



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN, INNOVACIÓN Y
TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA
CENTRO DE POSGRADOS**

MAESTRÍA EN SISTEMAS DE GESTIÓN AMBIENTAL

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE MAGISTER EN SISTEMAS DE GESTIÓN AMBIENTAL.**

**DESARROLLO DE UNA PROPUESTA DE FACTIBILIDAD ECONÓMICA
PARA TECNOLOGÍAS DE TRATAMIENTO Y/O ELIMINACIÓN DE
ACEITES DIELECTRICOS CONTAMINADOS CON PCB EN EL
ECUADOR.**

AUTOR: GONZÁLEZ DUARTE, CONY POLED

DIRECTOR: ING. BOLAÑOS GUERRÓN, DARÍO ROBERTO, PhD.

SALGOLQUÌ

2019



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN, INNOVACIÓN Y TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA

CENTRO DE POSGRADOS

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, “Desarrollo de una propuesta de factibilidad económica para tecnologías de tratamiento y/o eliminación de aceites dieléctricos contaminados con PCB en el Ecuador” fue realizado por la señora González Duarte, Cony Poled, el mismo que ha sido revisado en su totalidad, analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 10 de enero del 2019

PhD. Darío Roberto Bolaños Guerron

C.C.: 1715206593



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

ii

**VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN, INNOVACIÓN
Y TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA**

CENTRO DE POSGRADOS

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Yo, González Duarte, Cony Poled, con cédula de ciudadanía n° 1719775239, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: Desarrollo de una propuesta de factibilidad económica para tecnologías de tratamiento y/o eliminación de aceites dieléctricos contaminados con PCB en el Ecuador es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Consecuentemente el contenido de la investigación mencionada es veraz.

Sangolquí, 10 de enero del 2019

Cony Poled González Duarte

C.C.: 1719775239



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

iii

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN, INNOVACIÓN Y TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA

CENTRO DE POSGRADOS

AUTORIZACIÓN

Yo, González Duarte, Cony Poled autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: Desarrollo de una propuesta de factibilidad económica para tecnologías de tratamiento y/o eliminación de aceites dieléctricos contaminados con PCB en el Ecuador en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Sangolquí, 10 de enero del 2019

.....
Cony Poled González Duarte

C.C.:1719775239

DEDICATORIA

A Dios, quien me ha brindado la oportunidad de cumplir con mis metas personales y profesionales, y ha permitido rodearme de seres humanos maravillosos.

A mis padres y hermano, quienes con su trabajo, amor y dedicación me han dado su ejemplo de cómo enfrentar las cosas positivas y negativas de la vida.

A mi esposo Jaime Andrés, mi hijo Samuel y mi hija Amelia quienes me inspiran a ser cada día un mejor ser humano.

AGRADECIMIENTO

Al Ministerio del Ambiente a través del Proyecto Gestión Integrada y Ambientalmente Racional de Bifenilos Policlorados PCB en el Ecuador,

Por confiar en mi trabajo y permitirme recopilar y utilizar datos e información del proyecto en los años de gestión del mismo para mi investigación. En especial al Ing. Franklin Góngora por su colaboración y apoyo profesional durante la elaboración de este proyecto personal.

A mi director de tesis,

PhD. Darío Roberto Bolaños Guerrón, por su amistad y su apoyo profesional durante toda la fase de proyección, elaboración y culminación de este trabajo de titulación.

A mis padres, hermano, suegros y esposo Jaime Andrés,

Por brindarme su confianza, animarme a continuar, a ser perseverante en mi trabajo y su tiempo dedicado al cuidado de Samuel y Amelia durante toda la fase de estudio e investigación para la culminación de esta etapa profesional.

A mi Dios,

Por la vida, sus bendiciones y jamás soltarme en los momentos difíciles.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIÓN.....	i
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD	ii
AUTORIZACIÓN	iii
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTO	v
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	vi
ÍNDICE DE TABLAS.....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
RESUMEN	x
ABSTRACT	xi
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Desarrollo del problema	1
1.2 Planteamiento del problema.....	2
1.3 Justificación e importancia.....	3
CAPÍTULO II: OBJETIVOS	4
2.1. Objetivo General.....	4
2.2. Objetivos Específicos	4
2.3. Hipótesis o Interrogante	4

CAPÍTULO III: MARCO TEÓRICO	5
3.1 Opciones tecnológicas de eliminación y/o tratamiento de PCB	5
3.1.1 Autoclave.....	6
3.1.2 Reducción de metales alcalina o Declorinación.	6
3.1.3 Descomposición por catálisis básica.	6
3.1.4 Oxidación de agua supercrítica.	7
3.1.5 Desorción térmica.	7
3.1.6 Incineración de residuos peligrosos.	7
3.1.7 Arco plasmático.....	8
3.2 Gestión de desechos (aceites dieléctricos) con más de 50 ppm de PCB en el Ecuador.....	9
3.2.1 Almacenamiento temporal de desechos peligrosos (aceite dieléctrico con más de 50 ppm de PCB).....	10
3.2.2 Transporte de desechos peligrosos.....	12
3.2.3 Costo de tecnologías de tratamiento o eliminación de PCB.....	12
3.3 Tecnologías seleccionadas	13
3.3.1 Declorinación.....	14
3.3.2 Incineración de residuos peligrosos.....	19
3.4 Almacenamiento de desechos peligrosos hasta su disposición final	22
 CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA	 24
4.1. Participantes	24
4.2. Área de estudio.....	24
4.3. Empresas del sector eléctrico del país	25
4.4. Procedimientos para la recopilación del inventario- datos (SNIS-PCB)	26
4.4.1. Caracterización de transformadores.....	31
 CAPÍTULO V: RESULTADOS	 33

5.1. Inventario de PCB	33
5.2. Análisis de la viabilidad técnica de las tecnologías de tratamiento y eliminación.	34
5.2.1. Declorinación	34
5.2.2. Incineración de residuos peligrosos	36
5.3. Análisis comparativo de la viabilidad económica de las tecnologías escogidas.....	39
5.3.1. Comparación de costos por tecnología para la disposición final de aceites y/o equipos contaminados con PCB.....	40
 CAPÍTULO VI: DISCUSIÓN	 43
6.1 Inventario de PCB	43
6.2 Análisis de la viabilidad técnica de las tecnologías de tratamiento y eliminación..	43
6.3 Análisis comparativo de la viabilidad económica de las tecnologías escogidas... ..	44
 CAPÍTULO VII: CONCLUSIONES.....	 45
 CAPÍTULO VIII: RECOMENDACIONES	 47
 CAPÍTULO IX: BIBLIOGRAFÍA	 48

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Comparación de alternativas de eliminación o tratamiento en América Latina</i>	9
Tabla 2. <i>Costos de transporte para desechos peligrosos</i>	12
Tabla 3. <i>Estimación de costos de disposición final de desechos peligrosos (PCB)</i> .	13

Tabla 4. <i>Costes del tratamiento por Declorinación</i>	18
Tabla 5. <i>Costos de Incineración</i>	21
Tabla 6. <i>Costos de Almacenamiento para PCB</i>	22
Tabla 7. <i>Empresas eléctricas por región en el país</i>	26
Tabla 8. <i>Empresas eléctricas poseedoras de equipos contaminados</i>	28
Tabla 9. <i>Cantidad de equipos inventariados y analizados</i>	29
Tabla 10. <i>Comparación de tecnologías de Declorinación e Incineración</i>	38
Tabla 11. <i>Costos de los tratamientos y/o eliminación</i>	39
Tabla 12. <i>Costes de tratamiento de Declorinación para aceites y equipos</i>	40
Tabla 13. <i>Costos de eliminación para aceites y equipos con PCB</i>	41
Tabla 14. <i>Costos de almacenamiento para PCB</i>	42

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1</i> Ecuación de Wurtz	14
<i>Figura 2</i> Mapa del Ecuador con las provincias en las que se encuentran las empresas eléctricas que participan del inventario SNIS-PCB.....	25

RESUMEN

El Ecuador, como firmante del Convenio de Estocolmo, sobre sustancias químicas y desechos peligrosos es responsable de cumplir con las directrices sobre la eliminación ambientalmente adecuada de Bifenilos Policlorados (PCB) en el país hasta el año 2025. El proceso para llevar a cabo la disposición final de estos desechos contaminantes inicia con el muestreo, análisis e inventario de PCB en equipos y aceite dieléctrico. El inventario se registra en un sistema informático llamado SNIS-PCB (Sistema Nacional de inventario y seguimiento de PCB en el Ecuador), en el mismo se debe inventariar 216.632 equipos, y hasta la presente investigación existen 154.850 lo que equivale al 71,48 % y de este total los equipos caracterizados son: 90.346 equipos y contaminados 3.494 equipos de las empresas eléctricas y de poseedores particulares se estima 1.063 equipos contaminados. Se analizaron las tecnologías disponibles y permitidas por la normativa nacional, una de eliminación (incineración) y una de tratamiento (decloración). Conforme a la investigación se determinó que la decloración, ofrece la oportunidad de descontaminación y reutilización del material.

PALABRAS CLAVE:

- **BIFENILOS POLICLORADOS.**
- **DECLORACIÓN.**
- **INCINERACIÓN.**
- **ECUACIÓN DE WURTZ.**
- **ACEITE DIELECTRICO.**

ABSTRACT

Ecuador, as a signatory of the Stockholm Convention, on substances and hazards, is responsible for complying with the environmental guidelines, the appropriate Polychlorinated Biphenyls (PCB) in the country until the year 2025. The process to carry out The final disposal of these polluting wastes begins with the sampling, analysis and inventory of PCB in equipment and dielectric oil. The inventory is registered in a computer system called SNIS-PCB (National System of inventory and monitoring of PCB in Ecuador), in which 216,632 equipment must be inventoried, and up to the present investigation there are 154,850 which is equivalent to 71.48% and of this total the characterized equipment are: 90.346 equipment and contaminants 3.494 equipment of the electric companies and private owners is estimated 1.063 contaminated equipment. The available technologies and national standards will be analyzed, one of elimination (incineration) and one of treatment (dechlorination). According to the investigation it was determined that the dechlorination, offers the opportunity of decontamination and reuse of the material.

KEY WORDS:

- **POLYCHLORINATED BIPHENYLS.**
- **DECHLORINATION.**
- **INCINERATION.**
- **WURTS EQUATION.**
- **DIELECTRIC OIL.**

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1 Desarrollo del problema

Ecuador ratificó el convenio de Estocolmo en junio del 2004 y presentó su Plan Nacional de Implementación (PNI) en 2006. Uno de los objetivos de este PNI fue la eliminación de todos los PCB en el Ecuador para el año 2025, en el plan también se indica la necesidad de establecer sitios de almacenamiento temporal para equipos y aceites contaminados con PCB. (PNUD, 2013)

A partir del PNI en Ecuador, en la Constitución 2008, en su capítulo II, artículo 15, se establece que los Contaminantes Orgánicos Persistentes (COP´s) están prohibidos en el país. (PNUD, 2013)

Por su parte, los Bifenilos policlorados (PCB), al ser compuestos orgánicos persistentes (COP´s), se caracterizan por ser tóxicos para la salud humana y el ambiente, son solubles en grasas, se bioacumulan, biomagnifican y persisten en el ambiente. (Gobierno del Ecuador, 2006)

El impacto de los PCB, en la salud humana se evidencia en la alteración del sistema hormonal, debido a que estos compuestos presentan características de disruptores endócrinos. Los efectos más preocupantes se presentan en hijas e hijos de madres expuestas durante el embarazo y la lactancia, también afectan a la reproducción y la salud de otras especies animales debido a la contaminación ambiental. Sus efectos se producen a dosis muy bajas, en general muy por debajo de los límites de exposición legalmente establecidos. (Crespo, Olano, & Hernández, 2010)

La población humana se expone a través de la ingesta de alimentos que pueden contener PCB como: carne, pescado, aves de corral, etc. La norma NIOSH establece una contaminación por inhalación de 1 mg.m^{-3} (TWA), en un promedio de 40 horas de trabajo semanales y se estima que el ser humano puede estar expuesto a niveles según el TULAS de hasta $0,0001 \text{ ug.L}^{-1}$ en agua dulce fría. (Ministerio del Ambiente, 2015)

En el Ecuador el estudio de los PCB ya tiene regulación específica y se ha centrado en los equipos del sector eléctrico, ya que estas sustancias fueron adicionadas al aceite dieléctrico de los transformadores de luz. Este proceso se realizó en busca de darle características como: inercia química, resistencia al calor, no inflamabilidad, baja presión de vapor, alta constante dieléctrica y baja conductividad. (Rosso, 2014)

En este contexto, la presente investigación se centra en analizar la factibilidad de implementar opciones tecnológicas para el tratamiento y/o eliminación del aceite contaminado con PCB (>50 ppm).

1.2 Planteamiento del problema

El país no cuenta con una opción tecnológica adecuada en términos de eficiencia y efectividad para la gestión de aceites dieléctricos contaminados con PCB (concentración mayor a 50 ppm). (Ministerio del Ambiente, 2016). Mediante el análisis de información disponible y estudio de las experiencias de otros países de la región, podemos obtener antecedentes útiles, para realizar un análisis de factibilidad

económica de tecnologías que se pueden replicar en el Ecuador, para la disposición final de estos desechos peligrosos.

1.3 Justificación e importancia

La gestión final de desechos peligrosos como es el caso del aceite dieléctrico contaminado con PCB, es uno de los problemas más complejos que actualmente enfrentan las empresas poseedoras como las eléctricas a nivel nacional, por las repercusiones negativas en la salud de los seres humanos y ambiente que representan el manejo inadecuado de estas sustancias.

En este sentido, en el Texto Unificado de la Legislación Ambiental Secundaria, del Libro VI de la “Calidad Ambiental”, en el capítulo 6 correspondiente a la gestión integral de residuos sólidos no peligrosos, peligrosos y especiales, en su artículo 47 indica que el estado ecuatoriano declara prioridad nacional y como tal, de interés público y sometido a la tutela Estatal, la gestión de los mismos.

El Acuerdo ministerial 146 de la gestión de PCB, establece posibles alternativas para la disposición final de estos desechos peligrosos, es así que el presente trabajo de titulación tiene como objetivo desarrollar una propuesta de factibilidad económica para tecnologías disponibles de tratamiento y/o eliminación de aceites dieléctricos contaminados con PCB en el Ecuador.

CAPÍTULO II: OBJETIVOS

2.1. Objetivo General

- Desarrollar una propuesta de factibilidad económica para tecnologías disponibles de tratamiento y/o eliminación de aceites dieléctricos contaminados con PCB en el Ecuador.

2.2. Objetivos Específicos

- Establecer un inventario de transformadores y tanques con aceite dieléctrico contaminado con PCB (caracterizados) en las empresas eléctricas a nivel nacional.
- Comparar las tecnologías disponibles para el tratamiento y/o eliminación de aceite contaminado con PCB vs el almacenamiento contempladas en la legislación ecuatoriana.

2.3. Hipótesis o Interrogante

Hi: Es factible económica y técnicamente establecer una de las tecnologías de tratamiento y/o eliminación disponible para aceites dieléctricos contaminados con PCB en Ecuador.

Ho: No es factible económica y técnicamente establecer una de las tecnologías de tratamiento y/o eliminación disponible para aceites dieléctricos contaminados con PCB en Ecuador.

CAPÍTULO III: MARCO TEÓRICO

3.1 Opciones tecnológicas de eliminación y/o tratamiento de PCB

Para la disposición final de PCB, se debe realizar un análisis técnico-económico en base a los resultados del Inventario, con la finalidad de optar por las tecnologías más adecuadas. (Mendoza, 2013)

Al definir la tecnología a emplear se consideran varios criterios, tales como la aceptación pública, riesgos, impacto ambiental, aplicabilidad del método, tecnologías aprobadas, concentración mínima alcanzable, tiempo de limpieza requerido, fiabilidad, mantenimiento, costo del post-tratamiento, eficiencia de destrucción y emisiones generadas (COP). (Ministerio del Ambiente, 2016)

Por ser los PCB, compuestos orgánicos halogenados presentan un gran problema de disposición molecular, debido a la naturaleza altamente estable de los enlaces carbono-halógeno presentes en éstos, la energía del enlace carbono-cloro, por ejemplo es del orden de 84 cal.mol^{-1} . Así, muchos compuestos orgánicos halogenados no son solo resistentes a la biodegradación, sino que no se pueden degradar de forma práctica por métodos conocidos. Estos métodos implican el uso de reactivos costosos, atmosferas inertes, control de temperatura, aparatos complejos y alto consumo de energía. (Proyecto FODECYT, 2011).

Para la presente investigación se tomaron en cuenta estas características físico-químicas y conforme a la legislación nacional para estos desechos peligrosos, se enlista las opciones tecnológicas de destrucción o transformación irreversible para aceites dieléctricos contaminados con PCB.

3.1.1 Autoclave.

El tratamiento en autoclave es un proceso de descontaminación que extrae el PCB del material contaminado. El proceso es más usado a menudo en proyectos en conjunto con la incineración a alta temperatura. (Ministerio del Ambiente, 2016)

3.1.2 Reducción de metales alcalina o Declorinación.

Llamado también declorinación de aceites. Este método consiste en una reacción entre fluido dieléctrico y sodio, litio o potasio metálico. Donde el reactivo metálico reacciona con los átomos de cloro de los PCB generando cloruro metálico y otros productos residuales no halogenados. En el caso del uso de potasio existen algunas variantes en el tratamiento sobre el estado en que se encuentra el reactivo. (Ministerio del Ambiente, 2016)

3.1.3 Descomposición por catálisis básica.

En este proceso se tratan residuos líquidos y sólidos en presencia de un aceite de alto punto de ebullición, soda y un catalizador, generando átomos de hidrógeno reactivos que atacan los residuos organoclorados. Los productos finales están formados por un residuo carbonoso y sales sódicas logrando un 99,99% de destrucción. (Ministerio del Ambiente, 2016)

3.1.4 Oxidación de agua supercrítica.

Por encima de su punto crítico el agua se transforma en un medio único de reacción donde los hidrocarburos y el oxígeno molecular tienen una solubilidad infinita. Los principales productos de oxidación son: ácido acético, alcoholes, óxidos de carbón y residuos orgánicos. El agua en condiciones supercríticas es efectiva en la oxidación de los Bifenilos Policlorados. Para lograr una Oxidación completa se han utilizado catalizadores en este sistema. (Ministerio del Ambiente, 2016)

3.1.5 Desorción térmica.

Se utiliza para vaporizar los contaminantes orgánicos peligrosos para que puedan ser separados de los materiales sólidos a los que se adhieren o se adsorben. Otros tratamientos son requeridos para el tratamiento de estos contaminantes orgánicos. La desorción térmica separa los contaminantes del suelo. El suelo es calentado en una cámara donde se evaporan agua, contaminantes orgánicos y ciertos metales. Un gas o un sistema de vacío transportan agua vaporizada y los contaminantes en forma de emisiones a la atmósfera. El diseño del sistema pretende volatilizar los contaminantes y no oxidarlos. (Ministerio del Ambiente, 2016)

3.1.6 Incineración de residuos peligrosos.

Suele ser la opción más viable para la destrucción de los fluidos con alta concentración de PCB y otros materiales como madera y el papel. En estas instalaciones diseñadas especialmente para la incineración de desechos peligrosos las condiciones de combustión son cuidadosamente monitoreadas para asegurar la

destrucción total (99,99%) de estos compuestos, minimizando la generación de dioxinas y furanos. Allí los gases de combustión permanecen un tiempo mínimo de 2 segundos a temperaturas superiores a los 1200°C con alta turbulencia y exceso de oxígeno (3%). (Ministerio del Ambiente, 2016)

3.1.7 Arco plasmático.

Esta tecnología genera un arco plasmático entre dos electrodos en un medio gaseoso como argón a baja presión, logrando temperaturas entre los 3.000 y 15.000 °C. En este medio los PCB se descomponen en sus elementos constitutivos con un tiempo de residencia de 20 a 50 milisegundos. Los mismos se recombinan en la zona de refrigeración antes de un enfriamiento alcalino, generando dióxido de carbono, agua y una solución acuosa de sales sódicas. Este proceso logra hasta un 99% de destrucción en líquidos, no logrando el 99,9999% requerido. Esta tecnología es costosa e implica un alto consumo de energía y técnicos altamente calificados. (Ministerio del Ambiente, 2016)

En este sentido podemos afirmar que los métodos más usados para la eliminación y tratamiento de aceites dieléctricos con PCB en Sudamérica son la dechlorinación e incineración, en la Tabla 1 se puede observar el país en el cual se desarrolla la tecnología y la eficiencia del método. Se toma en cuenta que las tecnologías que se desarrollan en otros países trabajen acorde a las especificaciones que tiene la legislación del Ecuador.

Tabla 1
Comparación de alternativas de eliminación o tratamiento en América Latina

Alternativa de eliminación y/o tratamiento	Tipos de desechos aceptados	Método	Temperatura	Eficiencia	Países que cuentan con esta tecnología
Incineración	Aceites Equipo con desechos que contienen PCB	Oxidación a alta ° T	Alta 1400 °C	99,9999%	Holanda, Francia
Declaración química e hidrotatamiento	Líquidos y equipos con aceite contaminado con PCB.	Método Químico	Bajas °T	99,9999%	Argentina Perú Chile

Fuente: (PNUMA, 2004)

Al realizar un análisis de la capacidad tecnológica de América Latina y el Caribe para realizar el tratamiento o eliminación de desechos con PCB, en 2004, el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), menciona que, de un total de veintisiete países, solamente en tres existe la tecnología para el tratamiento de PCB: Argentina, Chile y Perú.

La gestión de desechos peligrosos en la mayoría de países es la eliminación en el exterior, esto se debe principalmente a lo complejo que resulta realizar un inventario de PCB preciso, lo que dificulta un correcto análisis de costo-beneficio por parte de los inversores para la implantación de la tecnología a nivel local (Ministerio del Ambiente, 2017).

3.2 Gestión de desechos (aceites dieléctricos) con más de 50 ppm de PCB en el

Ecuador

La Disposición Segunda y Cuarta del Acuerdo Ministerial Nro. 146, establece: *“que los equipos en funcionamiento que contengan aceite dieléctrico con una concentración mayor a 50 ppm de PCB, podrán ser mantenidos en operación hasta el 31 de diciembre*

del 2023, siempre y cuando se haya identificado y etiquetado correctamente y se demuestre a la autoridad competente (ARCONEL) o a la entidad de control que la sustituya, mediante la presentación de un informe que garantice su estanqueidad y buen funcionamiento de acuerdo al Anexo G.

Posterior al 2023, deberán ser retirados de funcionamiento y almacenados adecuadamente hasta su tratamiento o eliminación con un gestor autorizado, sin importar el estado de operatividad en el que se encuentre” (Secretaría del Convenio de Estocolmo sobre los contaminantes orgánicos persistentes, 2008).

Parte de la gestión de PCB también se incluye el transporte con vehículos que poseen permiso ambiental para esta actividad, la normativa del Ministerio del Ambiente establece directrices específicas para la movilización de PCB. Sin embargo, las empresas eléctricas pueden transportar PCB siempre y cuando la movilización sea a sus bodegas de almacenamiento y mantenimiento.

3.2.1 Almacenamiento temporal de desechos peligrosos (aceite dieléctrico con más de 50 ppm de PCB).

El AM 146, en su capítulo 5 “DEL ALMACENAMIENTO DE DESECHOS PELIGROSOS CON CONTENIDO DE BIFENILOS POLICLORADOS” establece en sus artículos 39 y 38: Que, todo equipo contaminado con PCB, aceite con PCB y cualquier desecho contaminado con PCB, deben ser almacenados en un sitio seguro y adecuado, ya sean estos equipos o desechos de propiedad de empresas eléctricas, empresas públicas o particulares las mismas que deben contratar el servicio de almacenamiento únicamente de gestores ambientales cuyo permiso ambiental otorgado por la Autoridad

Ambiental Competente, establezca en su alcance el almacenamiento de este tipo de desechos.

De acuerdo a la base de datos del Ministerio del Ambiente existen empresas que realizan el servicio de recolección, transporte y almacenamiento de desechos peligrosos con más de 50 ppm de PCB, los mismos que serán una referencia para determinar el costo de almacenamiento para estos contaminantes.

Entre los permisos que tiene la licencia de estas empresas consta: Recolección, transporte y almacenamiento temporal de desechos peligrosos como transformadores eléctricos con PCB, materiales metálicos y no metálicos contaminados con residuos peligrosos.

Se debe mencionar que existen 2 empresas eléctricas que cuentan con bodegas que tienen licencia ambiental para almacenamiento de PCB, sin embargo, en su permiso solo se les permite almacenar equipos de la misma empresa.

Frente a este requerimiento legal, las empresas eléctricas y privadas (otros poseedores) que no cuenten con el permiso ambiental respectivo y que contengan equipos con PCB deberán contratar el servicio de un gestor ambiental, lo que involucra incremento de costos en la gestión de estos desechos peligrosos, considerando que el costo por almacenamiento temporal de PCB es mensual y que el tiempo máximo de almacenamiento según el AM 146 será hasta el año 2025, año en el cual todas las existencias de PCB deberán ser gestionadas definitivamente en el país.

3.2.2 Transporte de desechos peligrosos

La legislación en su Art. 174 del Acuerdo Ministerial 061, establece que: *quienes realicen la actividad de transporte de sustancias químicas peligrosas y/o desechos peligrosos a nivel nacional deberán obtener el permiso ambiental según el sistema Único de Manejo Ambiental*, por lo antes mencionado solo gestores *autorizados por la Autoridad Nacional Competente* podrán brindar el servicio para la gestión de estos desechos peligrosos, conforme a lo mencionado en la Tabla 2 se detallan los costos referenciales acorde a los lugares en los que se da el servicio.

Tabla 2
Costos de transporte para desechos peligrosos

Precio del transporte de aceite dieléctrico	
LUGAR	PRECIO (USD/KG)
Pascuales	0,04
Manabí	0,1
Milagro	0,06
Santa Elena	0,1
El Oro	0,1
Sierra	0,15
Valor recomendado	0,15*

* El transporte se lo realiza con mínimo 6000 galones

Fuente: Gestor autorizado.

3.2.3 Costo de tecnologías de tratamiento o eliminación de PCB

El costo de implementar una tecnología de tratamiento y/o eliminación de aceites dieléctricos contaminados con PCB, depende de factores como: el inventario de existencias de PCB, cantidades (peso y volumen), transporte, análisis (caracterización), bodegaje temporal etc.

Según el PNUMA y como se detalla en la Tabla 3, dependiendo del tipo de material contaminado con PCB se estima el costo de tratamiento para materiales contaminados con PCB.

Tabla 3
Estimación de costos de disposición final de desechos peligrosos (PCB)

Tipo de Residuo contaminado con PCB	Rango por costo USD/tonelada
Aceite con PCB	30 a 3.700
Equipos metálicos con PCB	620 a 3.000
Transformadores	175 a 3.000
Total	2.585 a 19.570

Fuente: (PNUMA, 2004)

La variación de los costos de manejo y eliminación es muy amplia y está sujeto a las características como: el tipo de desecho, la concentración de contaminación con PCB, el tipo de equipo o la ubicación de los desechos.

3.3 Tecnologías seleccionadas

Para elegir las tecnologías propuestas por la legislación nacional y compararlas en esta investigación, se tomó en cuenta aspectos como la eficiencia del método, la cantidad de equipos y aceite con PCB inventariados a tratar, el costo que involucra el tratamiento, recuperación de recursos, responsable con el ambiente y la disponibilidad de traer la tecnología al país.

Conforme a estos aspectos de selección se detallan a continuación las opciones tecnológicas de tratamiento y de eliminación de PCB.

3.3.1 Declorinación

Esta tecnología se basa en el efecto que produce el reactivo Declor K, desarrollado por una empresa argentina (KIOSHI S.A., 2002), la cual inicio sus actividades en el año 2002, Argentina, Perú, Paraguay y Uruguay son los países en donde se ha realizado la descontaminación de más de 20.000 toneladas de PCB.

Esta tecnología de tratamiento usa metales alcalinos, sobre los compuestos orgánicos clorados, los cuales, mediante la reacción de Wurtz, como se observa en la figura 1, sustituyen los átomos de cloro presentes en la molécula por estructuras alifáticas, “declorinando”. (KIOSHI, 2009). De esta forma se eliminan las características de peligrosidad correspondientes al contenido de PCB s, lográndose además la reutilización del aceite base, ya que una vez tratado recupera las características que lo encuadran dentro de los valores admitidos por las normas IRAM 2026, para su reutilización como aceite aislante.

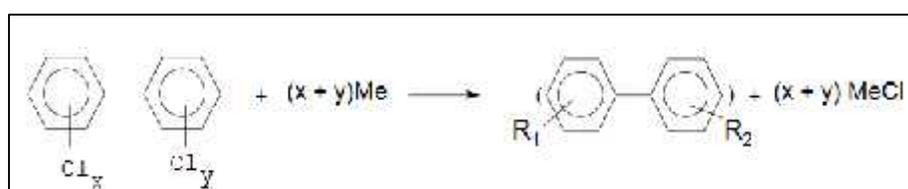


Figura 1 Ecuación de Wurtz

Fuente: (KIOSHI S.A, 2002)

Donde R1 y R2 son radicales orgánicos de sustitución y átomos de hidrógeno. Este proceso es realizado mediante la conexión del dispositivo a tratar a un equipo móvil “in situ”, que evita el traslado de los transformadores, sin representar esto riesgo alguno para el operario y/o ambiente.

3.3.1.1 Equipo de declorinación

3.3.1.1.1 Descripción general del equipo

El objetivo de este equipo es el de efectuar la declorinación a niveles de concentración inferiores a 2ppm (partes por millón) en el aceite mineral a la salida del sistema, a partir de concentraciones de ingreso hasta 5.000 ppm de PCBs (0,5% p/p) con consideraciones especiales. (KIOSHI S.A., 2002)

Este equipo está compuesto por un único reactor de declorinación de aceite que funciona en modo batch. El tiempo estimado de operación para un batch completo (1 lote de 10 equipos), según su capacidad útil máxima, comprende entre 4 y 8 horas de trabajo. (KIOSHI S.A., 2002)

El equipo de declorinación y regeneración de aceite requiere de motores de mezcla y bombeo de 5 HP; sistema de calefacción de 36 Kw, motores de bombas de vacío de 1 HP. (KIOSHI S.A., 2002)

En cuanto a los requerimientos de energía se necesita una base trifásica 3x380, 94^a, las dimensiones del equipo son de alto 2,1 m, ancho 1,2 m y profundidad 1,6 m, la capacidad de un tanque es de 1600 litros (423 gal.) y la capacidad útil máxima de 1300 litros (343 gal). (KIOSHI S.A., 2002)

El equipo se transporta en un vehículo, eliminando de esta forma todo montaje en el lugar de operación, solo se realiza la conexión de mangueras al transformador que contiene el aceite a tratar. (KIOSHI S.A., 2002)

Este procedimiento se lo realiza con plantas móviles las mismas que se componen de:

- a) Reactor: Es en cual se produce la declorinación, por el agregado de los productos químicos requeridos para el tratamiento y condiciones estandarizadas de presión y temperatura. Se trabaja en condiciones de atmósfera modificada, para eliminar riesgos por formación de mezclas peligrosas y evolución de gases del equipo hacia el ambiente consistiendo en un sistema completamente estanco y aislado de gases del equipo hacia el ambiente. (KIOSHI S.A., 2002)
- b) Separador de sólidos: permite la eliminación del residuo de sales inorgánicas generadas y un sistema de regeneración y optimización del aceite tratado, para poder ser recuperado y reutilizado como aceite aislante. (KIOSHI S.A., 2002)
- c) Módulo de regeneración: mediante filtrado a través de tierras, se optimizan las propiedades eléctricas del aceite, de tal forma de recuperar las características aislantes. En esta etapa se eliminan los componentes polares que afectan negativamente la performance del aislante.
- d) Módulo de secado: Luego de todo el proceso, el aceite puede contener un residual de humedad, el cual es eliminado en esta etapa, por acción de temperatura y vacío. Esta humedad residual afectaría adversamente las características dieléctricas del aceite.

Para la seguridad operativa del proceso se instala una serie de dispositivos de seguridad que posee el sistema:

- Válvula de seguridad contra aumento de presión en el equipo.
- Atmósfera inerte
- Sistema de filtrado y recolección total de vapores.

- Sistema de monitoreo continuo y corte por sobre temperatura

El equipo eléctrico a tratar, para optimizar el trabajo y lograr rápidamente el objetivo de reducir la concentración en el aceite por debajo de 2 o 50 ppm en forma permanente (luego de finalizado el proceso de exudación del núcleo, y de acuerdo a la normativa aplicable según regulaciones nacionales y locales), es sometido a recirculación en línea en una o más etapas hasta obtener la concentración requerida que permita la reclasificación del mismo. (KIOSHI S.A., 2002)

Una vez finalizada la reacción y descargado el aceite, se tomará una muestra para realizar un análisis de contenido de PCBs en un laboratorio habilitado mediante control inter laboratorio del INTI.

3.3.1.1.2 Medidas de seguridad

Como medidas de seguridad se debe tomar en cuenta el corte automático por sobre temperatura, así como el control de nivel de volumen según la capacidad útil máxima, tomar en cuenta el corte manual, la válvula de escape por sobrepresión, atmósfera inertizada por vacío y uso de nitrógeno gaseoso, el sistema de filtrado y recolección total de vapores, sistema de contención y finalmente la cámara de vacío.

3.3.1.1.3 Generación de residuos

El proceso de descontaminación propiamente dicho, tal como ha sido presentado, no genera ningún tipo de residuos que contengan PCB, en proporciones mayores a las aceptadas por las normativas que rigen en la materia. Esto se debe a las características

de diseño del equipo de declorinación donde el reactor es el único módulo que está en contacto con el PCB, consistiendo en un sistema estanco que mantiene la reacción hasta la completa declorinación del aceite (no detectado, menor a 2 ppm). (KIOSHI S.A., 2002)

Según (Mendoza, 2013), el procedimiento no es aplicable para tratar PCB puro. Tampoco es aplicable para matrices que puedan contener humedad por razones de seguridad, ni para el tratamiento de suelos o matrices sólidas.

Rodríguez (2012), afirma que este método remueve los átomos de Cloro y da como resultado productos no dañinos; hidrocarburos e iones cloruro Cl⁻.

Zorrilla (2010), determina que cuando el método de deshalogenación usa reactivos como potasio (K) y polietilenglicol (PEG) combinado con el empleo de ultrasonido (US) tiene una efectividad del 99% en la remoción de PCB en aceites dieléctricos de transformadores.

3.3.1.2 Costos que intervienen en el proceso de Declorinación

Estos datos han sido proporcionados por un gestor internacional, los mismos que se detallan en la Tabla 4.

Tabla 4
Costes del tratamiento por Declorinación

Tecnología de tratamiento: Declorinación		
Descripción	Unidad	Costo Usd
Aceites dieléctricos con PCB	Tonelada métrica	1.000
Transformadores	Tonelada	1.800

Fuente: (Kioshi S.A., 2017)

El costo de la declorinación depende del tipo de desecho, si se desea gestionar aceites el costo es de 1 dólar, si se desea gestionar los equipos el costo es de 1,8 dólares el kilo.

3.3.2 Incineración de residuos peligrosos

En la actualidad, los desechos con PCB se destruyen en su gran mayoría por incineración. Esto se debe a que la incineración a alta temperatura es una tecnología bien establecida y fácilmente disponible en muchos países industrializados. (PNUMA, 2004)

La incineración y otras formas de tratamiento térmico también constituyen opciones de tratamiento de desechos peligrosos. Este tipo de desechos se distingue de otros porque figura en reglamentaciones y normativas sobre desechos o porque tiene propiedades peligrosas. Pueden existir varios compuestos catalogados como peligrosos ejemplo, compuestos inflamables, corrosivos, reactivos o tóxicos para lo cual se requieren procedimientos especiales para su transporte, manipulación, almacenamiento y control. También puede ser necesario aplicar métodos especiales de manejo para cualquier residuo que quede después del tratamiento.

La tecnología de combustión más común en la incineración de desechos peligrosos es el horno rotatorio, las plantas en el sector comercial pueden procesar de 82 a 270 toneladas de desechos por día.

Las plantas incineradoras se caracterizan por realizar procesos como: recepción de desechos, almacenamiento, pre-tratamiento, incineración/recuperación de energía, depuración de gases de combustión, gestión de residuos sólidos y tratamiento de aguas

residuales. En las directrices sobre mejores técnicas disponibles y orientación provisional sobre mejores prácticas ambientales, se menciona que las incineradoras llegan a temperaturas de 1400 °C., a esta temperatura se producen calcinaciones y fundiciones. (Secretaría del Convenio de Estocolmo sobre los Contaminantes Orgánicos Persistentes 2008).

En la incineración se producen dióxido de carbono, agua y cenizas inorgánicas. El cloruro presente se elimina como gas de ácido clorhídrico. Si no se cumple con los parámetros mínimos de temperatura que es una variable particularmente crítica, tiempo de residencia la cual es inversamente proporcional a la temperatura, es decir; Cuanto mayor temperatura menor tiempo de residencia (Incineración de residuos tóxicos, 2015) y dosificación de oxígeno, se pueden generar otras sustancias tóxicas, como dioxinas y furanos, que son compuestos orgánicos persistentes más peligrosos que los PCB. Por esta razón, en algunos países están promoviendo la investigación en métodos alternativos a la incineración, pero que cumplan con el porcentaje de eficiencia de eliminación requerido. (PNUMA, 2004)

El Código Orgánico Ambiental (COA) y el Acuerdo Ministerial 146, mencionan que para PCB's la Incineración suele ser la opción más viable para la destrucción de los fluidos con alta concentración de PCB y otros materiales. En las instalaciones donde se realiza el proceso de incineración de residuos peligrosos las condiciones de combustión son cuidadosamente monitoreadas para asegurar la destrucción total (99,99%) de estos compuestos, minimizando la generación de dioxinas y furanos. En este proceso los gases de combustión permanecen un tiempo mínimo de 2 segundos a temperaturas

superiores a los 1200°C con alta turbulencia y exceso de oxígeno (3%). (Ministerio del Ambiente, 2016)

Este proceso térmico emite a la atmosfera de CO₂, CH₄ y N₂O. Es probable que las emisiones de CH₄ no sean de consideración, debido a las condiciones de combustión en los incineradores (es decir, las altas temperaturas y el tiempo prolongado de permanencia). Normalmente, las emisiones de CO₂ procedentes de la incineración de desechos son significativamente mayores que las emisiones de N₂O y CH₄. (Bigg & Paciornik, 2005)

3.3.2.1 Costos referentes para el proceso de incineración

Se toma como referencia los costos de empresas que participaron del “Proyecto de eliminación de 137 toneladas de PCB en Ecuador”, los valores que se detallan en la Tabla 5 es el promedio de costos de las 3 empresas que participaron para la gestión de estos desechos peligrosos.

Tabla 5
Costos de Incineración

Costos de eliminación de aceite contaminado y equipos con PCB	
Fases del proceso de eliminación	Promedio costo/empresa/tonelada
Planificación del trabajo y preparación del plan de eliminación y de contingencia.	407,58
Preparación de los sitios de recolección y preparación de los desechos: embalaje, etiquetado, carga y transporte terrestre de los desechos hasta el puerto.	1.782,22
Carga y transporte marítimo de los desechos hasta el lugar de destino.	998,02
Eliminación y emisión de certificado de destrucción	612,33
Costo total	3.800,15

Fuente: (Proyecto PCB, 2017)

3.4 Almacenamiento de desechos peligrosos hasta su disposición final

Las condiciones que debe cumplir una bodega de almacenamiento de desechos peligrosos para aceite contaminado con PCB están establecidas bajo la norma NTE INEN 2266:2013 y AM 061.

En la página oficial del Ministerio del Ambiente se puede encontrar gestores con licencia ambiental para el almacenamiento de PCB, el gestor autorizado entregará un informe fotográfico periódico para constancia de que el material permanece almacenado en las instalaciones del mismo. El cliente se compromete a entregar el aceite con PCBs en tanques de 55 galones, normados y debidamente etiquetados. El almacenamiento será de hasta un año, en caso de requerir más tiempo para su gestión, el cliente deberá solicitar el respectivo permiso a la Autoridad Ambiental Competente, en la Tabla 6 se encuentra los costos para el almacenamiento de estos desechos.

Tabla 6
Costos de Almacenamiento para PCB

Equipos y tanques de 55 gls., de aceite dieléctrico con PCB	Unidad	Costo mensual	Costo anual	Costo al año 2025
	Equipo/tanque de 55 gls.	Usd 61,6 dólares, incluido IVA.	Usd 739,2 dólares, incluido IVA.	Usd 5.174,4 dólares, incluido IVA.

Fuente: Gestor autorizado

* Costo unitario del equipo o tanque de 55 gls., es de Usd 50 + IVA = 61,6 dólares

* La legislación ecuatoriana establece que solo se podrá almacenar transformadores, aceites y materiales contaminados con PCB hasta el año 2025, posterior a este año se deberá dar la adecuada disposición final.

Las empresas del sector eléctrico y particulares deben contar con el correspondiente permiso ambiental para el almacenamiento de PCB, de no hacerlo, las existencias de PCB deben ser gestionadas por un gestor autorizado por la autoridad ambiental.

Se pone en consideración que en la presente investigación se propuso realizar una comparación de los costos de las tecnologías escogidas versus los costos de almacenamiento de desechos peligrosos, se desea mostrar cuanto disminuye el costo de almacenamiento si se completa oportunamente el inventario hasta el plazo establecido año 2020 fecha en la cual se puede determinar que tecnología es recomendable aplicar en el país.

CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA

4.1. Participantes

El presente trabajo de titulación se realizó bajo la dirección del PhD. Darío Roberto Bolaños Guerrón docente de la Maestría de Gestión Ambiental de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE, en calidad de director de tesis y se contó con el apoyo del Proyecto del Ministerio del Ambiente “Gestión Integrada y Ambientalmente Racional de Bifenilos Policlorados PCB en el Ecuador” quien proporciono los datos recopilados durante su tiempo de gestión.

4.2. Área de estudio

Ecuador: Localización, se encuentra entre las latitudes $01^{\circ} 28' N$ – $05^{\circ} 02'' S$ y longitudes $75^{\circ} 11' E$ – $81^{\circ} 04' O$ a 3000 msnm. En la figura 2, se enmarcan las provincias en las cuales se encuentran las empresas eléctricas que participan del inventario SNIS-PCB.

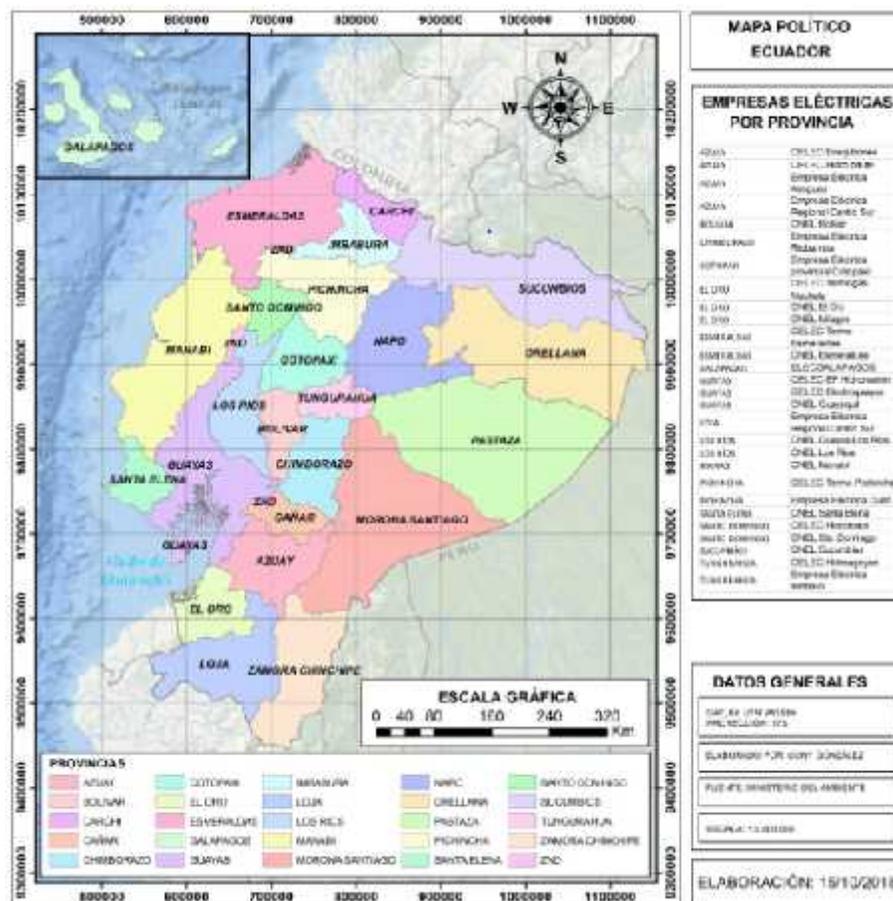


Figura 2 Mapa del Ecuador con las provincias en las que se encuentran las empresas eléctricas que participan del inventario SNIS-PCB

4.3. Empresas del sector eléctrico del país

Son las encargadas de proporcionar la información de cantidad de transformadores y tanques de aceite dieléctrico contaminado con PCB (caracterizado) en uso y desuso para el presente estudio.

En la Tabla 7, se enlistan las empresas que participan del inventario de PCB, se cuenta con 10 empresas de generación eléctrica y 20 empresas de distribución.

Tabla 7
Empresas eléctricas por región en el país

Empresas Eléctricas de generación	Empresa Eléctrica Regional Norte
CELEC Enerjubones	Empresa Eléctrica Riobamba
CELEC EP Hidronación	Empresa Eléctrica Regional Centro Sur
CELEC EP Transelectric	Empresas Eléctricas de Distribución insular
CELEC Electroguayas	ELECGALAPAGOS
CELEC Hidroagoyan	Empresas Eléctricas de Distribución Oriente
CELEC Hidro paute	CNEL Sucumbíos
CELEC Hidrotoapi	Empresas Eléctricas de Distribución Costa
CELEC Termo Esmeraldas	CNEL Bolívar
CELEC Termo Pichincha	CNEL El Oro
CELEC Termogas Machala	CNEL Esmeraldas
Empresas Eléctricas de Distribución Sierra	CNEL Guayaquil
Empresa Eléctrica Quito	CNEL Guayas-Los Ríos
Empresa Eléctrica Ambato	CNEL Los Ríos
Empresa Eléctrica Azogues	CNEL Manabí
Empresa Eléctrica provincial Cotopaxi	CNEL Milagro
Empresa Eléctrica Regional Centro Sur	CNEL Santa Elena
	CNEL Sto. Domingo

Fuente: (Proyecto PCB en Ecuador, 2018)

- El Inventario de PCB consiste en un listado de transformadores y tanques que contienen aceite dieléctrico contaminado con PCB (> 50ppm) (Ministerio del Ambiente, 2016) de las empresas eléctricas a nivel nacional.
- Alternativas tecnológicas escogidas incineración, declorinación y el almacenamiento.

4.4. Procedimientos para la recopilación del inventario- datos (SNIS-PCB)

Para el desarrollo de la presente investigación se recopiló datos en términos de peso y cantidad de transformadores, así como también de tanques de aceite dieléctrico contaminado con PCB caracterizados del sistema informático SNIS-PCB, que maneja el

Ministerio del Ambiente a través del proyecto “Gestión Integrada y Ambientalmente Racional de Bifenilos Policlorados (PCB) en el Ecuador del Ministerio del Ambiente”.

Conforme al Acuerdo Ministerial 146 “Procedimientos para la Gestión Ambientalmente Racional de Bifenilos Policlorados (PCB) en el Ecuador” (Ministerio del Ambiente, 2016) el cual establece en su art. 5.- *Que se considerará como “contaminado con PCB” a los desechos, sustancias y equipos que contienen, están constituidos o contaminados con Bifenilos Policlorados (PCB), en una concentración igual o superior a 50 mg.kg⁻¹ (50 ppm).*

De acuerdo a lo estipulado en el AM 146 todos los poseedores de transformadores, tienen la obligación de caracterizar sus equipos. Es así que el Ministerio del Ambiente a través del “Proyecto gestión Integrada y ambientalmente racional de Bifenilos Policlorados PCB” conjuntamente con la Agencia de regulación y control de la electricidad (ARCONEL) establecieron una base de equipos por empresa eléctrica a ser tomados en cuenta en el inventario. (CONELEC, 2012)

Adicional el AM 146 en su Art. 29, las empresas particulares que no brinden el servicio de generación o distribución de energía tienen la obligación de remitir la información de sus transformadores a la empresa eléctrica que les suministra el servicio, la misma que cargará los datos en el SNIS-PCB acorde al anexo E.

Con base a lo anterior y tomando en cuenta que todos los poseedores de equipos eléctricos que no pertenecen al sector eléctrico, conocidos como “otros poseedores”, poseen un porcentaje de equipos igual, al 25% del total de los equipos registrados del sector eléctrico, se deberá contemplar estas existencias en el inventario SNIS.

Conforme a la normativa nacional, las empresas eléctricas deben ingresar 216632¹ equipos, caracterizados en el sistema SNIS-PCB hasta el año 2020, (Ministerio del Ambiente, 2016). En la Tabla 8, se enlista a las empresas eléctricas de generación y distribución y el número de equipos que tienen que ser registrados en el sistema.

Tabla 8
Empresas eléctricas poseedoras de equipos contaminados

Nro.	Empresas eléctricas de generación y distribución	Cantidad de equipos/empresa
1	Empresa Eléctrica Quito	29.996
2	CNEL Guayas-Los Ríos	28.632
3	EMPRESA ELECTRICA PROVINCIAL COTOPAXI	5.150
4	EMPRESA ELECTRICA AMBATO	11.262
5	CNEL Los Ríos	5.501
6	EMPRESA ELECTRICA REGIONAL NORTE	13.467
7	CNEL El Oro	9.088
8	CNEL Bolívar	654
9	CNEL Sucumbíos	4.010
10	CNEL Sto. Domingo	11.464
11	CNEL Guayaquil	30.367
12	CNEL Esmeraldas	5.235
13	CNEL Santa Elena	5.350
14	CNEL Manabí	8.660
15	EMPRESA ELECTRICA RIOBAMBA	8.551
16	EMPRESA ELECTRICA REGIONAL DEL SUR	12.134
17	CNEL Milagro	6.747
18	EMPRESA ELECTRICA REGIONAL CENTRO SUR	18.208
19	EMPRESA ELECTRICA AZOGUES	1.428
20	ELECGALAPAGOS	585
21	CELEC Termo Esmeraldas	3
22	ELECAUSTRO	12

CONTINUA 

¹ Esta es la cantidad de equipos eléctricos declarados al ARCONEL hasta diciembre del 2011, fecha hasta la cual hay que muestrear y analizar los equipos, puesto que posterior a esta fecha todos los equipos deben contar con un certificado válido de no contener PCB.

23	CELEC HIDROPAUTE	12
24	CELEC EP HIDRONACION	3
25	CELEC Electroguayas	9
26	CELEC EP – Transelectric	56
27	CELEC Termo Pichincha	5
28	CELEC Termogas Machala	2
29	CELEC HIDROAGOYAN (PUCARA)	4
30	CELEC ENERJUBONES	1
31	CELEC Hidrotoapi	36
	Total	216.632

Fuente: (Proyecto PCB en Ecuador, 2018)

El Inventario del sistema SNIS-PCB, inicio en mayo del 2016 y tiene como meta de cumplimiento para todas las empresas del sector eléctrico y privado ecuatoriano el 100 % para el año 2020, sin embargo, hasta la fecha de esta investigación el número de equipos ingresados al sistema son: 154.850 lo que equivale al 71,48 % y de este total los equipos caracterizados son: 90.346 equipos, equivalente al 41,07%.

En la Tabla 9, se encuentra el total de equipos registrados de las empresas eléctricas de generación y distribución que han presentado equipos contaminados (concentración mayor a 50 ppm), se debe mencionar que del total de equipos que consta en el SNIS-PCB se ha restado el número de equipos que han sido gestionados en el exterior en el año 2016 pero que están registrados en el sistema.

Tabla 9
Cantidad de equipos inventariados y analizados

Nro.	Empresas eléctricas de generación y distribución	Cantidad de Contaminados	Peso kilos
1	Empresa Eléctrica Quito	571	10.691,4
2	EMPRESA ELECTRICA PROVINCIAL COTOPAXI	564	6.020

CONTINUA 

3	EMPRESA ELECTRICA AMBATO	2.546	29	4.571
4	CNEL Sto. Domingo	5.328	8	1.225
5	CNEL Bolívar	1.435	1	140
6	CNEL Guayaquil	14.429	25	10.978,7
7	CNEL Esmeraldas	3.112	159	25.307
8	CNEL Santa Elena	2.701	6	1.212
9	EMPRESA ELECTRICA RIOBAMBA	5.298	2	280
10	EMPRESA ELECTRICA REGIONAL DEL SUR	8.877	18	2.386,4
11	CNEL Milagro	5.465	59	9.669,4
12	EMPRESA ELECTRICA REGIONAL CENTRO SUR	15.002	3.106	359.384,44
13	CELEC EP HIDRONACION	62	5	4.508
	Total	90.346	3.494	436.373,34

Como se observa en la Tabla 3, se tienen identificados y registrados 3.494 equipos contaminados con PCB, en concentraciones mayores a 50 ppm, los mismos que pueden estar en funcionamiento hasta el año 2023 conforme lo establece el AM 146 (Ministerio del Ambiente, 2016). Una vez que sean retirados serán tomados en cuenta para su correcta disposición final. El peso de los 3.494 equipos es un total de 436,4 toneladas.

Se debe mencionar que el peso registrado de cada equipo en el SNIS-PCB incluye el peso de aceite, el AM 146 establece que en el caso de equipos contaminados no se autorizará la extracción del aceite hasta su disposición final, por lo cual el peso presentado incluye el peso del transformador más el peso del aceite. Para la investigación se obtendrá valores de aceite y equipos, con el fin de obtener una referencia económica para para la gestión de cada uno.

Con base a lo anterior se considera que dentro de cada transformador existe un volumen de 80 litros de aceite dieléctrico, se procede a multiplicar el valor del peso del

aceite por la cantidad de equipos existentes y finalmente se resta del peso de los equipos y obtendremos el peso de aceites y equipos respectivamente.

Se debe destacar que la cantidad de tanques de aceite dieléctrico contaminado con PCB que se encuentra registrado en el SNIS, corresponde a los tanques que participaron en el proyecto de eliminación del 2016 (Proyecto PCB, 2017), por ello no serán tomados en cuenta para esta investigación.

Al no contar con la caracterización e inventario total, se estimó la cantidad de equipos que pueden estar contaminados hasta el año 2020, para ello se aplicó una metodología de estimación de existencias de PCB, la cual fue propuesta por el Proyecto PCB. El procedimiento que se usa es ad-hoc, los datos usados son el número de equipos de los proyectos pilotos de eliminación realizados en el año 2016 y 2017 y el número de equipos que están ingresados en el SNIS-PCB (216.632).

Como resultado, se determinó que para el año 2020 la cantidad de equipos contaminados con PCB de las empresas eléctricas serían 4.252 con 970,2 Toneladas y de las empresas privadas serían 1.063 equipos con 276,80 Toneladas (Proyecto PCB en Ecuador, 2018).

La cantidad total de desechos que podrían generarse en el país, es la suma de los desechos generados en el sector eléctrico más los generados por otros poseedores, esto es 1247,95 toneladas de PCB.

4.4.1. Caracterización de transformadores

Para la caracterización, las empresas poseedoras de transformadores contaminados con PCB determinan la cantidad de transformadores en uso y desuso, también se

puede referir a transformadores en mantenimiento, en el país la normativa permite dos métodos para la caracterización de equipos el primero es un método cuantitativo realizado por cromatografía de gases el cual permite determinar la concentración (ppm) de PCB en el aceite dieléctrico y el segundo un método cualitativo por kit colorimétrico el cual permite identificar si está o no un equipo contaminado con PCB, el mismo puede dar falsos positivos pero no falsos negativos.

CAPÍTULO V: RESULTADOS

5.1. Inventario de PCB

Este proceso ha significado grandes esfuerzos económicos y técnicos para las empresas eléctricas a nivel nacional; el Acuerdo Ministerial 146 “*Procedimientos para la gestión integrada y ambientalmente racional de los Bifenilos Policlorados (PCB) en el Ecuador*” establece un tiempo límite para cumplir con la caracterización total de PCB en el país, estableciendo así metas de cumplimiento.

- *El 40% del total de su inventario de equipos, contenedores con aceite y desechos, hasta el 31 de diciembre del 2016.*
- *El 70% del total de su inventario de equipos, contenedores con aceite y desechos, hasta el 31 de diciembre del 2018.*
- *El 100% del total de su inventario de equipos, contenedores con aceite y desechos, hasta el 31 de diciembre del 2020.*

Sin embargo, el proceso de caracterización no está completo lo que representa una limitante para la investigación.

En el sistema SNIS-PCB conforme las directrices de la Agencia de regulación y control de la electricidad (ARCONEL) y el Ministerio del Ambiente (MAE), y tomando en cuenta el AM 146 en el cual se determinó el plazo de ingreso de todo el inventario (216.632 equipos) hasta el año 2020: hasta la presente fecha de la investigación en el

sistema se encuentran ingresados 154.850 equipos lo que equivale al 71,48% del inventario y de este total los equipos caracterizados son: 90.348 equipos.

Como resultado una vez que los equipos han sido caracterizados se tiene una cantidad de 3.494 equipos contaminados con PCB registrados en el sistema informático con un peso de 436,4 toneladas.

5.2. Análisis de la viabilidad técnica de las tecnologías de tratamiento y eliminación.

Después del análisis de información se escogió para el posible tratamiento y/o eliminación de PCB, las tecnologías que se detallan a continuación:

5.2.1. Declorinación

Esta tecnología de tratamiento para aceites dieléctricos contaminados con PCB (concentraciones mayores a 50 ppm), exige condiciones técnicas que permiten la descontaminación del aceite dieléctrico y equipos, como son:

- La concentración del aceite dieléctrico debe ser hasta 200 ppm, antes de exponerse al tratamiento, en la revisión del inventario contamos con equipos contaminados que cumplen este requisito.
- La cantidad de aceite dieléctrico deberá superar los 400.000 litros o los 110.000 galones.
- Las concentraciones finales de PCB después de realizado el tratamiento serán menor a 40 ppm en aceites para coprocesamiento o en el caso de equipos eléctricos

y < 2 ppm para los aceites que fuesen destinados a reutilización en equipos eléctricos.

- El proceso de declorinación se llevará a cabo en una (1) locación geográfica, es decir acorde a las condiciones de las empresas eléctricas se escogerá una, que cuente con el espacio y las especificaciones técnicas para establecer la tecnología, en este lugar se realizará el acopio y tratamiento de equipos y tanques con aceite dieléctrico contaminado.

5.2.1.1. Ventajas de este proceso

- No emite gases nocivos a la atmósfera
- Disminuye la generación y disposición final de residuos peligrosos.
- Mejora la ecuación económica financiera de la compañía frente a la exportación de los equipos y/o aceites contaminados.
- Permite la regeneración del aceite mineral, recuperando un recurso no renovable.
- Recuperación del aislante, ya que, en una etapa posterior se regenera el aceite, de igual manera sucede en el caso de un transformador puede ser reclasificado según establece las normas internacionales con amplios antecedentes en la materia, citando como ejemplo la normativa de los Estados Unidos USEPA 40.761 CFR, donde los equipos son reclasificados luego de 90 días de tratamiento de descontaminación.
- Se llega a reducir la concentración hasta 2 ppm en los equipos, siempre que las características particulares de los mismos lo permitan, finalmente este criterio de

minimización de residuos debe entenderse como un acierto importante ya que los recursos no renovables son bienes escasos cuya recuperación y reuso genera una sustentabilidad a largo plazo.

Estos criterios son contemplados no solo por las normativas legales, sino que son los pilares de la normativa voluntaria sobre gestión ambiental. (Kioshi S.A., 2017)

5.2.2. Incineración de residuos peligrosos

Esta tecnología de destrucción permite la transformación irreversible de una amplia gama de residuos, dependiendo de su poder calorífico. No obstante, dicha destrucción no conduce a la ausencia total de residuos, pero esto constituye una característica general de cualquier sistema de tratamiento.

Con la incineración se logra una importante disminución del volumen final de residuos respecto a las cantidades procesadas (del orden del 90% volumen y 70% peso) y la eliminación o reducción sustancial de la peligrosidad de los mismos.

Se considera también el ahorro de los costes de transporte y del espacio requerido para su disposición final en un depósito de seguridad, en este aspecto cabe mencionar que la legislación ecuatoriana no considera viable la disposición de estos desechos en celdas de seguridad.

Permite un control eficiente de las emisiones de los productos gaseosos a la atmósfera, minimizando el impacto ambiental.

Permite una reducción de los residuos peligrosos inmediata con lo cual no se requieren largos periodos de tiempo de residencia. (Secretaría del Convenio de Estocolmo sobre los contaminantes orgánicos persistentes, 2008)

5.2.2.1. Desventaja de este proceso

Se considera como desventaja que uno de los productos de la incineración sea el CO₂, el escape de componente no se vigila directamente, y para conocer el impacto que provoca en el ambiente se lo calcula a partir del contenido total de carbono de los desechos. (Bigg & Paciornik, 2005)

Puede ser difícil distinguir entre los componentes biogénicos y fósiles de los desechos destinados a la incineración, los datos necesarios para determinar dichas fracciones pueden obtenerse del análisis de los desechos con que cuentan muchos países. Sin embargo, a menudo se carece de datos reales sobre el origen de los desechos, o los datos existentes no están actualizados. (Bigg & Paciornik, 2005)

Si la disposición final de los PCB es la incineración se deben tomar en cuenta directrices para la exportación.

El generador del desecho (empresa o persona natural poseedora de desechos con PCB) debe contratar y autorizar a una o varias empresas gestoras y autorizadas para que realicen todo el trabajo de preparación (incluida la tramitología de los permisos de transporte transfronterizo), manipulación, transporte (terrestre y marítimo) y disposición final de los desechos.

El organismo competente para la emisión de criterios técnicos y para autorizar o rechazar la exportación y/o eliminación de equipos y/o desechos con PCB es el Ministerio del Ambiente (MAE).

Una vez que se ha realizado el análisis de las dos tecnologías podemos compararlas en términos de eficiencia en la Tabla 10, encontramos las características más

relevantes que nos permiten acertar por cual tecnología se puede tratar estos desechos peligrosos

Tabla 10
Comparación de tecnologías de Declorinación e Incineración

Comparación técnica de las tecnologías de tratamiento/eliminación		
Parámetros	Declorinación	Incineración
Eficiencia de la tecnología	99,99%	99,99%
Generación de desechos	No genera desechos	Genera desechos
Reutilización del aceite	si	no
Reutilización de carcasas	si	no
Operación en situ	si	No (se debe realizar exportación)
Emisión de gases a la atmosfera	no	si
Rendimiento en una jornada de trabajo de 8 horas.	343 gal o 1,23 toneladas	176 toneladas

Como se detalla en la Tabla 10 y conforme el destino posterior que se dé a los equipos y aceite con PCB, la tecnología que tiene ventaja en la recuperación de recursos es la declorinación, lo que puede significar para las empresas un ahorro económico de sus equipos, entre las limitantes para que los equipos de declorinación puedan ser traídos al país y tratar los desechos generados es la cantidad de aceite mínima que establece el gestor en términos de costo/beneficio el cual es 400.000 litros.

Con relación a este requisito se determina que la cantidad de aceite dentro de los equipos ingresados al SNIS-PCB no alcanza el volumen solicitado, sin embargo, si este volumen lo tratamos como peso tendríamos 380 toneladas de aceite contaminado con PCB, sumamos la cantidad de equipos y aceites en términos de peso y se contaría con 436,37 toneladas lo cual justifica tratar estos desechos con la tecnología de la declorinación.

Adicionalmente se debe tomar en cuenta que el inventario se continúa actualizando, en un tiempo posterior a esta investigación se contará con el inventario definitivo y acorde a las estimaciones realizadas por el proyecto PCB según la metodología detallada anteriormente se obtendrá valores superiores para la disposición final.

Se debe considerar que una limitante para poder escoger acertadamente la mejor tecnología para el tratar o eliminar PCB es no contar con todo el inventario caracterizado a la presente fecha.

5.3. Análisis comparativo de la viabilidad económica de las tecnologías escogidas

Se ha realizado la recopilación de información económica a través de la información proporcionada por las empresas que realizan las tecnologías de decloración, y gestores, como se presenta en la Tabla 11, se cuenta con costos por tratamiento, transporte y almacenamiento, con esta información se puede obtener un análisis económico y determinar en términos de eficacia cual es la tecnología que se puede costear en el país.

Tabla 11
Costos de los tratamientos y/o eliminación

Tecnología tratamiento/destrucción	Condiciones de los tratamientos y/o eliminación	
	Costos/tonelada	Transporte Costos/tonelada
Decloración de aceite	1.000	150
Decloración de equipos	1.800	150
Incineración	3.800,15	150
Almacenamiento	5.174,4	150

5.3.1. Comparación de costos por tecnología para la disposición final de aceites y/o equipos contaminados con PCB.

5.3.1.1. Costos de aceites y equipos con Declorinación

Conforme a los lineamientos de la empresa que realiza este proceso, los aceites y equipos se gestionan por separado y su costo es distinto, es así que del total de toneladas de PCB que son 436,37, se separa las toneladas de aceite y de equipos y se determinó el costo respectivamente como se observa en la Tabla 12.

Tabla 12
Costes de tratamiento de Declorinación para aceites y equipos

	Unidad (Ton.)	Costo Declorinación	Transporte	Costo total
Aceite con PCB	265,54	265.540	39.831	305.371
Equipos con PCB	170,83	307.494	25.624,5	333.118,5
			Total	638.489,5

Conforme los costos proporcionados por los gestores y si tomamos en cuenta el costo del tratamiento por declorinación tendremos un costo total por la gestión de 436,37 toneladas de PCB de 638.489,5 dólares.

5.3.1.2. Costos de eliminación para aceites y equipos con PCB

Para determinar el costo total de la incineración de PCB se toma en cuenta la cantidad total de desechos ya que el proceso es el mismo para aceites como equipos como se observa en la Tabla 13, se determina el costo de eliminación de las 436,37 toneladas de PCB.

Tabla 13
Costos de eliminación para aceites y equipos con PCB

	Unidad ton.	Incineración	Transporte	Costo total
Equipos y aceite contaminado con PCB.	436,37	1.658.271,456	65.455,5	1.723.727

Si se considera tratar los contaminantes con PCB por la tecnología de incineración en base a las existencias del inventario del SNIS-PCB el costo de tratar las 436,37 toneladas de PCB sería de 1.723.727 dólares.

Por lo antes mencionado y conforme al estudio que se realizó en la revisión bibliográfica tanto las empresas eléctricas y particulares deben gestionar sus existencias de PCB, el inventario de las empresas privadas en la actualidad se ha iniciado con el registro de equipos de 3 empresas a nivel nacional, es por ello que para este estudio se usó la cantidad de equipos estimados que se encuentran en el área privada y que el Proyecto PCB contemplo en su análisis, se considera que la cantidad de equipos que presentarían contaminación con PCB son 1063 equipos con un peso de 276,80 Toneladas. En la Tabla 14 podemos observar el costo total del almacenamiento de equipos de particulares, acorde a la estimación que realizó el Proyecto PCB y tomando en cuenta que en el año 2020 se concluye el inventario a nivel nacional de poseedores particulares y de las empresas eléctricas, se consideró 5 años de almacenamiento máximo ya que el AM 146 establece que hasta el año 2025 el país puede tener PCB una vez cumplido este tiempo los organismos de control deben realizar la gestión para la disposición final de todas las existencias de PCB.

5.3.1.3. Costo de almacenamiento de equipos de particulares con PCB.

Conforme la Tabla 14 el costo de almacenamiento de equipos con PCB de los poseedores particulares sería 3.928.848 dólares. Estos resultados nos permiten determinar que el costo que debe asumir los poseedores particulares es un monto de gestión alto solo por almacenamiento a este valor hay que adicionar el costo de la disposición final de los PCB caracterizados en base a este panorama se recomienda realizar una caracterización oportuna y gestionar las existencias de PCB al final del plazo de la carga total del SNIS-PCB es decir el año 2020.

Tabla 14
Costos de almacenamiento para PCB

	Unidad	costo mensual	costo anual	Costo total (2020-2025) 5 años
Equipos contaminados con PCB	276,80 toneladas	65.480,8	785.769,6	3.928.848

CAPÍTULO VI: DISCUSIÓN

6.1 Inventario de PCB

Para la conformación del Inventario de PCB a nivel nacional, en el sistema SNIS-PCB conforme las directrices de la Agencia de regulación y control de la electricidad (ARCONEL) y el Ministerio del Ambiente (MAE), se determinó un total de 216.632 equipos correspondientes a las empresas eléctricas a nivel nacional, hasta la presente fecha de la investigación en el sistema se encuentran ingresados 154.850 equipos lo que equivale al 71,48% del inventario y de este total los equipos caracterizados son: 90.348 equipos.

Una vez que los equipos han sido caracterizados se tiene una cantidad de 3.494 equipos contaminados con PCB registrados en el sistema informático con un peso de 436,4 toneladas.

Con esta cantidad de equipos y peso se puede determinar que tecnología de destrucción o tratamiento cuenta con la capacidad técnica para ser aplicada.

6.2 Análisis de la viabilidad técnica de las tecnologías de tratamiento y eliminación

Para la presente investigación se escogió dos tecnologías una de tratamiento y una de destrucción las mismas que están permitidas acorde a la normativa nacional y cuentan con la capacidad técnica para tratar aceites dieléctricos contaminados con PCB.

Las tecnologías seleccionadas son la declorinación y la incineración, se realizó una comparación en términos de eficiencia técnica y económica. La comparación de estas

dos tecnologías han permitido analizar características específicas como: eficiencia, generación de desechos, posibilidad de reutilización de equipos y aceites, lugar del tratamiento, emisiones al ambiente y rendimiento.

Llegando a determinar que, con la cantidad y características del aceite dieléctrico inventariado se puede implementar la tecnología de la Declorinación.

6.3 Análisis comparativo de la viabilidad económica de las tecnologías escogidas

Se realizó la comparación de costos de cada tecnología y se calculó el costo de cada una, por la cantidad de aceite dieléctrico inventariado y caracterizado, arrojando un costo por las 436,37 toneladas de PCB de 638.489,5 dólares con la tecnología de Declorinación y con la Incineración un costo total de 1.723.727 dólares. Estos costos incluyen el transporte con un gestor calificado.

Otra opción para la gestión de PCB, fue el costo que involucra el almacenamiento de los mismos, acorde a lo mencionado en la normativa nacional sobre las condiciones técnicas y permisos ambientales de las bodegas que almacenen desechos peligrosos y que el poseedor no cuente y tenga que buscar este servicio, considerar el costo por almacenar las 436,37 toneladas sería de 3.928.848 dólares. Esta suma representa un costo muy alto dentro de la gestión de estos desechos y se debe considerar una oportuna caracterización de los equipos que aún faltan por inventariar y brindarles una gestión final adecuada técnica y económica conveniente para el país.

CAPÍTULO VII: CONCLUSIONES

- El inventario nacional de PCB contempla un número total de 216.632 equipos pertenecientes a las empresas eléctricas de distribución y generación, los mismos que deben ser registrados en la plataforma informática SNIS-PCB y caracterizados hasta el año 2020 acorde a la legislación específica de PCB que está vigente en el país. De este inventario se encuentran 154.850 equipos registrados, lo que equivale al 71,48 % del inventario total. De los equipos registrados, 90.346 están caracterizados y de los mismos 3.494 equipos poseen concentraciones mayores a 50 ppm de PCB.
- Las especificaciones técnicas mínimas requeridas a cantidad y peso de aceite dieléctrico y equipos contaminados con PCB, concentración máxima, condiciones físicas del lugar para realizar el tratamiento, así como las especificaciones técnicas del proceso, determinan que el tratamiento más conveniente es la Declorinación.
- La tecnología de Declorinación presenta la mejor oferta económica para la disposición final de las 436,37 toneladas de PCB por un costo de 638.489,5 dólares respecto a la tecnología de incineración la cual arroja un monto de 1.723.727 dólares.
- En la presente investigación se realizó una comparación de los costos de las tecnologías escogidas así como los costos de almacenamiento, la caracterización oportuna hasta el año 2020 de los equipos, permite ahorrar el costo de almacenamiento con un gestor ambiental para empresas particulares y eléctricas.

- El proceso de declorinación no genera residuos secundarios ya que el aceite del cual ha sido extraído el PCB, se puede usar como combustible en el proceso de coprocesamiento en plantas cementeras, adicional en el caso de las carcasas, estas pueden gestionarse como chatarras o pueden volver a uso, de poseer las características técnicas necesarias, lo que favorece al poseedor.

CAPÍTULO VIII: RECOMENDACIONES

Es oportuno que las empresas eléctricas y poseedores particulares unan esfuerzos para alcanzar las metas de inventario y caracterización establecidas en la normativa nacional hasta el año 2020 y buscar la opción técnica y económica más conveniente para la gestión final de estos desechos peligrosos en el país.

CAPÍTULO IX: BIBLIOGRAFÍA

- PNUD. (2013). *Gestión Integrada y ambientalmente racional de bifenilos policlorados PCB en el Ecuador*. Quito: PNUD.
- Asamblea Nacional. (2015). *Ley orgánica de regimen especial de la Provincia de Galápagos*. Quito.
- Asamblea Nacional Constituyente. (2008). *Asamblea Nacional*. Recuperado el 29 de Noviembre de 2016, de http://www.asambleanacional.gov.ec/documentos/constitucion_de_bolsillo.pdf
- ATSDR. (2000). *Agencia para sustancias tóxicas y registro de enfermedades*. Obtenido de https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs17.html
- Bigg, M., & Paciornik, N. (2005). *Orientación del IPCC sobre las buenas prácticas y la gestión de la incertidumbre en los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero*. Reino Unido.
- CONELEC. (2012). *Manual de Procedimientos para el Manejo de Bifenilos Policlorados (PCB) en el sector Electrico Ecuatoriano* (Primera ed.). Quito.
- Congreso Nacional. (2004). *Ley de Prevención y Control de la Contaminación Ambiental*. Quito.
- Convenio de Basilea. (2005). *Sobre el control de los movimientos transfronterizos de los desechos peligrosos y su eliminación*. Basilea.
- Convenio de Estocolmo. (2004). *Convenio de estocolmo sobre contaminantes orgánicos persistentes*. Estocolmo.
- Crespo, Olano, & Hernández. (2010). *Estado de las tecnologías de descontaminación y destrucción de PCB sin incineración*. España: Paralelo Edición S.A.

GIZ Ministerio Federal de Cooperación Económica y desarrollo. (Mayo de 2012).

Incineradores y su control de la contaminación ambiental del aire y de las aguas residuales. Obtenido de

http://www.indaver.be/fileadmin/indaver/Illustrations/Infographs/Processing_schemes/Jpeg/1901_ill_draaitrommeloven-com_E-72dpi.jpg

Gobierno del Ecuador . (2006). *Plan Nacional de Implementación para la gestión de los contaminantes orgánicos persistentes en el Ecuador.* Quito.

Gobierno del Ecuador. (2006). *Plan Nacional de Implememtación* . Quito.

Hobson, J. (2017). Obtenido de http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gp/spanish/5_Waste_ES.pdf

IARC. (2016). *Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to human.* Lyon-France: World Health Organization .

Incineración de residuos toxicos. (2015). Obtenido de www.ingenieroambiental.com/3012/residuos.doc

KIOSHI. (2009). *Kioshi soluciones para empresas de energía.* Obtenido de http://www.kioshi.com.ar/index_tratamiento.php

KIOSHI S.A. (2002). *Memoria tècnica DK-08 (3057/05-1).* Argentina.

KIOSHI S.A. (2002). *Descripción General del Equipo de declorinación.* Argentina.

Kioshi S.A. (2017). *Proceso de declorinación de aceites dielectricos contaminados con PCB.* Obtenido de http://www.kioshi.com.ar/index_tratamiento.php

Mendoza. (2013). *Estrategia para la Gestión Ambientalmente Racional de Bifenilos Policlorados (PCB) en el Perú, consideraciones ambientales y tecnológicas.*

Lima, Perú: Universidad Pontificia Universidad Católica del Perú.

- Ministerio de justicia Derechos Humanos y Cultos. (2014). *Código Orgánico Integral Penal*. Quito.
- Ministerio del Ambiente. (2015). *Reformar el libro vi del texto unificado de legislación secundaria del ministerio del ambiente de la calidad ambiental*. Quito: Ministerio del Ambiente.
- Ministerio del Ambiente. (2016). *Acuerdo Ministerial 146 "Procedimientos para la Gestión Ambientalmente Racional de bifenilos policlorados (PCB) en el Ecuador* (Ministerio del Ambiente ed.). Quito.
- Ministerio del Ambiente. (2017). "Plan de Gestión de PCB (2018-2025). Quito - Ecuador.
- Ministerio del Ambiente-Proyecto PCB. (2015). *Guía técnica para la gestión ambientalmente racional de bifenilos policlorados (PCB)*. Quito: Ministerio del Ambiente.
- PNUD. (2014). *Manejo y Destrucción Ambientalmente Adecuados de Bifenilos Policlorados en México*. México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- PNUMA. (2004). *Inventory of Worldwide PCB Destruction Capacity*. Ginebra.
- PNUMA. (2004). *Manual de Chile sobre el manejo de Bifenilos Policlorados (PCBs; Askareles)*. Chile.
- PNUMA. (2004). *Manual de Chile sobre el manejo de Bifenilos Policlorados (PCBs; Askareles)*. Suiza.
- Proyecto FODECYT. (2011). *Informe final, Contaminación del ambiente producido por aceites electricos, su cuantificación y alternativas de solución*. Guatemala.
- Proyecto PCB. (2017). *Plan de eliminación de desechos*. Quito: Ministerio del Ambiente.

- Proyecto PCB en Ecuador. (2018). *Estimación de desechos contaminados con PCB en el sector eléctrico ecuatoriano*. Quito: Ministerio del Ambiente.
- Rodríguez Poveda, A. P. (2010). *Estudio de procesos químicos para la eliminación de compuestos bifenilos policlorados (PCB)*. Bogota.
- Rodríguez Poveda, Adriana Patricia. (2012). *Estudio de procesos químicos para la eliminación de compuestos bifenilos policlorados (PCB)*. Bogota, Colombia: Universidad Militar de Nueva Granada.
- Rosso, A. (2014). *Fortalecimiento de sistemas de manejo ambiental de bifenilos policlorados (PCB) y la eliminación de aceites y equipos contaminados, que están en funcionamiento, o almacenados en depósitos en Argentina*. Buenos Aires-Argentina: Biblioteca Digital de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales - Universidad de Buenos Aires.
- Secretaría del Convenio de Estocolmo sobre los contaminantes orgánicos persistentes . (2008). *Directrices sobre mejores técnicas disponibles y orientación provisional sobre mejores prácticas ambientales*. Ginebra: Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente .
- Secretaría del Convenio de Estocolmo sobre los contaminantes orgánicos persistentes. (2008). *Directrices sobre mejores técnicas disponibles y orientación provisional sobre mejores prácticas ambientales conforme al Artículo 5 y Anexo C del Convenio de Estocolmo sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes*. Ginebra, Suiza: Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Recuperado el 24 de Febrero de 2016

Secretaria Nacional de Planificación y Desarrollo. (2013-2017). *Construcción del PNBV*

. Recuperado el 29 de Noviembre de 2016, de www.dialogosbuenvivir.gob.ec

Zorrilla, V. (2010). *Caracterización y alternativa de tratamiento para bifenilos*

policlorados (Sovtol-10) presentes en aceites de transformadores. Villa Clara-

Cuba: Centro de Estudio de Química Aplicada. Universidad Central de Las Villas.