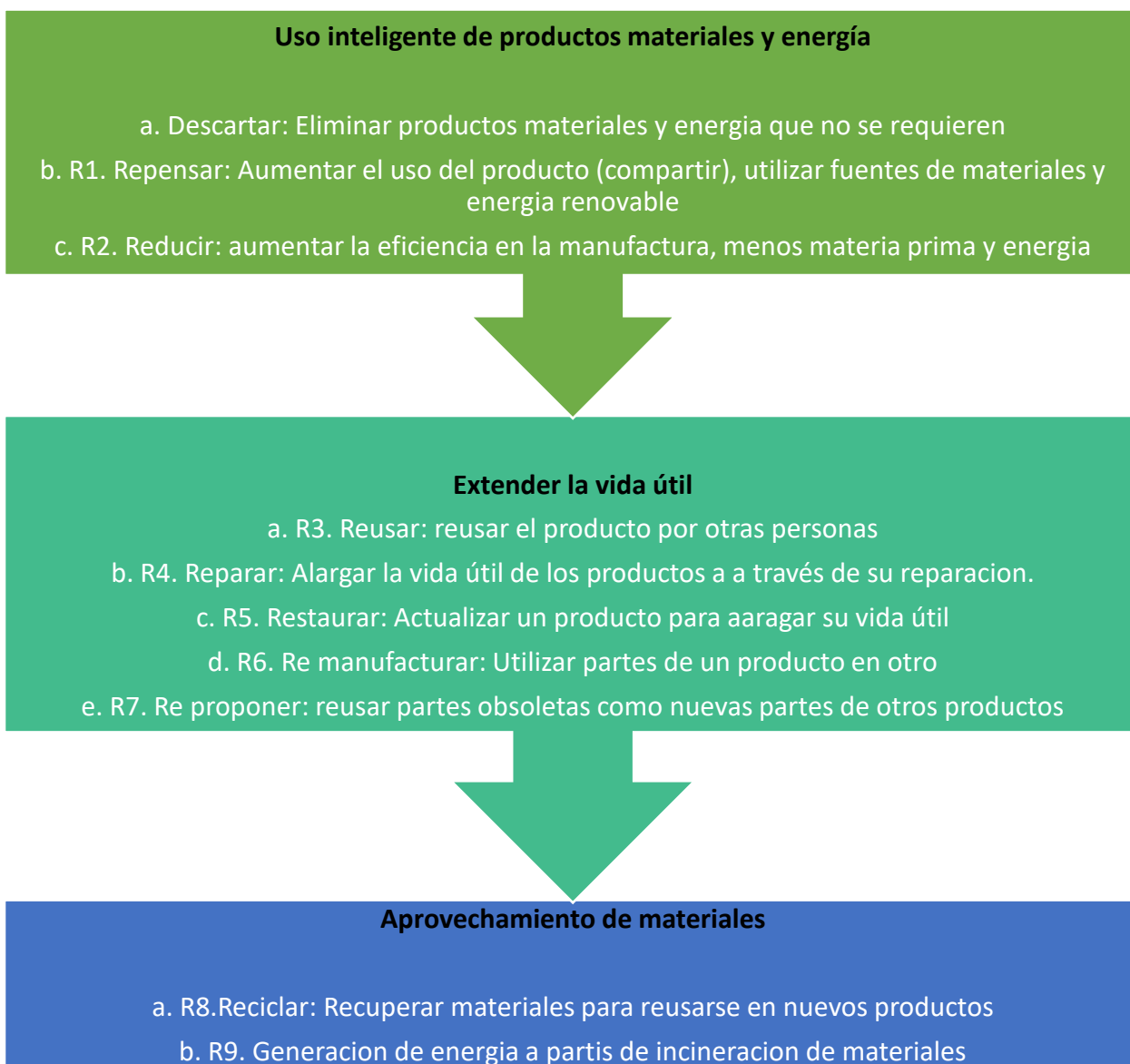
Colombia es el primer país latinoamericano que acoge una estrategia nacional de economía circular, esta estrategia es impulsada por el Ministerio de Comercio Industria y Turismo y el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. El DEAM y la Superintendencia de Servicios Públicos serán los entes responsables de reportar los avances e indicadores de seguimiento a los avances de la Estrategia Nacional de Economía Circular.

A continuación se esquematiza las iniciativas normativas de Colombia relacionadas con la economía circular:



Gráfico 11. Gráfico sobre las iniciativas normativas de Colombia relacionadas con la economía circular: MADS.

La economía circular básicamente se enfoca en las 9 R, a continuación se detalla y explica su conformación y despliegue



*Grafico 12.* Las 9R en la Economía Circular. Nota: Elaboración propia, adaptado de la Estrategia Nacional de Economía Circular

Uno de los objetivos establecidos dentro del marco de la economía circular es preservar, mejorar y reducir el consumo de materias primas finitas y minimizar los impactos en sus procesos de transformación, sus bases se fundamentan en el rediseño, reacondicionamiento y reciclaje, que permite re fabricar, reusar y tener insumos para el uso de nuevas materias primas.

## **Identificación de potencialidades para el aprovechamiento y valorización de transformadores eléctricos desechados en Bogotá D.C.**

59

Este flujo positivo de materiales con un pensamiento económico más sostenible y amigable con el ambiente, reduce la contaminación del suelo, del aire y del agua, el vertido de sustancias tóxicas y la generación de residuos. Elaborar productos con ciclos de vida largos, por la calidad de sus materiales y la reducción de la inserción nuevos insumos para su reparación, logrando un óptimo funcionamiento por el mayor tiempo posible, es la creación de valor dentro de la economía circular.

De acuerdo al informe de la Fundación Ellen MacArthur, (2019). La economía circular trae grandes oportunidades económicas a las empresas dada la reducción en los costos de materias primas por el reúso, el aseguramiento del suministro para la fabricación de los productos, la mayor demanda por menores costos de producción y gastos energéticos, entre otros; las oportunidades que se afianzan en este modelo, corresponden a la generación de empleo, por los servicios de la operación de logística inversa, la creación e innovación de nuevas unidades de negocios que se ven como oportunidades sobre los productos unidireccionales que pueden ser sustituidos, al ser rediseñados.

La economía circular trae oportunidades innovadoras para mejorar el desarrollo sostenible y el bienestar económico, social y ambiental, generando un mayor valor agregado, al concebirse nuevas formas de producción y consumo, brindando la oportunidad de crear nuevos modelos de negocios.

La producción más limpia y el consumo sostenible son uno de los pilares de la economía circular que enfatiza sobre el aumento de la vida útil de los materiales que se usan en la fabricación de nuevos productos y la reincorporación de los mismos, estructurados desde el diseño y uso de materias primas. La cadena de valor, correspondiente a maximizar la creación de productos ofertados en un mercado, se traduce en minimizar los costos de producción, al lograr

## **Identificación de potencialidades para el aprovechamiento y valorización de transformadores eléctricos desechados en Bogotá D.C.**

60

acceder a materiales escasos en la medida que estos pueden ser recuperados o sustituidos, junto con la reducción de costos de contingencia relacionados con interrupciones en el abastecimiento de materias primas, al ser remplazadas por materias de segunda mano, la venta de sub-productos y aprovechamiento de materiales, y ahorros en los gastos para la gestión segura y adecuada de residuos.

Los lineamientos del documento Conpes 3874 de 2016, en lo relacionado con la gestión integral de residuos sólidos (GIRS), el Conpes 3918 de 2018, y la Política Nacional de Producción y Consumo Sostenible, coinciden en que gestionar ambientalmente los residuos, logra mantener materias primas en el ciclo de los materiales que requiere nuevamente la industria y reduce la disposición final de residuos, dando un respiro y compensación a los recursos extraídos, esto retrasa el consumo y brinda beneficios cuantificables importantes al ambiente, la economía y la sociedad.

Actualmente se le ha brindado particular interés es desvincular el crecimiento económico del consumo de los recursos de los que se disponen, de ahí también parte otro concepto de particular interés y aplicación al reciclaje de materias primas usadas y es el concepto de las 9R, que básicamente se fundamenta en Repensar, Reutilizar, Reparar, Restaurar, Re manufacturar, Reducir, Re-proponer, Reciclar y Recuperar residuos. Este es otro esfuerzo aunado a la reintroducidos de materiales de segunda mano que aún tienen una vida útil para ser usados en procesos productivo de nuevo, permitiendo controlara hacia la baja el consumo de recursos.

# **Identificación de potencialidades para el aprovechamiento y valorización de transformadores eléctricos desechados en Bogotá D.C.**

61

## **3.1.1 Aprovechamiento de residuos**

Dentro de la normatividad ambiental se contempla el aprovechamiento de residuos, en el caso de los transformadores, básicamente se realiza un procedimiento de recolección, desensamble, clasificación por corrientes de materiales, (hierro, cobre, Aluminio, Material ferroso, aceite dieléctrico, para almacenar y comercializar. Los excedentes no valorizables como los materiales porosos: papel, madera, cerámica, entre otros se disponen conforme a la normatividad ambiental vigente.

Actualmente las bodegas de reciclaje de las personas que realizan el almacenamiento de los materiales ferrosos y no ferrosos son bodegas con poca infraestructura, escasa normas de seguridad industrial y garantías ocupacionales, que no cuenta con un concepto favorable por parte de la Secretaria de Salud, o la autoridad ambiental. Las operaciones de reciclaje no son las ideales, dados los procesos rudimentarios por ejemplo de fundición. El personal responsable a cargo tiene poca formación, su conocimiento y desempeño es autodidacta.

Al reciclar materiales ferrosos y no ferrosos se contribuye a la mejora de la salud y el ambiente, esto dado que al hacer un retorno de materiales que reducen el consumo de recursos, como el agua y la energía, en un 40% y 74%, y se minimiza la generación de residuos, pues al reincorporar materias primas de segunda mano, el 97% de residuos que van a disposición final se elimina, la contaminación atmosférica por material particulado, se ve reducida de forma relevante, correspondiendo este a un 86%, la contaminación del agua se reduce en un 76% y la extracción de materiales vírgenes para la construcción de nuevos productos se minimiza hasta en un 90%.



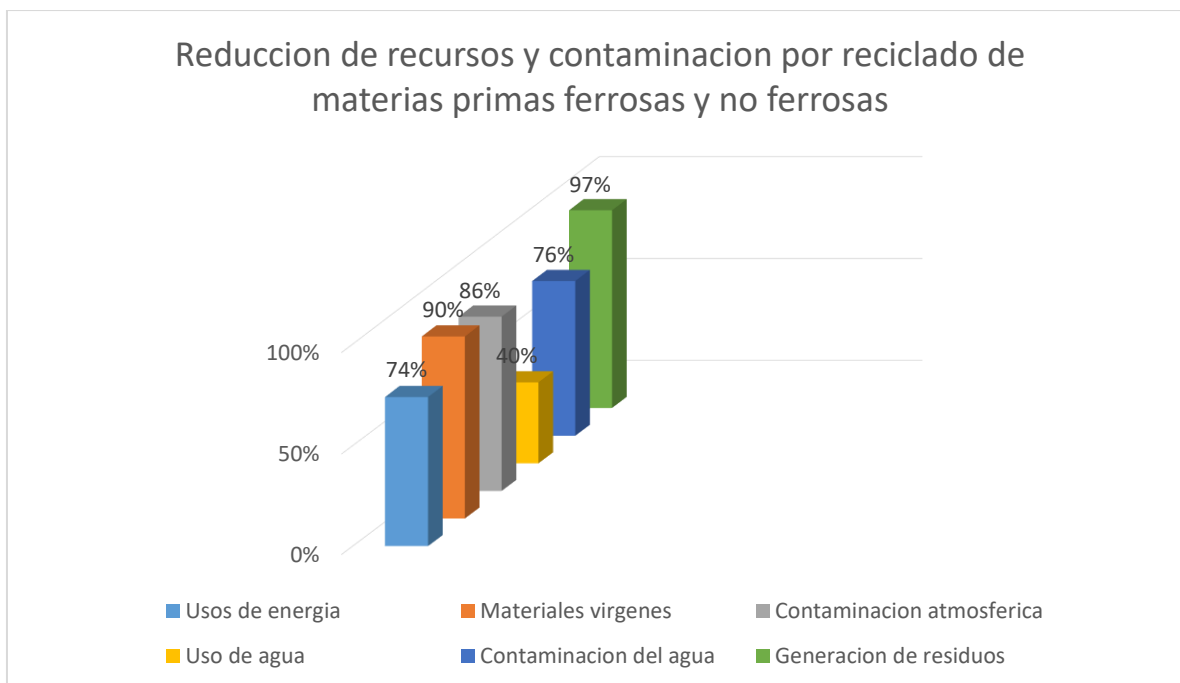


Grafico 13. Reducción de recursos y contaminación al reciclar materias primas

### 3.1.2 Identificación de beneficios Ambientales tras el aprovechamiento de transformadores

El aprovechamiento de transformadores eléctricos en el componente ambiental permite seleccionar corrientes de materiales residuales que al ser recuperadas evitan un impacto ambiental al no tener que producirse nuevamente materias primas, es decir, según, Tecnalia (2017) “el impacto evitado asociado a la recuperación del acero sería el impacto ambiental generado en la producción de una cantidad igual de acero “virgen” a la del acero recuperado” (p. 58). En Colombia la fabricación del acero solo corresponde al 26% a partir del mineral.

Los impactos ambientales evitados en el recurso aire son importantes desde la óptica de la reducción del calentamiento global, porque se reducen las emisiones de CO<sub>2</sub> y de metales

## **Identificación de potencialidades para el aprovechamiento y valorización de transformadores eléctricos desechados en Bogotá D.C.**

63

pesados, la contaminación del suelo se beneficia puesto que se disponen menos residuos en Rellenos Sanitarios o en botaderos y se vierten menos sustancias tóxicas a fuentes hídricas.

El consumo de energía se anula, el agotamiento de los recursos se ve reducido gracias a la inclusión de materiales desechados que no requieren ser adquiridos, porque ya se tienen de segunda mano. Y continúan manteniendo sus propiedades físicas y químicas.

### **3.2 Beneficios Tributarios para la chatarra**

#### **3.2.1 Impuestos por compra venta de materiales ferrosos y no ferrosos**

Conforme a la revisión normativa realizada, se puede constatar que la compra venta de chatarra no genera IVA – Impuesto sobre el Valor Agregado, estas partidas arancelarias se enmarcan en las partidas número: 72.04, 74.04 y 76.02, esto siempre y cuando no intervenga como enajenante o adquirente una siderúrgica.

72.04 Desperdicios y desechos (chatarra), de fundición, hierro o acero; lingotes de chatarra de hierro o acero.

74.04 Chapas, planchas, hojas y turas de cobre de espesor superior a 0.15 mm.

76.02 Barras, perfiles y alambres de Aluminio

### **3.3 Situación de Colombia frente a Latinoamérica respecto a la chatarra**

Colombia tiene la industria de reciclaje de materiales no ferrosos formalizada más desarrollada, Colombia exporta la mayor cantidad de Aluminio y Cobre y la evolución del mercado Colombiano respecto al Latinoamericano, en relación al acero estructural es positiva, sin embargo según Restrepo y Taborda (2017), los cambios en la economía mundial y la competencia desleal, entre otros factores, limitan la proyección del mercado del acero, restringiendo el desarrollo del sector en Latinoamérica.

En Latinoamérica el máximo productor de acero es Brasil con una producción de acero a 1 año 2012 de 35.2 millones de toneladas, seguido por México con 18.2, Argentina con 5.6, Venezuela con 3, Chile con 1.6, y Colombia en un sexto lugar, con un 1.4 de toneladas respectivamente. A nivel internacional ocupa la posición número 47 como país productor de acero.

# **Identificación de potencialidades para el aprovechamiento y valorización de transformadores eléctricos desechados en Bogotá D.C.**

65

En Latinoamérica la oferta y demanda de acero es marginal con relación al mercado, contrario a lo que ha venido sucediendo en Colombia, donde se ha duplicado el consumo.

Esto demuestra que el sector siderúrgico nacional tiene una condición favorable de crecimiento.

## **3.4 Discusión**

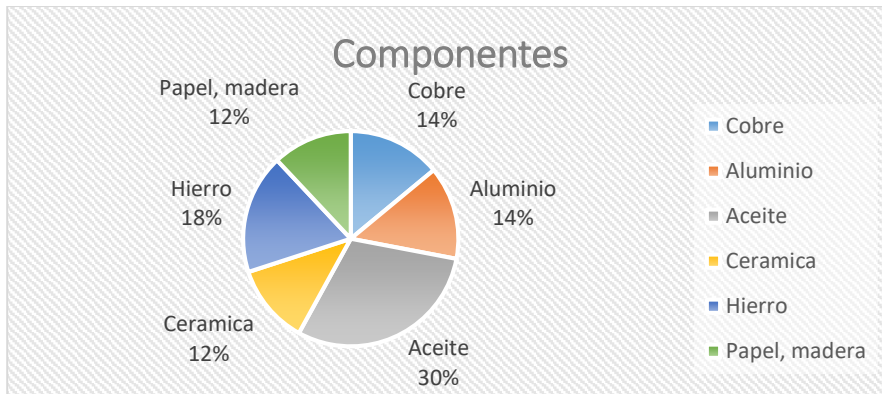
¿Es realmente importante reciclar materiales ferrosos y no ferrosos que son parte constitutivas de transformadores eléctricos?, ¿vale la pena realmente sacar provecho de la normatividad ambiental vigente y de los compromisos que tiene Colombia ante las Naciones Unidas y la comunidad internacional para mejorar la calidad del ambiente, la salud, el trabajo, y el ingreso en nuestro país?

Dada la fuerza y compromisos que la autoridad ambiental y los sectores productivos, han trazado como metas, se hace necesario revisar qué ventajas secundarias podemos obtener como una oportunidad para generar impactos positivos en la economía circular, la simple recuperación de materias primas que se encuentran en transformadores desechados, permiten generar empleo, ingresos y reincorporar recursos en nuevos procesos productivos, este impacto positivo a todo nivel, económico, ambiental y social, genera una visión más profunda de las gestiones alcanzables que se pueden llevar a cabo con nuevas alternativas que en este documento se han evidenciado de forma cuantitativa especialmente.

Vale la pena entonces, afianzar la recuperación de transformadores desechados, y obtener todos los beneficios que de esta actividad se han evaluado se pueden obtener de forma fácil y sencilla.

## Identificación de potencialidades para el aprovechamiento y valorización de transformadores eléctricos desechados en Bogotá D.C.

66



*Grafico 14.* Grafica de componentes de un transformador

Fuente: autor

Del gráfico 11, podemos visualizar de forma cuantificada que la mayoría de los componentes de un transformador se puede valorizar, y esta valorización cualitativamente se tiene establecida en alrededor de un 76% de sus partes constitutivas.

## Conclusiones

La legislación ambiental que el país ha venido implementado, de acuerdo a sus compromisos con las autoridades ambientales internacionales y otras entidades, no solo le brinda a Colombia beneficios en la reducción de equipos y desechos contaminantes con PCB que destruyen nuestros recursos: agua, suelo, aire y nuestra salud. También aportan de segunda mano materiales que contribuyen a la economía del país, generando empleo, reincorporando materias primas usadas en nuevos productos, reduciendo los costos de producción y el consumo energético, permitiendo el crecimiento del sector siderúrgico que ocupa el tercer puesto en el país dentro del PIB.

Como impacto altamente benéfico, la reincorporación de materiales ferrosos y no ferrosos dentro de una economía circular permite de primera mano, la generación de conciencia y sensibilización ambiental, la minimización del consumo de recursos, la reducción de la contaminación por disposición de residuos, vertimientos a fuentes hídricas, emisiones atmosféricas, y explotación del suelo.

Los materiales que circulan como desechos, favorecen a la economía y al crecimiento de sectores productivos como el metalmecánico, metalúrgico, construcción, automotriz, entre otros. Hay una demanda de chatarra que aún no está cubierta.

En general reciclar metales ferrosos y no ferrosos es un negocio viable de rápido retorno del capital invertido, de fácil adquisición y comercialización. Con escasos requisitos ambientales y legales por cumplir. Estos materiales al ser reciclados reducen considerablemente gastos de

## **Identificación de potencialidades para el aprovechamiento y valorización de transformadores eléctricos desechados en Bogotá D.C.**

68

transformación de reducción del mineral extraído a metal, dado que en la etapa de fabricación se considera consumos de energía, transportes, generación de dióxido de carbono, disminución de residuos como escoria y polvo, preservación de los recursos, como suelo, agua y aire. El reciclaje de materiales ferrosos y no ferrosos es una oportunidad de desarrollo económico y sostenible.

A la fecha no se tiene no hay investigaciones respecto a la valorización y aprovechamiento de transformadores desechados no PCB. Es por esta razón que resulta relevante analizar inicialmente de forma cuantitativa esta oportunidad de negocio y sentar las bases para que pauten el camino a estudios más profundos que pueden ser de interés a varios actores inmersos en el.

La simbiosis industrial es un punto clave para que la inclusión de los transformadores, cierren un ciclo de vida óptimo dados sus elementos constitutivos, reusándose múltiples veces.

**Referencias**

- Avance Jurídico. (2017). *Estatuto tributario*. Recuperado de [http://www.secretariasenado.gov.co/senado/basedoc/estatuto\\_tributario.html](http://www.secretariasenado.gov.co/senado/basedoc/estatuto_tributario.html)
- Avelino, P. (2001). *Transformadores de distribución: teoría, cálculo, construcción y pruebas*. Recuperado de [bit.ly/ 2JLz7xz](http://bit.ly/2JLz7xz)
- Bolsa de los Metales de Londres. LME. <https://es.statista.com/estadisticas/598920/precio-del-cobre-de-alta-ley-según-el-le/>
- Cárdenas, M., Mira, M & Hamner, T. (Junio de 2018). Instrumentos Económicos de Desarrollo Sostenible. En M. Mira (Presidencia), *Agenda académica FIMA*. Conferencia llevada a cabo en el marco de la VI Feria Internacional del Medio Ambiente - FIMA, Bogotá, Colombia.
- Castaño, M. (2014). *Metodología de gestión ambiental para aceite dieléctrico de transformador: “Análisis del Ciclo de Vida (ACV)”*. (Tesis de maestría). Recuperado de <http://bdigital.unal.edu.co/12032/>
- Cempre. (2018). Estrategia nacional de economía circular. Recuperado de <https://cempre.org.co/cempre/wp-content/uploads/2018/11/ECONOMI%CC%81A-CIRCULAR-1.pdf>
- Cepal. (2019). Convenio de Estocolmo sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes. Recuperado de <https://observatoriop10.cepal.org/es/tratados/convenio-estocolmo-contaminantes-organicos-persistentes>
- Codensa. (2016). *Informe de Sostenibilidad*. Bogotá, D.C.: Grupo Enel. Recuperado de <http://corporativo.codensa.com.co/ES/PRENSA/CENTRODOCUMENTAL/PublicacionesInformes/informe-sostenibilidad-2016.pdf>.



# Identificación de potencialidades para el aprovechamiento y valorización de transformadores eléctricos desechados en Bogotá D.C.

70

Codensa. (2015). *Nuestra Historia*. Bogotá, D.C.: Grupo Enel. Recuperado de

<http://corporativo.codensa.com.co/es/conocenos/Paginas/nuestra-historia.aspx>.

Comisión de Regulación de Energía y Gas – CREG. (2008). Cartilla de Distribución de Energía Eléctrica. Recuperado de

[https://www.ariae.org/sites/default/files/2017-05/distribucion\\_energ\\_electrica.pdf](https://www.ariae.org/sites/default/files/2017-05/distribucion_energ_electrica.pdf)

Corzo, A. (2013). Análisis del sector de energía eléctrica colombiano y regional negociación de energía eléctrica Cemex Colombia S.A. Recuperado de

<http://repository.urosario.edu.co/bitstream/handle/10336/4526/1022351767-2013.pdf?sequence=4>

Decreto 3172 de 2003. Diario Oficial de la República de Colombia, Bogotá D.C., Colombia, 07 de noviembre de 2003.

Decreto 4741 de 2005. Diario Oficial de la República de Colombia, Bogotá D.C, Colombia, 30 de diciembre de 2005.

Decreto 2532 de 2001. Diario Oficial 44632 de la República de Colombia, Bogotá D.C., Colombia, 01 de diciembre de 2002.

Decreto 1564 de 2017. Bogotá D.C., Colombia, 25 de septiembre de 2017.

Dirección General de Análisis Macroeconómico y Economía Internacional. (2013). Indicadores económicos: Precio de Aluminio. Recuperado de <https://tematicas.org/indicadores-economicos/economia-internacional/precios/precio-aluminio/2013/>

Legis. (2018). *Estatuto Tributario*. Bogotá, Colombia: Legis Información profesional

Flórez, L. (2014). *Evaluación de la viabilidad técnica y económica de la utilización del aceite dieléctrico vegetal como sustituyente del aceite dieléctrico mineral en transformadores de distribución nuevos y usados en las empresas municipales de Cali (tesis de*

# Identificación de potencialidades para el aprovechamiento y valorización de transformadores eléctricos desechados en Bogotá D.C.

71

*pregrado*). Recuperado de

<http://red.uao.edu.co:8080/jspui/bitstream/10614/5819/1/T03826.pdf>

Fong, W., Quiñonez, E., y Tejada, C. (2017). Caracterización físico-química de aceites usados de motores para su reciclaje (revista). *Prospectiva* 15(2), 135-144. doi: <http://dx.doi.org/10.15665/rp.v15i2.782>

Fundes. (2010). *El sector del reciclaje en Bogotá y su región*. Recuperado de

[http://asociacionrecicladoresbogota.org/wp-content/uploads/2012/04/El\\_sector\\_reciclaje\\_en\\_Bogota\\_y.pdf](http://asociacionrecicladoresbogota.org/wp-content/uploads/2012/04/El_sector_reciclaje_en_Bogota_y.pdf)

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM. (2013). *Informe del estado de avance en la identificación de las existencias de equipos y desechos PCB en el país*. Recuperado de

[http://www.ideam.gov.co/documents/51310/602724/Inf+Nal+Invent+PCB\\_2013\\_Mar\\_22\\_2016+Ver.5.0.pdf/39c8a3e8-5aa6-42f0-abaa-59cee0728180](http://www.ideam.gov.co/documents/51310/602724/Inf+Nal+Invent+PCB_2013_Mar_22_2016+Ver.5.0.pdf/39c8a3e8-5aa6-42f0-abaa-59cee0728180)

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM. (2016). *Informe nacional de avance en las metas de identificación, marcado, retiro de uso y eliminación de PCB en Colombia, años 2014-2015*. Recuperado de

<http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023640/InformePCB.pdf>

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM. (2017). *Informe nacional para el seguimiento a las existencias y gestión de equipos de equipos con PCB en Colombia*. Recuperado de

[http://www.ideam.gov.co/documents/51310/602724/PCB+2016\\_version+digital2.pdf/5b334a52-c4a9-4428-a8e9-c94c66221df7?version=1.0](http://www.ideam.gov.co/documents/51310/602724/PCB+2016_version+digital2.pdf/5b334a52-c4a9-4428-a8e9-c94c66221df7?version=1.0)

# Identificación de potencialidades para el aprovechamiento y valorización de transformadores eléctricos desechados en Bogotá D.C.

72

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM. (2018). *Informe nacional para el seguimiento a las existencias y gestión de equipos con PCB en Colombia 2017*. Recuperado de [http://www.andi.com.co/Uploads/Informe\\_PCB\\_2017\\_636840144971341822.pdf](http://www.andi.com.co/Uploads/Informe_PCB_2017_636840144971341822.pdf)

La Republica. (11 de marzo de 2019). Así queda el mapa de la distribución de energía tras el negocio que cerró Celsia. Recuperado de <https://www.larepublica.co/economia/asi-queda-el-mapa-de-la-distribucion-de-energia-tras-el-negocio-que-cerro-celsia-2837274>

Ley 1196 de 2008. Diario Oficial de la República de Colombia, 05 de junio de 2008.

McArthur, Ellen. (2013). Hacia una economía circular: motivos económicos para una transición acelerada · 3. Recuperado de [https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/publications/Executive\\_summary\\_SP.pdf](https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/publications/Executive_summary_SP.pdf)

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2017). *Plan Nacional de Implementación del Convenio de Estocolmo sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes*. Recuperado de <http://chm.pops.int/Portals/0/download.aspx?d=UNEP-POPS-NIP-Colombia-COP4.Spanish.pdf>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2017). “*Revisión y actualización del Plan Nacional de Implementación de la Convención de Estocolmo sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes – COP*”. Recuperado de <http://contenido.responsabilidadintegral.org/contenido/lib/file/doc/proyecto.pdf>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2019). *Plan Nacional de Aplicación del convenio de Estocolmo PNA*. Recuperado de

## Identificación de potencialidades para el aprovechamiento y valorización de transformadores eléctricos desechados en Bogotá D.C.

73

<http://www.minambiente.gov.co/index.php/component/content/article?id=252:plantilla-asuntos-ambientales-y-sectorial-y-urbana-sin-galeria-18>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2017). *Colombia va por buen camino en la eliminación de los Contaminantes Orgánicos Persistentes*. Recuperado de

<http://www.minambiente.gov.co/index.php/noticias-minambiente/3289-colombia-va-por-buen-camino-en-la-eliminacion-de-los-cop>

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2010). *Plan de acción para Bifenilos Policlorados, PCB*. Recuperado de

[http://quimicos.minambiente.gov.co/images/PCB/plan\\_nacional\\_pcb.pdf](http://quimicos.minambiente.gov.co/images/PCB/plan_nacional_pcb.pdf)

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial – MAVDT. (2007). *Inventario preliminar de Compuestos Bifenilos Policlorados (PCB) existentes en Colombia*.

Recuperado de

<http://biblovirtual.minambiente.gov.co:3000/DOCS/MEMORIA/MAVDT-0182/MAVDT-0182.pdf>

Neira, C. (Febrero de 2017). Aplicabilidad de los Incentivos Tributarios por inversión ambiental en la Gestión y Eliminación Ambientalmente Adecuada de PCB. En A. Rodríguez (Presidencia), Beneficios Tributarios. Conferencia llevada a cabo en el marco de propietarios de equipos, gestores de residuos y empresas involucradas en la temática de PCB, Bogotá, Colombia.

Ortega, V. (05 de noviembre de 2017). La Costa Caribe, mayor productora de chatarra del país. El Heraldo. Recuperado de <https://www.elheraldo.co/barranquilla/la-costa-caribe-mayor-productora-de-chatarra-del-pais-419610>

## **Identificación de potencialidades para el aprovechamiento y valorización de transformadores eléctricos desechados en Bogotá D.C.**

74

Partidas arancelarias:

<http://imagenesbibliotecacentral.minhap.gob.es/pdfpublicaciones/ImagenIndice/12/12090.pdf>

Portafolio. (7 de Noviembre de 2013). Exportaciones de chatarra crecieron 9,9 %. Recuperado de <http://www.portafolio.co/negocios/empresas/exportaciones-chatarra-crecieron-67984>

Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). (2009). Convenio de Estocolmo sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes (COP). Recuperado de [https://www.wipo.int/edocs/lexdocs/treaties/es/unep-pop/trt\\_unep\\_pop\\_2.pdf](https://www.wipo.int/edocs/lexdocs/treaties/es/unep-pop/trt_unep_pop_2.pdf)

Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. (2010). Eliminando los COP del mundo: guía del convenio de Estocolmo sobre contaminantes orgánicos persistentes Recuperado de <http://chm.pops.int/Portals/0/download.aspx?d=UNEP-POPS-PAWA-GUID-RIDDING.Sp.pdf>

Prust, J. (2005). Impuestos ambientales en los países en desarrollo. Recuperado de <http://200.9.3.98/handle/11362/2434>

Restrepo, C. y Taborda, J. (2017). El mercado colombiano del acero estructural en el contexto de la globalización (revista). *Ciencias Estratégicas* 25(38), 339 – 359. Doi: rces.v25n38.a5

Resolución 222 de 2011. Diario Oficial de la República de Colombia, Bogotá D.C., Colombia, 15 de diciembre de 2011.

Resolución 1741 de 2016. Diario Oficial de la República de Colombia, Bogotá D.C., Colombia, 24 de octubre de 2016.

Resolución 2000 de 2017. Diario Oficial de la República de Colombia, 29 de septiembre de 2017.

# Identificación de potencialidades para el aprovechamiento y valorización de transformadores eléctricos desechados en Bogotá D.C.

75

Resolución 978 de 2007. Diario Oficial de la República de Colombia, Bogotá D.C., Colombia, 04 de junio de 2007.

Resolución 136 de 2004. Diario Oficial de la República de Colombia, Bogotá D.C., Colombia, 06 de febrero de 2004

Rymel (s.f). Catálogo de Transformadores. Recuperado de

<http://www.rymel.com.co/CatalogoProductos.pdf>

Tecnalia. (2017). Estudio en la intensidad de utilización de materiales y economía circular en Colombia para la Misión de Crecimiento Verde. Recuperado de

<http://redvalorcompartido.com/investigaciones/diagnosticotecnalia.pdf#page=55&zoom=100,0,461>

TinyURL, LLC. (2002-2017). TinyURL (Versión 2017) [Aplicativo]. Descargado de:

<https://tinyurl.com/>

Trade Map. <https://www.trademap.org/Index.aspx?lang=es>

Steel on the net. (2019). Scrap metal prices - ferrous scrap - pricing history: Price of steel scrap: 2001-2019. Recuperado de <https://www.steelonthenet.com/ferrous-scrap-prices.html>

TREDI. (s.f). ¿Qué son los PCB? Recuperado de <http://tredi-tratamiento-pcb.com/que-son-los-pcb/>

Vega, C. (27 de octubre de 2018). La guerra de chatarra que Colombia estaría perdiendo. El espectador. Recuperado de <https://www.elespectador.com/economia/la-guerra-de-chatarra-que-colombia-estaria-perdiendo-articulo-820458>