



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Estudios de Postgrado
Maestría en Artes en Energía y Ambiente

**GESTIÓN Y DISPOSICIÓN FINAL DE RESIDUOS PELIGROSOS CONTAMINADOS DE
BIFENILOS POLICLORADOS (PCB'S) EN DISTRIBUIDORA DE ELECTRICIDAD DE
ORIENTE DEL PAÍS DE GUATEMALA**

Ing. Williams Josué Jiménez Pinto

Asesorado por el MSc. Ing. Saul David Arreola Illescas

Guatemala, noviembre de 2021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**GESTIÓN Y DISPOSICIÓN FINAL DE RESIDUOS PELIGROSOS CONTAMINADOS DE
BIFENILOS POLICLORADOS (PCB'S) EN DISTRIBUIDORA DE ELECTRICIDAD DE
ORIENTE DEL PAÍS DE GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

ING. WILLIAMS JOSUÉ JIMÉNEZ PINTO

ASESORADO POR EL MSC. ING. SAUL DAVID ARREOLA ILLESCAS

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

MAESTRO EN ARTES EN ENERGÍA Y AMBIENTE

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Kevin Vladimir Armando Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

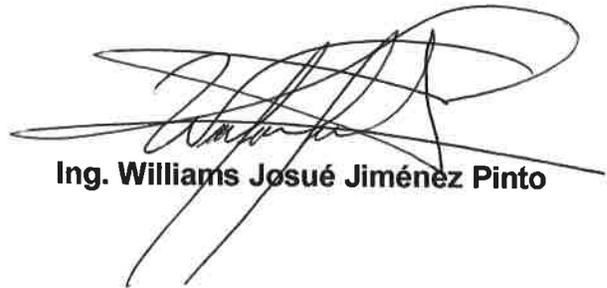
DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADOR	Mtro. Ing. Edgar Darío Álvarez Coti
EXAMINADOR	Mtro. Ing. Juan Carlos Fuentes Montepeque
EXAMINADOR	Mtro. Ing. Benedicto Estuardo Martínez Guerra
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**GESTIÓN Y DISPOSICIÓN FINAL DE RESIDUOS PELIGROSOS CONTAMINADOS DE
BIFENILOS POLICLORADOS (PCB'S) EN DISTRIBUIDORA DE ELECTRICIDAD DE
ORIENTE DEL PAÍS DE GUATEMALA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Postgrado con fecha 13 de marzo de 2021.



Ing. Williams Josué Jiménez Pinto

DTG. 682.2021.

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Estudios de Postgrado, al Trabajo de Graduación titulado: **GESTIÓN Y DISPOSICIÓN FINAL DE RESIDUOS PELIGROSOS CONTAMINADOS DE BIFENILOS POLICLORADOS (PCB'S) EN DISTRIBUIDORA DE ELECTRICIDAD DE ORIENTE DEL PAÍS DE GUATEMALA**, presentado por el Ingeniero **Williams Josué Jiménez Pinto**, estudiante de la **Maestría en Artes en Energía y Ambiente** y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Inga. Anabela Cordova Estrada
Decana

Guatemala, noviembre de 2021.

AACE/asga



Guatemala, noviembre de 2021

LNG.EEP.OI.127.2021

En mi calidad de Director de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del asesor, verificar la aprobación del Coordinador de Maestría y la aprobación del Área de Lingüística al trabajo de graduación titulado:

**"GESTIÓN Y DISPOSICIÓN FINAL DE RESIDUOS PELIGROSOS
CONTAMINADOS DE BIFENILOS POLICLORADOS (PCB □S) EN
DISTRIBUIDORA DE ELECTRICIDAD DE ORIENTE DEL PAÍS DE
GUATEMALA"**

presentado por **Williams Josué Jiménez Pinto** quien se identifica con carné **200212701** correspondiente al programa de **Maestría en artes en Energía y ambiente** ; apruebo y autorizo el mismo.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"

Mtro. Ing. Edgar Darío Álvarez Cofi
Director



**Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería**



Guatemala, 19 de julio de 2021

M.Sc. Edgar Darío Álvarez Cotí
Director
Escuela de Estudios de Postgrado
Presente

M.Sc. Ingeniero Álvarez Cotí:

Por este medio informo que he revisado y aprobado el **INFORME FINAL** del trabajo de graduación titulado: **"GESTIÓN Y DISPOSICIÓN FINAL DE RESIDUOS PELIGROSOS CONTAMINADOS DE BIFENILOS POLICLORADOS (PCB'S) EN DISTRIBUIDORA DE ELECTRICIDAD DE ORIENTE DEL PAÍS DE GUATEMALA"** del estudiante **Williams Josué Jiménez Pinto** quien se identifica con número de carné **200212701** del programa de **Maestría en Energía y ambiente**.

Con base en la evaluación realizada hago constar que he evaluado la calidad, validez, pertinencia y coherencia de los resultados obtenidos en el trabajo presentado y según lo establecido en el *Normativo de Tesis y Trabajos de Graduación aprobado por Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería Punto Sexto inciso 6.10 del Acta 04-2014 de sesión celebrada el 04 de febrero de 2014*. Por lo cual el trabajo evaluado cuenta con mi aprobación.

Agradeciendo su atención y deseándole éxitos en sus actividades profesionales me suscribo.

Atentamente,



M.Sc. Ing. Juan Carlos Fuentes
Coordinador
Energía y Ambiente

Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería USAC



Guatemala, 31 de mayo de 2021

**Ingeniero M.Sc.
Edgar Álvarez Cotí
Director
Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería USAC
Ciudad Universitaria, Zona 12**

Distinguido Ingeniero Álvarez:

Atentamente me dirijo a usted para hacer de su conocimiento que como asesor de trabajo de graduación del estudiante **Williams Josué Jiménez Pinto**, Carné número **200212701**, cuyo título es "**GESTIÓN Y DISPOSICIÓN FINAL DE RESIDUOS PELIGROSOS CONTAMINADOS DE BIFENILOS POLICLORADOS (PCB'S) EN DISTRIBUIDORA DE ELECTRICIDAD DE ORIENTE DEL PAÍS DE GUATEMALA**", para optar al grado académico de Maestro en **Energía y Ambiente**, he procedido a la revisión del mismo.

En tal sentido, en calidad de asesor doy mi anuencia y aprobación para que el estudiante **Jiménez Pinto**, continúe con los trámites correspondientes.

Sin otro particular, me es grato suscribirme de usted.

Atentamente,



Saul David Areola Illescas
M.Sc. Administración de Negocios Ing. Industrial
Asesor

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por ser quien me permitió alcanzar este logro y por darme las bendiciones que tengo.
Mis padres	Sergio Jiménez y Gladys Pinto. Su ejemplo y amor será siempre mi inspiración.
Mi esposa	Johanna Franco, por ser mi compañera de vida familiar y profesional.
Mis hijos	Celeste y Paolo Jiménez, por ser mis motores para seguir mejorando.
Mis hermanos	Sergio, Manolo y Judith Jiménez, por estar a mi lado cuando necesité de su ayuda y apoyo incondicional.
Mi tío	Danilo Jiménez, por ser un ejemplo que seguir por sus logros académicos y financieros
Mi primo	Jaime Silva, por ser ejemplo a seguir por sus logros académicos

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser la <i>alma mater</i> que permitió graduarme de pregrado y maestría.
Facultad de Ingeniería	Por brindarme los conocimientos necesarios para desarrollarme como ingeniero.
Mis amigos de la Facultad	Por aportar en cada reunión que llevó a la aprobación de cada curso.
Msc. Ing. Saul Arreola	Por su apoyo y asesoría para terminar mi trabajo de graduación.
Msc. Ing. Ruth Portillo	Por su asesoría y apoyo para mejorar mi trabajo de graduación.
Ing. José Orozco	Por su trabajo y colaboración en el proyecto.
Ing. Mauricio Azurdia	Por su dedicación al trabajo y su apoyo en la recolección de datos.
Ferdy Burgos	Por su compañerismo y apoyo incondicional.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN.....	XIII
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	XV
OBJETIVOS.....	XIX
RESUMEN DEL MARCO METODOLÓGICO	XXI
TÉCNICAS DEL ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN.....	XXVII
INTRODUCCIÓN	XXIX
1. MARCO TEÓRICO.....	1
1.1. Generación de residuos.....	1
1.2. Desechos no peligrosos	1
1.3. Desechos peligrosos	1
1.4. Propiedades de los contaminantes orgánicos persistentes	3
1.5. Clasificación de los contaminantes orgánicos persistentes	3
1.6. Peligros y niveles de riesgos al manipular las sustancias peligrosas según la norma NFPA 704	5
2. INFORMACIÓN TÉCNICA	9
2.1. Bifenilos policlorados	9
2.2. Qué son los bifenilos policlorados	9
2.3. PCB's en transformadores de Potencia en Distribuidora de Electricidad de Oriente S.A. de Guatemala	10
2.4. Aspectos e impactos ambientales asociados.....	12

2.5.	Ejemplos de contaminación ambiental por contacto con Bifenilos Policlorados (PCB´s)	14
3.	MARCO LEGAL	17
3.1.	Aspectos legales	17
3.2.	Convenios Internacionales	17
3.3.	Aspectos legales de la legislación guatemalteca para desechos peligrosos.....	18
4.	METODOLOGÍA PARA LA ADMINISTRACIÓN DE INVENTARIOS	21
4.1.	Instrucción técnica.....	21
4.2.	Pruebas de PCB´s a transformadores de potencia	22
4.3.	Recolección de datos	26
4.4.	Actualización de la información	31
4.5.	Proyección de datos de inventario hasta 2025.....	32
4.6.	Seguimiento	38
5.	ALMACENAJE DE ACEITE CON PRESENCIA DE PCB´s	39
5.1.	Instrucción técnica en estación de residuos.....	39
5.2.	Instrucción técnica para estación de residuos no peligrosos ..	40
5.3.	Instrucción técnica para estación de residuos peligrosos	40
5.4.	Aplicación de instrucción técnica en estaciones de residuos ...	41
5.5.	Seguimiento	41
5.6.	Medidas de seguridad en caso de derrames:	42
6.	PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.....	45
6.1.	Definición de tiempos con los que cuenta la distribuidora para disponer los bifenilos policlorados.....	45

6.2.	Inventario de transformadores sospechosos y confirmados con presencia de bifenilos policlorados	46
6.3.	Del almacenamiento de transformadores sospechosos y con presencia de bifenilos policlorados	48
6.4.	De la gestión ambiental final de carcasas y de aceite dieléctrico contaminado con bifenilos policlorados	49
7.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	51
7.1.	Cumplimiento de los tiempos establecidos para el tratamiento de los PCB's.....	51
7.2.	Equipos contaminados de bifenilos policlorados	51
7.3.	Cumplimiento de estándares de almacenaje de equipos contaminados con PCB's	53
7.4.	Plan de gestión ambiental para bifenilos policlorados	53
7.5.	Tecnológicas analizadas para tratar y/o destruir PCB's	54
7.6.	Alternativas tecnológicas disponibles, más cercanas con respecto de la ubicación geográfica de la empresa Distribuidora de Electricidad de Oriente S.A.....	55
7.7.	Procedimiento.....	56
7.8.	Trasvase de aceite dieléctrico	57
7.9.	Envío a proveedor certificado	58
7.10.	Monitoreo y seguimiento.....	59
7.11.	Costos	59
	CONCLUSIONES	63
	RECOMENDACIONES.....	65
	REFERENCIAS	67
	ANEXOS.....	71

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Diamante general de materiales peligrosos	5
2.	Diamante generado para aceite con PCB	6
3.	Pictogramas del Sistema Globalmente Armonizado	7
4.	Ejemplo del diseño de una estación de residuos	11
5.	Ejemplo estación de residuos vista desde afuera	12
6.	Cloracné producido por contaminación con PCB.....	15
7.	Viktor Yushchenko con un cuadro de Cloracné	15
8.	Resultado negativo de análisis colorimétrico	23
9.	Resultado sospechoso de análisis colorimétrico.....	24
10.	Equipo de análisis L2000	25
11.	Imagen del equipo para análisis cuantitativo.....	26
12.	Resultado de pruebas en los años 2016 a 2020 DEORSA	29
13.	Resultados en porcentaje 2016-2020	29
14.	Resultados por región años 2016 al 2020	30
15.	Resultados de cromatografía (Año 2020).....	31
16.	Tamizaje del análisis de PCB (2016-2020)	32
17.	Equipos evaluados vs. sospechosos con PCB	33
18.	Pronóstico equipos evaluados para años 2021-2025	36
19.	Análisis cualitativo y semicuantitativo 2016-2020	47
20.	Resultados de pruebas cuantitativas en 2020.....	47

TABLAS

I.	Variables de estudio	XXIII
II.	Aspectos e impactos ambientales.....	12
III.	Matriz de requisitos legales asociados	18
IV.	Tiempos para la gestión de aceite contaminado.....	19
V.	Resultados de análisis semicuantitativos, años 2016, 2017 y 2018	27
VI.	Resultados de análisis semicuantitativos, años 2019 y 2020	28
VII.	Valores para cálculo de pronósticos por año	34
VIII.	Procesos utilizados para la destrucción de PCB	54
IX.	Costos por exportación a un país europeo	60

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
r	Coefficiente de correlación lineal de Pearson
σ	Desviación sobre la media
$^{\circ}\text{C}$	Grados centígrados
x	Número de año
y	Número de transformadores
n	Número total de años
b	Pendiente de la recta
$\%$	Porcentaje
\bar{x}	Promedio
Σ	Sumatoria
T	T de Student, estadística deductiva
i	Valor de $[x, y]$ desde 1 a n
a	Valor que toma la variable dependiente (ordenada)

GLOSARIO

Aspecto ambiental	Elemento de las actividades, productos o servicios de una organización que puede interactuar con el medio ambiente.
Bifenilos policlorados	Contaminantes Orgánicos Persistentes (COP) pertenecientes. Se encuentran en forma de líquido viscoso o resinas, son incoloros hasta tomar un color amarillento, y tienen un olor característico específico. Son insolubles en agua fundamentalmente aquellos que tienen un alto contenido de cloro, son levemente solubles en una alta estabilidad al calor, esta propiedad crece según las cantidades de cloro que tenga la molécula, sólo se descompone a temperaturas mayores de 1,000 °C.
Bioacumulación	Proceso de acumulación de sustancias químicas en organismos vivos de forma que estos alcanzan concentraciones más elevadas que las concentraciones en su medio o en los alimentos.
COP'S	Contaminantes orgánicos persistentes.
COR	Centro Oriente.

Cromatografía	Método físico de separación para la caracterización de mezclas complejas cuyo objetivo es separar los distintos componentes que contienen.
Cualitativo	Ensayo analítico utilizado para identificar o establecer la existencia de cloro que sugiere la presencia de PCB en diferentes matrices sin cuantificar su concentración.
Cuantitativo	Ensayo analítico cromatográfico utilizado para la determinación y cuantificación de la presencia de PCB y medición de su concentración en diferentes matrices.
Estación de residuos	Lugar definido para el almacenamiento de desechos previo a su disposición final.
GEF	<i>Global Environment Facility</i> (Fondo para el Medio Ambiente Mundial).
Impactos ambientales	Cambio en el medio ambiente, ya sea adverso o beneficioso, como resultado total o parcial de los aspectos ambientales de una organización.
Incineración	Es la combustión completa de la materia orgánica hasta su conversión en cenizas, usada en algunos lugares para el tratamiento de residuos.
MARN	Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales.

NFPA	Asociación nacional de protección contra incendios de Estados Unidos (NFPA, <i>National Fire Protection Association</i>).
NOR I	Nor Oriente I.
NOR II	Nor Oriente II.
ONUDI	Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial.
PCB	Bifenilos policlorados.
PPM	Partes por millón.
Semicuantitativo	Ensayo analítico electroquímico de tamizaje, barrido o prueba de preselección, utilizado para medir la concentración de iones Cloruro, y por ende la posible presencia de PCB, en partes por millón en aceite dieléctrico.
SOR	Sur Oriente.
Tamizaje	Método utilizado para seccionar los transformadores acorde a la cantidad de PCB detectado mediante pruebas de laboratorio, dimensionado en partes por millón.

Transformador

Elemento eléctrico que permite aumentar o disminuir la tensión en un circuito eléctrico de corriente alterna, manteniendo la potencia.

RESUMEN

El aceite dieléctrico de los transformadores, reguladores y otros equipos de distribución de energía eléctrica pueden tener contaminantes orgánicos persistentes como los bifenilos policlorados, los cuales son dañinos para el medio ambiente y la salud de las personas que interactúan con ellos.

Se cuestionó por parte del investigador si la Distribuidora de Electricidad de Oriente S.A., del país de Guatemala cuenta con una correcta gestión de desechos, específicamente del aceite dieléctrico contaminado con bifenilos policlorados.

Se estableció la gestión final sugiriendo la mejor opción para la disposición final de los bifenilos policlorados, se identificaron los tiempos acordes a los requisitos legales nacionales y convenios internacionales, se actualizó el inventario de dichos contaminantes, se definió también la mejor manera de almacenarlos y disponerlos de forma responsable y amigable al ambiente.

Para definir la mejor opción en la gestión final se tomaron datos históricos de los resultados de los análisis de laboratorio al aceite dieléctrico desde el año 2016 al 2020, con ello se determinó la cantidad de transformadores con presencia de PCB y se pronosticó la cantidad hasta el año 2025.

Con esa información se analizaron las diferentes metodologías para la disposición final y se concluyó que la incineración es la más eficiente y viable para la distribuidora debido a la poca cantidad de aceite contaminado que

arrojaron las pruebas de cromatografía de gases, siendo estas las más certeras de las 3 realizadas.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

- Contexto general

Las operaciones de las empresas del sector eléctrico, de producción y de servicios en general, han manipulado y operado con varios contaminantes, muchos de ellos pasan desapercibidos, sin embargo, otros han sido catalogados como peligrosos por su potencial impacto hacia la salud y al medio ambiente, esto ha motivado la preocupación a nivel mundial.

Entre estos contaminantes se encuentran los llamados COP's, contaminantes orgánicos persistentes, los mismos pueden no estar identificados, almacenados y gestionados adecuadamente, por desconocimiento de su peligrosidad, o por el desconocimiento en su adecuada operación, manipulación, transporte y almacenaje. De estos contaminantes (COP's), el estudio se enfocó en los bifenilos policlorados, que pueden estar presentes en el aceite dieléctrico, dicho aceite se encuentra en los transformadores de potencia, reguladores, bancos de capacitores, entre otros. Derivado de ello se amplió lo indicado según Astudillo (2014) y Quinto (2018) sobre el manejo técnico y gestión de equipos de desecho a empresas. Para este estudio se consideró un análisis en la empresa Distribuidora de Electricidad de Oriente S.A. del país de Guatemala, empresa que cuenta con transformadores instalados en la red, transformadores dentro de las subestaciones, almacenes y en lugares destinados para los desechos.

- Descripción del problema

Los transformadores de potencia con aceite dieléctrico y presencia de Bifenilos Policlorados (PCB's), que son utilizados actualmente en varias industrias y en empresas del sector eléctrico, no cuentan con una correcta disposición final, cuando son clasificados como transformadores de desecho, normalmente se almacenan en estaciones de residuos y siguen acumulándose con el tiempo, derivado de ello como investigador se cuestiona si en la Distribuidora de Electricidad de Oriente S.A. del país de Guatemala cuentan con la correcta disposición final.

- Formulación del problema

Lo anterior expuesto nos lleva a la siguiente interrogante como pregunta central de este estudio: ¿Cuál debería ser la gestión ambiental para aceite dieléctrico contaminado con bifenilos policlorados (PCB's) acorde a las necesidades de la Distribuidora de Electricidad de Oriente S.A.?

Para responder a esta interrogante se deberán contestar las siguientes preguntas auxiliares:

- ¿Cuánto tiempo se necesita para la eliminación total de productos con presencia de PCB's? ¿Cuánto tiempo resta según convenios internacionales para eliminar los contaminantes orgánicos persistentes del país?
- ¿Cuál es la cantidad de transformadores de la distribuidora con presencia de PCB's? ¿Cuántos transformadores tendrán en el último año para disponerlos según la legislación?

- ¿Cuáles son los métodos más adecuados para el almacenamiento y manipulación de transformadores contaminados con bifenilos policlorados (PCB's) en la Distribuidora de Electricidad de Oriente S.A.?

- ¿Cuáles son los planes adecuados para gestionar los desechos peligrosos con presencia de PCB's de forma amigable al ambiente en la Distribuidora de Electricidad de Oriente S.A.?

OBJETIVOS

General

Establecer la correcta gestión ambiental para aceites dieléctricos con presencia de Bifenilos Policlorados (PCB's) aplicable a la Distribuidora de Electricidad de Oriente S.A. del país de Guatemala.

Específicos

- Indicar con base a los convenios internacionales relacionados a la eliminación total de productos con presencia de PCB's, los tiempos adecuados para el almacenamiento y disposición final de aceite dieléctrico con presencia de PCB's para la distribuidora.
- Identificar el inventario actual de transformadores con presencia de PCB's de la Distribuidora de Electricidad de Oriente S.A. del país de Guatemala.
- Analizar los métodos apropiados para el almacenamiento de transformadores con PCB's en Distribuidora de Electricidad de Oriente S.A.
- Diseñar un plan de gestión ambiental para aceites dieléctricos con presencia de PCB's.

RESUMEN DEL MARCO METODOLÓGICO

Para el desarrollo de la presente investigación fue necesario aplicar de manera lógica, ordenada y organizada los pasos que se realizaron desde el principio hasta el final. La investigación es de tipo descriptiva al analizar e interpretar la información obtenida en el estudio.

El presente trabajo de investigación utilizó un enfoque mixto, debido a que se recurrió a 3 tipos de análisis de laboratorio para poder llegar a los resultados, los tipos de análisis son los siguientes:

- Cualitativo (Pruebas colorimétricas)
- Semicuantitativo (Pruebas de laboratorio con equipo L2000)
- Cuantitativo (Pruebas de laboratorio de cromatografía de gases)

El estudio tuvo un alcance descriptivo, para poder medir un grupo de transformadores de la red de distribución eléctrica (los que han sido desmontados por mantenimiento), interpretar los datos de esa medición, compararlos y concluir las mejores opciones para el tratamiento amigable al ambiente. Para ello se realizó una delimitación geográfica definida en las 5 regiones de oriente de Guatemala, en donde la distribuidora prestó el servicio, descritas a continuación:

- Zona oriente:
 - Sede en Los Esclavos, Santa Rosa
 - Sede en Chiquimula, Chiquimula
 - Sede en Jutiapa, Jutiapa

- Sede en Cobán, Alta Verapaz
- Sede en Santa Elena, Petén

Respecto al diseño del estudio, es considerado como no experimental, debido a que no se interviene directamente con las variables, sino que las mismas ya existen, se miden y se evalúan los resultados. La identificación de las variables es la siguiente:

- Independientes:
 - Ensayo analítico colorimétrico (Prueba cualitativa)
 - Ensayo analítico a través de equipo L2000 (Prueba semicuantitativa)
 - Ensayo analítico de cromatografía de gases (Prueba cualitativa)

- Dependientes:
 - Aceite dieléctrico con presencia de PCB (resultado positivo), mayor o igual a 50 ppm
 - Aceite dieléctrico sin presencia de PCB (resultado negativo), menor a 50 ppm

Las variables de estudio se determinan en la tabla I.

Tabla I. **Variables de estudio**

Variables	Tipo de variable	Definición conceptual	Dimensiones	Subdimensiones	Indicadores	Tipo de variable
Pruebas colorimétricas	Cualitativa	Ensayo analítico utilizado para identificar o establecer la existencia de cloro que sugiere la presencia de PCB en diferentes matrices sin cuantificar su concentración	Colores / PPM	Sospechosos de presencia de PCB / Negativo	Presencia de cloro > a 50 PPM únicamente	Catagórica Ordinal
Pruebas de laboratorio con equipo L2000	Semi cuantitativa	Ensayo analítico electroquímico de tamizaje, barrido o prueba de preselección, utilizado para medir la concentración de iones Cloruro, y por ende la posible presencia de PCB, en partes por millón en aceite dieléctrico	Posibles PPM	Sospechosos de presencia de PCB / Negativo	Potencial presencia de cloro en PPM	Continua
Pruebas de laboratorio de cromatografía de gases	Cuantitativa	Ensayo analítico cromatográfico utilizado para la determinación y cuantificación de la presencia de PCB y medición de su concentración en diferentes matrices	PPM	Positivo (Presencia de PCB) / Negativo	Presencia de cloro en PPM	Continua

Fuente: elaboración propia.

Asimismo, el estudio definió una gestión adecuada del manejo de los contaminantes orgánicos persistentes contenidos en los equipos de transformadores asociados al servicio de distribución de energía eléctrica de las 5 regiones anteriormente mencionadas.

A continuación, se describe de una manera sucinta las técnicas y métodos utilizados divididos en fases.

- Fase 1
 - Desarrollo del marco teórico con apoyo de los equipos y sistemas, se hizo uso de equipos de computación, internet, Microsoft PowerPoint, Microsoft Word, entre otros.
 - Descripción de la información técnica de los bifenilos policlorados y los aspectos legales, para ello se realizaron lecturas de revistas de medio ambiente, manuales de capacitación, se realizaron entrevistas, las cuales se realizaron a personas conocedoras del tema en referencia de manera estructurada, obteniendo información actual de los tiempos requeridos para el tratamiento de los bifenilos policlorados, según la legislación nacional. Así mismo se consultaron las referencias y bibliografía, con relación a los convenios internacionales para enriquecer los fundamentos y las conclusiones.
- Fase 2
 - Mapeo de la región: se utilizó para delimitar el área donde recae la investigación y su exclusividad para el análisis respectivo en la zona de oriente.
 - Trabajo de campo: el investigador fue al lugar de los hechos, para evaluar la totalidad de las existencias de los transformadores de

potencia ubicados en sitio determinado para su almacenamiento temporal.

- Se solicitaron los registros más actualizados con relación al aceite dieléctrico contaminado con PCB's.
 - Se realizaron las pruebas de PCB's a los transformadores pendientes (206 pruebas de 270 transformadores dictaminados como sospechosos).
- Los resultados de las pruebas que fueron concluyentes son confiables debido a que se utilizó el método establecido por el MARN, así también se utilizó un proveedor homologado también por la misma entidad, las pruebas en mención fueron las cuantitativas a través de la cromatografía de gases.
- Se realizó un pronóstico del inventario, se calculó crecimiento anual, media y desviación sobre la media, utilizando métodos estadísticos.
- Asimismo, se realizaron inspecciones en el lugar para determinar las mejores alternativas de almacenaje de residuos peligrosos.
- Se observó la situación actual.
 - Se validó el cumplimiento del estándar.
 - Acorde a los pronósticos realizados se pudo concluir la conformidad con las instalaciones.
 - Se detectaron oportunidades de mejora.

- Se definió el procedimiento de emergencia en caso de derrames de aceite dieléctrico con o sin presencia de bifenilos policlorados, basado en un convenio internacional asociado al tema.
- Fase 3
 - Se planteó cada alternativa para la eliminación de PCB's.
 - Se analizó cada propuesta y se planteó la mejor por medio de la cuantificación de los costos.
 - Se definió el plan de gestión ambiental para los bifenilos policlorados.
 - Los resultados concluyentes para las cantidades bajas de transformadores positivos facilitaron la toma de decisiones.

TÉCNICAS DEL ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

Cuando el investigador obtuvo los resultados tabulados derivados de los análisis actuales e históricos a las variables independientes como pruebas cuantitativas (cromatografía), pruebas semicuantitativas con equipo L2000 y pruebas colorimétricas cualitativas, se procedió a analizar e interpretar dichos resultados, de conformidad a los gráficos y parámetros estadísticos seleccionados.

Se utilizó el gráfico de histograma, representando la frecuencia anual de las variables en forma de barras, con esos datos se utilizó la media para comprender los datos obtenidos en promedio por año, se requirió calcular una ecuación de regresión lineal para poder pronosticar hasta el año 2025 los datos, utilizando el método de mínimos cuadrados. Asimismo, se calcularon medidas de tendencia central y de dispersión, siendo las siguientes: media y desviación sobre la media respectivamente, para evaluar y comprender que tan alejados pueden estar los datos calculados y tener mejor confiabilidad.

También se utilizó el gráfico circular, también conocido como gráfico de pie (o pastel) para ejemplificar la división de las pruebas por la ubicación geográfica (región) con datos obtenidos en porcentajes. Finalmente, en los resultados se realizaron cálculos de porcentajes basados en los equipos contaminados, el número de muestras cuantitativas, las muestras totales y la población general (número total de equipos de la distribuidora).

INTRODUCCIÓN

La presente investigación se refiere a la realización de un estudio sobre la correcta disposición final de transformadores utilizados en la Distribuidora de Electricidad de Oriente S.A., del país de Guatemala. La línea de investigación aplicada fue la gestión ambiental de los tratamientos y estrategias en la gestión de residuos (problemática en la generación de residuos).

Los transformadores previamente mencionados y utilizados en la distribuidora cuentan con aceite dieléctrico para su funcionamiento y algunos de estos transformadores cuentan con presencia de bifenilos policlorados (PCB's), muy utilizados a mediados del siglo XX por su alta estabilidad térmica y su resistencia a la inflamabilidad, sin embargo, posterior a descubrirse los efectos tóxicos a la salud humana, fue prohibida su producción a nivel mundial.

Por lo que una mala disposición final de dichos transformadores podría causar derrames a distinto nivel como al mismo nivel, dependiendo de la ubicación de los transformadores, esto sería un peligro potencial para el medio ambiente y para los riesgos a la salud de todas las personas que pudieran tener contacto de forma directa o indirecta con estos transformadores y/o aceite contaminado o con todo aquello que haya sido contaminado con bifenilos policlorados.

La investigación de esta problemática actual en las distribuidoras respecto del aceite dieléctrico en transformadores con presencia de PCB's, se realizó por el interés de proponer una solución a dicha problemática, una serie de acciones que mitiguen los riesgos a la salud de los trabajadores que de una u otra manera

estén involucrados con dichos equipos. Asimismo, surge alto interés profesional para reducir el impacto ambiental generado por parte de la distribuidora en base a este tema, esto se suma a los compromisos las políticas de los sistemas de gestión, respecto al cumplimiento de la legislación nacional, convenios internacionales y protección a la salud de los trabajadores.

La metodología utilizada para alcanzar los objetivos es la práctica científica, demostrativa, basada en los requisitos legales vigentes, para que la Distribuidora de Energía de Oriente S.A. gestione el proceso de innovación en la implementación de nuevas prácticas y/o tecnologías para el tratamiento de forma segura de los residuos tóxicos que pueden afectar la vida humana, flora y fauna. Para lograr lo anterior expuesto la investigación requirió una investigación científica basada en estudio y evaluación de variables para poder concluir y aportar al planteamiento del problema, previamente descrito.

En el capítulo I, el marco teórico explicará sobre los residuos peligrosos y no peligrosos, los contaminantes y sus propiedades, así también como los peligros que representan de forma general.

En el capítulo II, se comentará acerca de la información técnica sobre los bifenilos policlorados (PCB's), su origen e incidencia sobre el ambiente de Guatemala y el mundo, así como la peligrosidad en su uso, manipulación y transporte.

En el capítulo III de la investigación se describirán los aspectos legales asociados a los bifenilos policlorados PCB's, los convenios internacionales y la legislación del país de Guatemala.

En el capítulo IV, se desea establecer los métodos y procedimientos adecuados para llevar un buen control de los inventarios de transformadores de potencia con presencia de bifenilos policlorados.

En el capítulo V, se dará a conocer la instrucción técnica para el correcto almacenaje de transformadores, su clasificación y etiquetado adecuado.

El capítulo VI, presentará los resultados obtenidos en la investigación y en el capítulo VII, se presentará la discusión de resultados, misma que incluye el plan de gestión ambiental para el tratamiento de los bifenilos policlorados.

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Generación de residuos

Todas las empresas generan residuos derivados de sus operaciones, debido a ello estos residuos deben tener una correcta gestión. En términos generales y basados en la prevención de la contaminación, cada residuo deberá tener un debida identificación, inventario, almacenaje y disposición final amigable al ambiente.

1.2. Desechos no peligrosos

La unidad de seguridad y medio ambiente de la distribuidora considera en su procedimiento general a los residuos no peligrosos como “aquellos que, por su estado físico, no representan daño significativo al medio ambiente y no tiene repercusiones en el ser humano, pero sí pueden causar un incidente laboral” (Seguridad y Medio Ambiente, 2021, p. 8).

Sin embargo, la MYCSA (2020) indica que los desechos no peligrosos “no constituyen una amenaza directa para la salud humana, como sucede en el caso de los residuos tóxicos” (p. 4).

1.3. Desechos peligrosos

Entre ellos encontramos los contaminantes orgánicos persistentes (COP's), de los cuales haremos mención ampliamente en este capítulo a continuación.

Los COP's que son también llamados POP's por sus siglas en inglés (*persistent organic pollutants*), se consideran químicos tóxicos, altamente resistentes a la degradación y que normalmente se adhieren a los tejidos de todos los seres vivos, esto hace que el contaminante pueda transportarse por grandes distancias desde la fuente, por ende, se vuelven una amenaza global para los seres humanos cuando hablamos de salud y medio ambiente.

Los contaminantes orgánicos persistentes cuentan con 4 características comunes: transporte a distancia, bioacumulación, persistencia y efectos adversos. Estas características hacen que sea muy difícil controlar dichos contaminantes de forma efectiva, una vez se encuentren en el ambiente liberados. Derivado de lo anteriormente expuesto se debe tener conciencia de los peligros que conlleva su producción o utilización.

Según GENCAT (2015) sus características son:

- Persistencia: es el tiempo que el compuesto químico permanece en el medio ambiente sin descomponerse o degradarse físicamente (incluida la acción fotolítica de la luz solar), químicamente y/o biológicamente cabe en otras sustancias menos peligrosas. Los COP pueden permanecer años e incluso, décadas antes de degradarse.
- Bioacumulación: se acumulan con el paso del tiempo en los tejidos adiposos de los organismos vivos y se bioamplifiquen a través de la cadena alimenticia.
- Potencial de transporte a gran distancia en el medio ambiente: a través de medios físicos en la fase vapor o al ser absorbido sobre

partículas atmosféricas, o a través de animales migratorios, los cuales se incorporan a la cadena alimenticia de especies superiores.

- Efectos adversos: efectos tóxicos sobre la salud humana y el medio ambiente. Esta característica de los COP es evaluada por los estudios sobre:
 - Vía de exposición: inhalación, ingestión o absorción por piel (vía dérmica).
 - Efecto sobre la salud: muerte; efecto sistémico, inmunológico, neurológico, reproductivo; alteraciones en el desarrollo; efectos genotóxicos, y efectos carcinogénicos. (p. 1)

1.4. Propiedades de los contaminantes orgánicos persistentes

Es importante detallar en los contaminantes los tipos de propiedades o características de estos, las cuales pueden darse en un estado líquido, altamente viscoso, sin color o amarillos, con un olor diferente, se consideran orgánicos, según el manual de capacitación del convenio de Basilea, por ello no se disipan en el agua y son solubles en aceites o solventes orgánicos, no se dañan por iluminación, son muy sensibles al calor y se descomponen a altas temperaturas mayores a 1000 grados centígrados.

1.5. Clasificación de los contaminantes orgánicos persistentes

Los contaminantes orgánicos persistentes (COP), según el Convenio de Estocolmo, se pueden dividir en contaminantes COP intencionales y no intencionales.

Para GENCAT (2015):

Los contaminantes COP intencionales, son los que se utilizan en un proceso industrial o se producen como resultado de éste; hace falta adoptar e implementar medidas de control para reducir o eliminar las emisiones que comportan su producción y uso. Mientras no se disponga de alternativas técnicas aceptables, su producción y uso está prohibida o restringida a ciertas excepciones. (p. 2)

Entre los cuales se pueden mencionar:

- PFOS (ácido perfluorooctano sulfónico)
- PBDE (polibromodifenil éteres)
- PECB (pentaclorobenceno)
- HBB (hexabromodifenilo éter)
- PCB (bifenilos policlorados)

“Los contaminantes COP no intencionales, se originan como subproductos derivados de reacciones químicas o de procesos; que incluye, únicamente, el hexaclorobenzé, el pentaclorobenzé, los bifenils policlorados, las dibenzoparadioxines policloradas y los dibenzofurans policlorados” (GENCAT, 2015, p. 2).

Entre los cuales se pueden mencionar:

- Dioxinas
- Furanos
- Bifenilos policlorados (PCB)

1.6. Peligros y niveles de riesgos al manipular las sustancias peligrosas según la norma NFPA 704

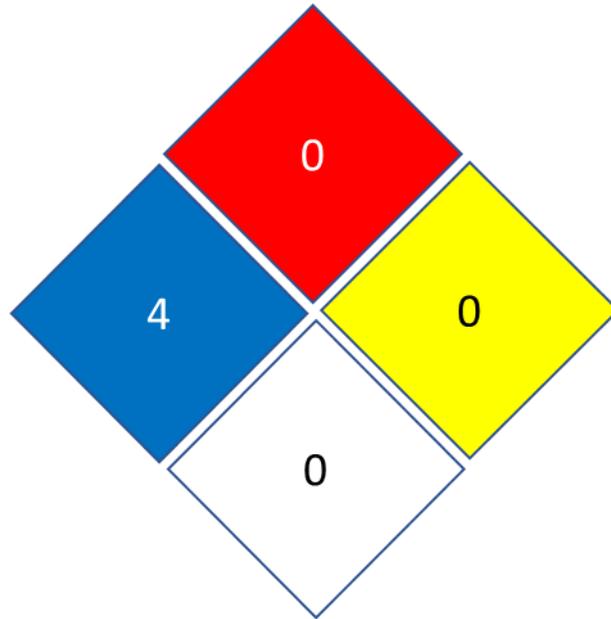
Para este estudio nos basaremos en la norma NFPA 704, la cual describe mediante un rombo los tipos de riesgos de cada sustancia. En esta investigación aplicaremos la norma hacia uno de los contaminantes orgánicos persistentes (COP's) a evaluar, bifenilos policlorados (PCB's).

Figura 1. **Diamante general de materiales peligrosos**



Fuente: EHSQ GROUP (2016). *Norma NFPA 704: significado y características*. Consultado el 25 de marzo de 2020. Recuperado de <http://ehsqgroup.com/noticias/2016/04/12/norma-nfpa-704-significado-y-caracteristicas/>.

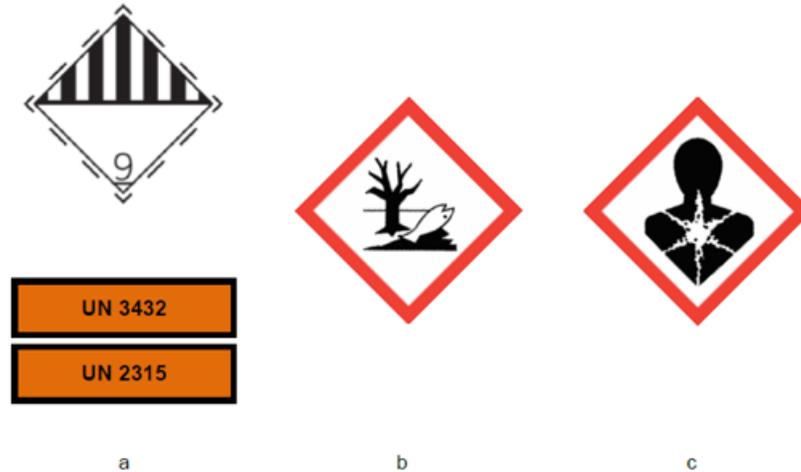
Figura 2. **Diamante generado para aceite con PCB**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft PowerPoint.

Sin menoscabo de lo anterior también se cita la información establecida por el sistema globalmente armonizado, sobre la clasificación y forma de etiquetar los productos químicos, y las recomendaciones asociadas al transporte de mercadería peligrosa, reglamentación tipo de las Naciones Unidas (libro naranja), para los PCB's plantea los siguientes pictogramas.

Figura 3. **Pictogramas del sistema globalmente armonizado**



Fuente: Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales [MARN] (2018). *Guía para la gestión integral de PCB Tomo 8: Embalaje, transporte y almacenamiento de PCB*. Consultado el 10 de marzo de 2021. Recuperado de <https://www.marn.gob.gt/Multimedios/14618.pdf>.

La figura A, refiere al peligro ambiental e indica el código de las Naciones Unidas para PCB's, la figura b, señala peligro al medio ambiente y a especies acuáticas, la figura c, refleja sustancias cancerígenas.

2. INFORMACIÓN TÉCNICA

2.1. Bifenilos policlorados

El grupo de productos químicos conocidos como bifenilos policlorados (PCB) es uno de los doce COP originales cubiertos por el Convenio de Estocolmo. Poseen propiedades que incluyen la longevidad, la absorción de calor y forman un líquido aceitoso a temperatura ambiente que es útil para servicios eléctricos y en otras aplicaciones industriales. (MARN, 2018b, p. 14)

“Químicamente los PCB son compuestos aromáticos, formados de átomos de hidrógeno que pueden ser sustituidos por hasta diez átomos de cloro. Los congéneres de PCB con mayor contenido de cloro son prácticamente insolubles en agua y sumamente resistentes a la degradación” (MARN, 2018b, p. 14). La Organización Mundial de la Salud les ha asignado factores de equivalencia de toxicidad, debido a que exhiben una toxicidad parecida a la de la dioxina.

2.2. Qué son los bifenilos policlorados

Son compuestos aromáticos formados de manera tal que los átomos de hidrógeno de la molécula de bifenilos pueden ser sustituidos por hasta 10 átomos de cloro. Con características tóxicas, no biodegradables fácilmente, persistentes en el ambiente, se acumulan en los tejidos adiposos del cuerpo, son carcinógenos y causan efectos graves en los humanos y animales. Tienen propiedades dieléctricas, no son inflamables y son resistentes a la degradación térmica y química. (MARN, 2018b, p. 7)

Los PCB's aportaron considerablemente al desarrollo de varios países, al mejorar la calidad y la eficiencia de sus redes de distribución eléctrica, lo cual indica que su producción y consumo fue ascendente y en gran medida.

Asimismo, los bifenilos policlorados (PCB) son químicos que tienen mucha resistencia a la degradación biológica, térmica y química, cuentan con muy buenas propiedades de aislamiento, son conductores del calor y no son considerados inflamables.

Luego de décadas de uso, las mismas características que los hicieron tecnológicamente atractivos fueron las que los convirtieron en un importante problema ambiental y sanitario a nivel mundial. En la década de 1970 se evidenció su efecto tóxico para el ser humano, asociado a su posible efecto cancerígeno y su persistencia en el medio ambiente. Como consecuencia de estos efectos fueron prohibidos en Estados Unidos en 1979 y seguidamente en la Unión Europea en el año 1985. Con el avance de las investigaciones se encontró que los PCB presentan el conjunto de propiedades que los clasifican como contaminantes orgánicos persistentes (COP's): tóxicos, persistentes, bioacumulables y se transportan a grandes distancias. (Instituto Uruguayo de Normas Técnicas, 2001, p. 3)

2.3. PCB's en transformadores de potencia en Distribuidora de Electricidad de Oriente S.A. de Guatemala

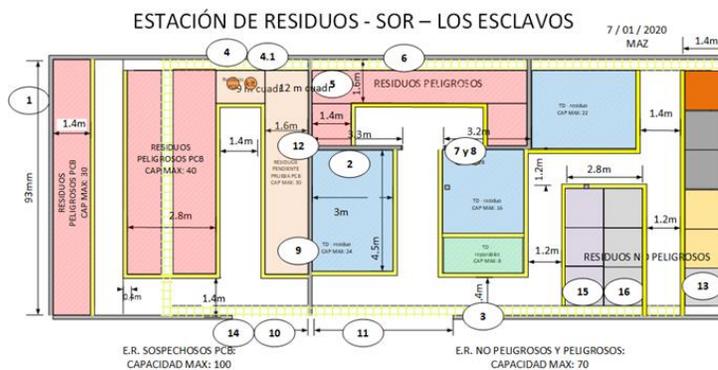
La Distribuidora de Electricidad de Oriente S.A., del país de Guatemala cuenta con aproximadamente 44,500 transformadores de potencia instalados en la red de distribución, este número varía en el tiempo por obras para nuevos suministros o por mantenimiento de transformadores, donde la cantidad o

capacidad de los transformadores pueda variar acorde a las necesidades y aumento del número de clientes.

Adicional a lo anteriormente expuesto, la distribuidora cuenta con 5 estaciones de residuos, que almacenan transformadores de potencia que han sido desmontados de la red y que no pueden ser desechados previo a la autorización del departamento de medio ambiente de la distribuidora. Estos transformadores, por su contenido de aceites dieléctricos y con falta de identificador previo pueden o no estar contaminados con PCB's.

Dentro de las estaciones de residuos se cuenta con una división que separa los transformadores dictaminados como residuos peligrosos (con presencia de PCB's), mismos que por su etiqueta que indica que poseen PCB's o bien que sean considerados como sospechosos de contener PCB, o que hayan sido analizados por el método cromatográfico previamente y confirmados como contaminados con PCB, así también se cuenta con una sección para los transformadores dictaminados como no peligrosos (libres de PCB's).

Figura 4. **Ejemplo del diseño de una estación de residuos**



Fuente: Seguridad y Medio Ambiente (2020). *IT.AMB. Estaciones de residuos.*

Figura 5. **Ejemplo estación de residuos vista desde afuera**



Fuente: Seguridad y Medio Ambiente (2020). *IT.AMB. Estaciones de residuos.*

2.4. **Aspectos e impactos ambientales asociados**

Derivado de las operaciones de la distribuidora se han determinado los siguientes aspectos e impactos ambientales asociados.

Tabla II. **Aspectos e impactos ambientales**

Aspecto Ambiental	Impacto Ambiental
Consumo de agua	Agotamiento de recursos
Consumo de cartuchos de tinta	Contaminación del suelo
Consumo de CD's	Contaminación del suelo
Consumo de combustible	Contaminación del aire/gases de efecto invernadero
Consumo de electricidad	Contaminación del aire
Consumo de lapiceros	Contaminación del suelo
Consumo de productos químicos	Contaminación del agua y suelo
Consumo papel	Agotamiento de recursos

Continuación tabla II.

Descarga de aguas residuales a cuerpos de agua cercanos (sedes no conectadas a drenaje municipal)	Contaminación de agua y suelo
Descarga de aguas residuales a drenaje municipal	Contaminación de agua y suelo
Emisión de gases de efecto invernadero	Contaminación del aire.
Emisión de ruido	Daños a la salud humana y a fauna
Generación de residuos inertes o no peligrosos	Contaminación del suelo.
Generación de residuos peligrosos	Contaminación de agua y suelo. Daño a la salud del trabajador
Generación de residuos peligrosos (Acumuladores)	Contaminación de agua y suelo
Generación de residuos peligrosos (baterías)	Contaminación de suelo y agua
Generación de residuos peligrosos (Chatarra metálica)	Contaminación de agua y suelo.
Generación de residuos peligrosos (Luminarias)	Contaminación de suelo y agua
Generación de residuos peligrosos (Pastillas de frenos con asbesto)	Contaminación del suelo
Generación de residuos peligrosos (Tóner)	Contaminación de suelo y agua
Potencial derrame de aceite dieléctrico contaminado con PCB	Contaminación del suelo. Daño a la salud del trabajador.
Potencial derrame de aceite dieléctrico contaminado con PCB	Contaminación de agua y suelo. Daños severos a salud de humanos y fauna
Potencial derrame de aceite dieléctrico libre de PCB	Contaminación del suelo.
Potencial derrame de aceite dieléctrico libre de PCB	Contaminación de agua y suelo
Potencial fuga de gases (SF6, HCFC 22)	Contaminación atmosférica
Tala y poda de árboles	Afección a biodiversidad, flora y fauna de la región.
Utilización de Techos con Asbesto en áreas de Centros de Trabajo	Daños a la salud humana, contaminación de agua y suelo

Fuente: elaboración propia.

2.5. Ejemplos de contaminación ambiental por contacto con Bifenilos Policlorados (PCB´s)

La contaminación causada por bifenilos policlorados (PCB´s) al medio ambiente incluye a la flora, fauna y al ser humano. Nos basaremos para este estudio en lo relacionado con el ser humano. La contaminación puede darse con las personas a través del contacto con la piel, ingestión o inhalación. Los efectos derivados de estas contaminaciones pueden ser tóxicos, agudos y crónicos.

Para MARN (2018b):

Los efectos agudos son las reacciones fisiológicas que ocurren poco después de la exposición, como, por ejemplo:

- Irritación cutánea (Acné, hiperpigmentación, entre otros)
- Irritación ocular por hipersecreción en las glándulas lagrimales
- Dolor de cabeza y/o fiebre
- Entumecimiento
- Desórdenes del hígado

Los efectos crónicos son las reacciones que ocurren después de una exposición prolongada, por ejemplo:

- Trastornos inmunitarios
- Efectos sobre la reproducción
- Posible carcinógeno
- Trastorno del desarrollo neurológico

Debido a que son pocos solubles en agua, pero muy solubles en grasas, los PCB se acumulan en los tejidos adiposos de nuestro cuerpo. (pp. 18-19)

Estos son algunos ejemplos de contaminación aguda en el ser humano:

Figura 6. **Cloracné producido por contaminación con PCB**



Fuente: MARN (2018b). *Guía para la gestión integral de PCB TOMO 2: Generalidades y conceptos de PCB.*

Figura 7. **Viktor Yushchenko con un cuadro de Cloracné**



Fuente: MARN (2018b). *Guía para la gestión integral de PCB TOMO 2: Generalidades y conceptos de PCB.*

3. MARCO LEGAL

3.1. Aspectos legales

En este capítulo se describirán los aspectos legales de la legislación guatemalteca, así como los convenios internacionales asociados a la gestión de los contaminantes orgánicos persistentes (COP's) que abarca al químico de este estudio, bifenilos policlorados (PCB's)

3.2. Convenios Internacionales

- Convenio de Estocolmo sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes (COP). (Secretaría del convenio de Estocolmo, 2010)
- Convenio de Basilea sobre el control de los movimientos transfronterizos de desechos peligrosos y su eliminación. (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, 2014)

Acorde a lo expuesto en los convenios internacionales, mismos que fueron aceptados por el gobierno de Guatemala, se definió como fecha límite para haber eliminado los bifenilos policlorados el año 2027, para lograr esto y tomando como base la investigación realizada en Distribuidora de Electricidad de Oriente S.A., se definirán los tiempos para cada parte del proceso de la gestión de transformadores con aceite dieléctrico, para lograr cumplir con el requisito previamente expuesto. Los tiempos serán expuestos al final de este capítulo.

3.3. Aspectos legales de la legislación guatemalteca para desechos peligrosos

De acuerdo a lo citado en los documentos consultados, acorde a los acuerdos y convenios que tiene el país de Guatemala se estableció lo siguiente:

El Estado de Guatemala firmó el Convenio de Estocolmo sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes y posteriormente lo ratificó en el año 2008, por medio del Decreto 60-2007, convirtiéndose en uno de los países parte y está obligado a cumplir con la reducción y eliminación de las sustancias listadas en los anexos del Convenio. (MARN, 2018b, p. 27)

A continuación, se detalla dentro de una matriz, los requerimientos legales más relevantes que tienen relación con el estudio de investigación y con la distribuidora:

Tabla III. **Matriz de requisitos legales asociados**

No.	Cuerpo Normativo	Artículos asociados
1	Acuerdo gubernativo 194-2018 Reglamento para la gestión integral de bifenilos policlorados (PCB) y equipos que lo contienen	1 al 60
2	Convenio de Estocolmo sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes (COP)	9, 10, 10.3 y 10.5
3	Convenio de Basilea sobre el control de los movimientos transfronterizos de desechos peligrosos y su eliminación	1, 2, 4, 6, 7, 8, 9, 10, Anexo I, Anexo II, Anexo III, Anexo IV, Anexo V A, Anexo V B, Anexo VIII, Anexo IX

Continuación tabla III.

4	Acuerdo Ministerial No. 465-2011 Plan Nacional de Implementación - Contaminantes Orgánicos Persistentes (COP)	Aprueba Plan Nacional de Implementación
----------	---	---

Fuente: elaboración propia, con información obtenida de MARN (2018b). *Guía para la gestión integral de PCB TOMO 2: Generalidades y conceptos de PCB.*

Derivado de los convenios internacionales y la legislación nacional previamente expuesta en la tabla III, se consideran los siguientes tiempos expresados también en una tabla con orden cronológico para su mejor comprensión:

Tabla IV. **Tiempos para la gestión de aceite contaminado**

Artículo	Acción	Plazo cumplimiento
Artículo 7: Sistema de Registro	Registro de propietarios ante el MARN.	21/06/2019
Artículo 13: Inventario	Actualizar los avances establecidos anualmente en 25 % como mínimo.	1. 28/02/2020 2. 28/02/2021 3. 28/02/2022 4. 28/02/2023
Artículo 18: Identificación	Clasificar según los resultados o parámetros establecidos: Contaminado PCB, Bajo nivel PCB	31/12/2022
Artículo 23: Etiquetado	Etiquetar según la identificación: Azul (no PCB) Amarillo (PCB)	31/12/2022
Artículo 55: Retiro de uso	Los residuos clasificados como contaminados deberán ser retirados de operación y almacenarse temporalmente	31/12/2024

Continuación tabla IV.

Artículo 38: Disposición final	Eliminación de residuos de forma responsable	31/12/2027
--	--	------------

Fuente: elaboración propia con información obtenida del Acuerdo Gubernativo 194-2018 (2018). *Reglamento para la gestión integral de bifenilos policlorados (PCB) y equipos que lo contienen.*

4. METODOLOGÍA PARA LA ADMINISTRACIÓN DE INVENTARIOS

En este capítulo se describe la forma en la que se determina la cantidad de transformadores con aceite dieléctrico que se encuentra dentro de las operaciones de la distribuidora, ya sea en la red eléctrica o en almacenes.

4.1. Instrucción técnica

A continuación, se indica una serie de pasos para identificar el inventario de equipos de transformadores que poseen aceite dieléctrico con potencial contenido de PCB.

- Equipo instalado en la red: el proceso de distribución facilitará anualmente la cantidad de transformadores que se instalarán en la red debido a obras nuevas o mejoras. Ese número se sumará al total instalado en el año previo.
- Equipo nuevo en almacén: el proceso de logística facilitará anualmente la cantidad de transformadores que se encuentran en almacenes y que aún no han sido asignados para obras nuevas, mejoras o mantenimientos. Asimismo, deberá indicar del total de transformadores, el número de transformadores que al ser nuevos incluyan en su etiqueta la declaración de que se encuentran libres de PCB, ejemplificada en el anexo 2 de este documento.

- Equipo usado en almacén: el proceso de mantenimiento de transformadores facilitará el número de transformadores que recibieron mantenimiento y se encuentran almacenados más el número de transformadores que están recibiendo mantenimiento.
- Equipos en estaciones de residuos: el proceso de seguridad y medio ambiente facilitará anualmente la cantidad de transformadores que fueron desmontados de la red y dados de baja, y que por tal razón se encuentran almacenados en las diferentes estaciones de residuos. Esta información contendrá por separado los que están libres de PCB y los que han sido identificados como sospechosos o cuentan con análisis de laboratorio que indique la presencia de PCB, con la etiqueta mostrada en el anexo 2 de este documento.

Para los 4 puntos anteriores, cada proceso indicará la capacidad de los transformadores para un posterior cálculo en litros del aceite dieléctrico. Para el caso de transformadores desechados, el proceso de seguridad y medio ambiente indicará el contenido de litros por cada transformador, debido a posibles derrames, de esta manera se podrá contar con datos de cantidad de transformadores contaminados con PCB's y cantidad en litros de aceite dieléctrico contaminado con PCB.

4.2. Pruebas de PCB's a transformadores de potencia

Siguiendo los lineamientos internacionales y los métodos sugeridos por el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, la distribuidora ha realizado 3 tipos de pruebas al aceite que contienen los transformadores de desecho para determinar si su contenido de PCB supera las 50 ppm o es igual a ello, dado que

ese es el límite requerido por la regulación nacional en cuanto al tema, según el Acuerdo Gubernativo 194-2018, estas se describen a continuación:

- Prueba de análisis cualitativo.

En el año 2010 la distribuidora inició la ejecución de pruebas colorimétricas a transformadore y sin placa y transformadores con placas con año de fabricación igual o menor a 1985.

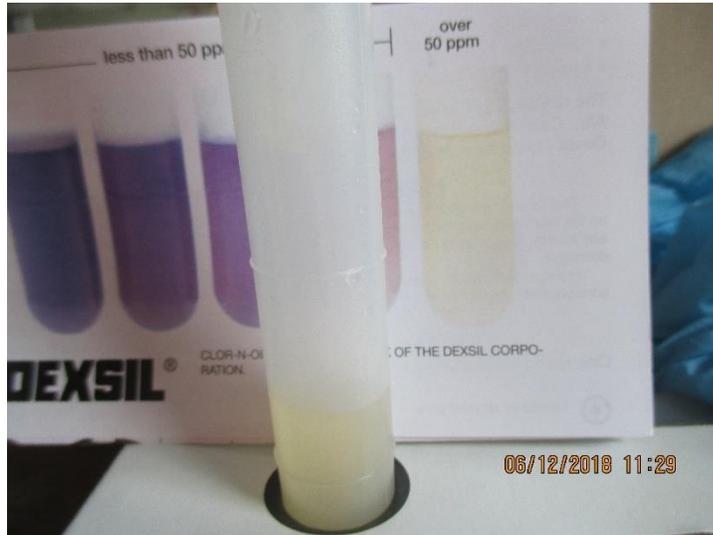
Esta prueba consistía en realizar un ensayo para establecer o descartar si el aceite contenido en los transformadores era sospechoso de tener presencia de PCB, se basa en el método EPA-9097 y consiste en la detección de cloro en la muestra. De acuerdo con MARN (2018b) “el análisis cualitativo de PCB es un ensayo analítico utilizado para identificar o establecer la presencia de PCB en diferentes matrices sin cuantificar su concentración” (p. 6).

Figura 8. **Resultado negativo de análisis colorimétrico**



Fuente: MARN (2018c). *Guía para la gestión integral de PCB Tomo 6: Análisis químico de PCB y etiquetado.*

Figura 9. **Resultado sospechoso de análisis colorimétrico**



Fuente: Fuente: Seguridad y Medio Ambiente (2018). *IT.AMB.01 Ejecución de Pruebas PCB.*

- Prueba de análisis semicuantitativo

En el año 2018 el Proyecto PCB en Guatemala guiado por ONUDI - GEF, apoyó con un proyecto demostrativo a la distribuidora para la ejecución de pruebas a equipos sospechosos de PCB que se encuentran fuera de servicio mediante el uso de equipo de medición denominado analizador L2000.

Esta prueba también utiliza la metodología de la prueba cualitativa, pero su diferencia consiste en la utilización de un electrodo que mide la concentración de iones cloruro, esto conlleva a definir una lectura numérica, traduciendo el resultado a potencial presencia de PCB. De acuerdo también con MARN (2018b) “el análisis semicuantitativo de PCB es un ensayo analítico electroquímico de tamizaje, barrido o prueba de preselección, utilizado para medir la concentración

de iones Cloruro, y por ende la posible presencia de PCB, en partes por millón en aceite dieléctrico” (p. 6).

Figura 10. **Equipo de análisis L2000**



Fuente: [Fotografía de Williams Jiménez]. (Los Esclavos, Santa Rosa. 2019). Colección particular. Guatemala.

- **Prueba de análisis cuantitativo**

En el año 2020 la distribuidora inició el proceso de uso del principal método para el análisis cuantitativo de PCB, también el único método que actualmente es avalado por el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, dicho método “es la cromatografía de gases con detector de captura de electrones, el cual es particularmente sensible a compuestos halogenados. Por lo que puede responder también a otros compuestos orgánicos distintos a los PCB, que contengan cloro u otros halógenos” (MARN, 2016, p. 12).

Asimismo, también el análisis cuantitativo de PCB es un “ensayo analítico cromatográfico utilizado para la determinación y cuantificación de la presencia de PCB y medición de su concentración en diferentes matrices, entre las cuales puede considerarse el aceite dieléctrico” (MARN, 2018, p. 6).

Figura 11. **Imagen del equipo para análisis cuantitativo**



Fuente: MARN (2018c). *Guía para la gestión integral de PCB Tomo 6: Análisis químico de PCB y etiquetado.*

4.3. Recolección de datos

A partir del año 2016, se inició la realización de pruebas semicuantitativas a los transformadores que salen de operación en Distribuidora de Energía Eléctrica de Oriente, dando inicio al seguimiento de transformadores sospechosos, siendo los resultados como se muestran en la tabla V.

Tabla V. **Resultados de análisis semicuantitativos, años 2016, 2017 y 2018**

Localización	Región	Departamento	Total	*2016+	Total	*2017+	Total	*2018+
			2016		2017		2018	
DEORSA	SOR	Santa Rosa	1	1	5	1	19	4
	NORII	Jutiapa	3	3	2	1	10	4
	NORI	Chiquimula	9	9	10	4	20	5
	COR	Cobán	1	1	1	1	12	2
	PET	Petén	7	7	0	0	18	6
TOTAL			21	21	18	7	79	21

Fuente: Azurdia (2020). *Resultados Pruebas PCB.*

De los resultados obtenidos de las pruebas semicuantitativas, se pueden interpretar los datos de la siguiente manera: de los 21 equipos analizados en 2016, 21 fueron sospechosos de PCB, en 2017 de 18 equipos analizados 7 fueron sospechosos y en 2018 de 79 equipos analizados 21 fueron sospechosos.

En resumen, del total de 118 equipos analizados, 49 fueron encontrados como sospechosos de contener PCB, representando estos un 29 % del total de dichos equipos; distribuida la mayor cantidad de ellos en la región NOR I, con 18 equipos, seguido por Petén con 13 equipos, y el resto distribuido en las regiones restantes. El 71 % de los equipos muestreados fue descartado como sospechoso de contener PCB.

A finales del año 2018 (en el mes de noviembre) el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, emite el acuerdo gubernativo 194-2018, lo cual agiliza las pruebas en la distribuidora, siendo que en los años de 2019 y 2020, se realizan mayor cantidad de muestreos.

Tabla VI. **Resultados de análisis semicuantitativos, años 2019 y 2020**

Localización	Región	Departamento	Total 2019	**2019+	Total 2020	**2020+
DEORSA	SOR	Santa Rosa	54	4	333	53
	NORII	Jutiapa	129	20	112	10
	NORI	Chiquimula	134	32	396	41
	COR	Cobán	95	13	217	20
	PET	Petén	83	11	233	17
TOTAL			495	80	1291	141

Fuente: Azurdia (2020). *Resultados Pruebas PCB.*

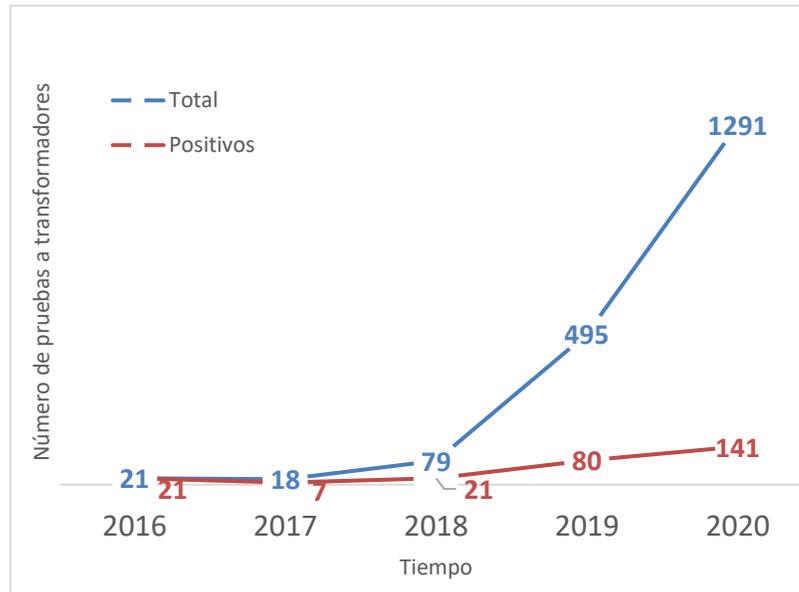
En la tabla anterior, se ve como la cantidad de muestreos se incrementó considerablemente con relación a años anteriores, pudiendo identificar los datos siguientes: En el año 2019 se muestrearon un total de 495 transformadores, de los cuales 80 dieron resultados sospechosos de PCB bajo el análisis semicuantitativo, mientras que en el año 2020 se muestrearon 1,291 equipos teniendo con resultados sospechosos 141.

De un total de 1,786 equipos muestreados, 221 se situaron en la clasificación de sospechosos de contener PCB, representando un 11 % con posible presencia de PCB contra un 89 % que no dieron dicha indicación.

En cuanto a la distribución, 91 de los equipos fueron encontrados en la región NOR I, seguidos por SOR con 63, 41 y 38 en las regiones de PET y NOR II respectivamente, con menor presencia en la región COR con 37 equipos.

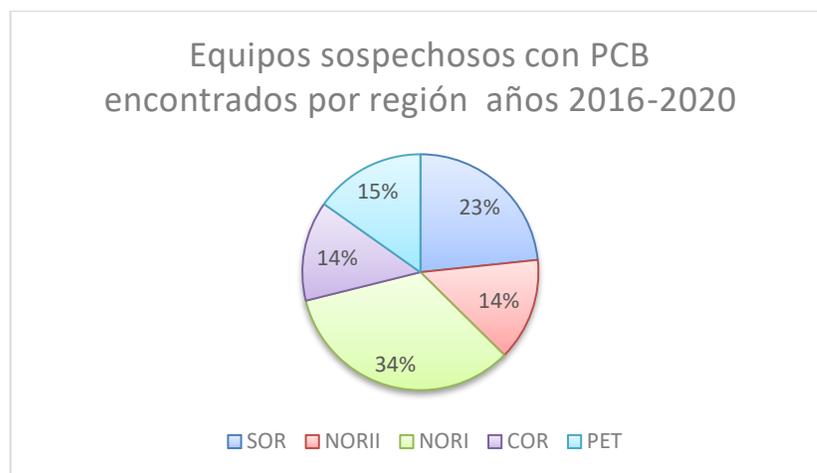
Para poder visualizar de una mejor manera todos los resultados obtenidos durante los años del 2016 al 2020, se presenta el gráfico siguiente:

Figura 12. **Resultado de pruebas en los años 2016 a 2020 DEORSA**



Fuente: Azurdia (2020). *Resultados Pruebas PCB.*

Figura 13. **Resultados en porcentaje 2016-2020**

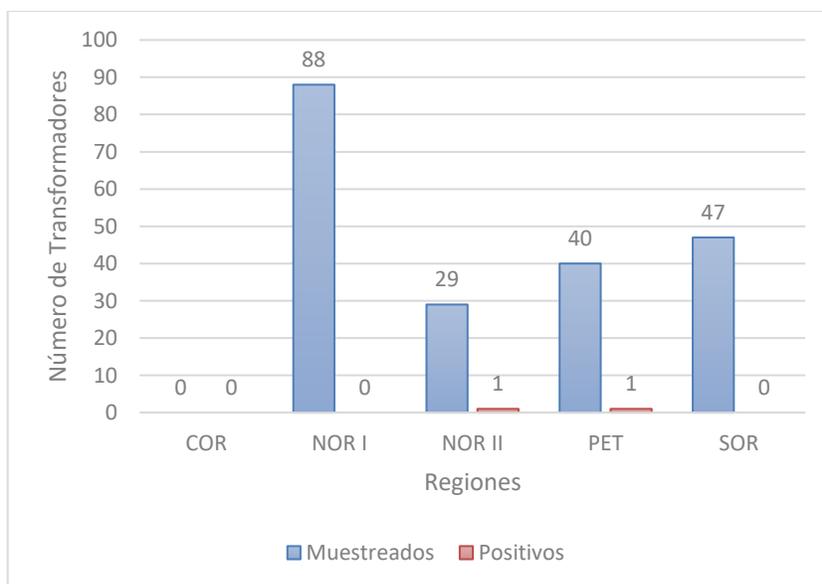


Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

A finales de 2020, con el fin de conocer la realidad sobre los equipos sospechosos, se realizó la toma de muestras, mismas que fueron analizadas en laboratorio certificado en el extranjero para establecer y cuantificar la presencia de PCB y medir su concentración, teniendo como resultado lo siguiente:

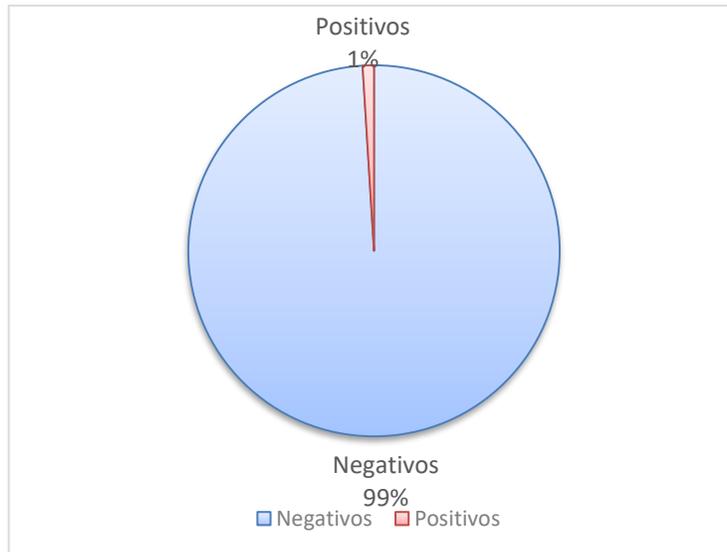
- Transformadores evaluados: 206 de 270 dictaminados como sospechosos
- Transformadores contaminados con PCB: 2
- Porcentaje de transformadores contaminados: 0.97 %

Figura 14. **Resultados por región años 2016 al 2020**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Figura 15. **Resultados de cromatografía (Año 2020)**

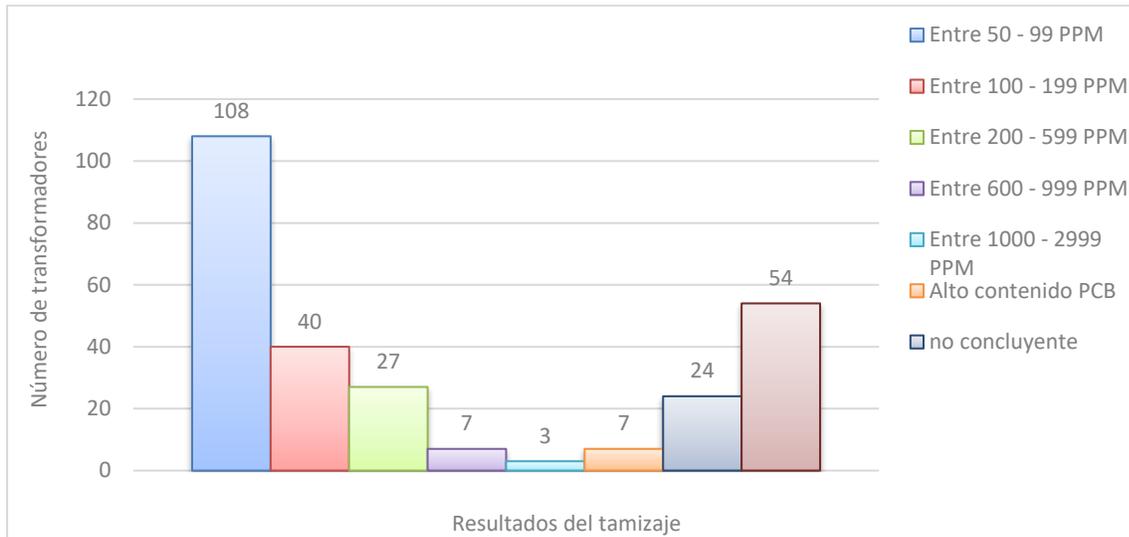


Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

4.4. **Actualización de la información**

Después de la realización de las pruebas se actualizó la información y se vuelve determinante el tamizaje de dichas pruebas para tener claridad de las cantidades de transformadores y su contenido de PCB en partes por millón, estos resultados se muestran en la siguiente figura:

Figura 16. Tamizaje del análisis de PCB (2016-2020)



Fuente: Azurdia (2020). *Resultados Pruebas PCB.*

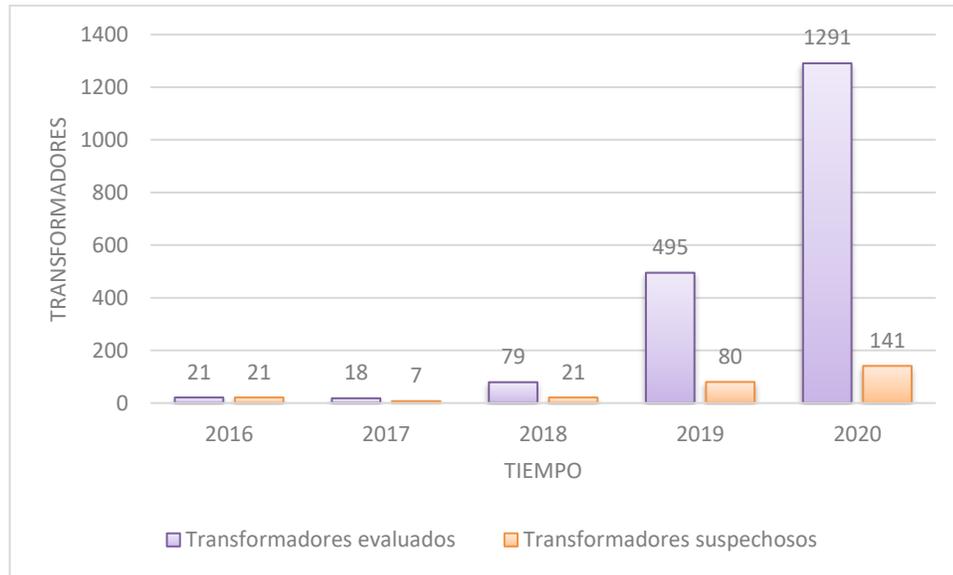
Los datos no concluyente y sospechoso de PCB se obtuvieron de las pruebas colorimétricas (cualitativas).

4.5. Proyección de datos de inventario hasta 2025

Primero se consultaron los datos históricos de los transformadores que han sido desmontados de la red de cada una de las 5 regiones de la Distribuidora de Electricidad de Oriente S.A., y se sumaron, con esa información se utilizó la metodología de regresión lineal para encontrar la ecuación que pronosticó el inventario hasta el año 2025.

Se debe considerar que el cambio de metodología para realizar las pruebas desde 2019 aumentó la cantidad de transformadores evaluados.

Figura 17. Equipos evaluados vs. sospechosos con PCB



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Primeramente, se calculó la cantidad de transformadores evaluados y dictaminados como sospechosos promedio, para ello se utilizó la ecuación:

$$\bar{x} = \frac{\sum y}{n} \quad (\text{Ec. 1})$$

Donde n es el número de años evaluados, y es la cantidad de transformadores evaluados por año.

La línea recta de regresión lineal para el ajuste de los datos sirvió para realizar un pronóstico de transformadores evaluados en un año determinado, dicha ecuación es:

$$y = a + bx \quad (\text{Ec. 2})$$

Donde a es la ordenada y b es la pendiente de la ecuación. Estos datos (a y b) se calcularon a través de las siguientes ecuaciones:

$$b = \frac{n \sum xy - \sum x \sum y}{n \sum x^2 - (\sum x)^2} \quad (\text{Ec. 3})$$

$$a = \frac{\sum y - b \sum x}{n} \quad (\text{Ec. 4})$$

Asimismo, se considera importante para este estudio indicar el crecimiento por año de transformadores evaluados, para ello se utilizó la siguiente ecuación:

$$c = \frac{b * n}{\sum y} \quad (\text{Ec. 5})$$

También, se estimó el error de pronóstico de cada año, para ello se utilizó el cálculo de desviación sobre la media, utilizando la siguiente ecuación:

$$\sigma = \frac{\sum_i^n |y_i - \bar{x}|}{n} \quad (\text{Ec. 6})$$

Para realizar el cálculo de las variables a , b , y c , se utilizaron los valores de la tabla VII.

Tabla VII. **Valores para cálculo de pronósticos por año**

Año	Cantidad				
	X	Y	X ²	Y ²	X*Y
2016	1	21	1	441	21
2017	2	18	4	324	36
2018	3	79	9	6241	237
2019	4	495	16	245025	1980

Continuación tabla VII.

2020	5	1291	25	1666681	6455
Suma	15	1904	55	1918712	8729

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Se utilizaron los datos de la tabla y se calcularon las variables y ecuación, quedando de la siguiente manera:

$$b = \frac{5 \cdot 8729 - (15 \cdot 1904)}{5 \cdot 55 - (15)^2} = 301.70 \quad (\text{Ec. 7})$$

$$a = \frac{1904 - (301.70 \cdot 15)}{5} = -524.30 \quad (\text{Ec. 8})$$

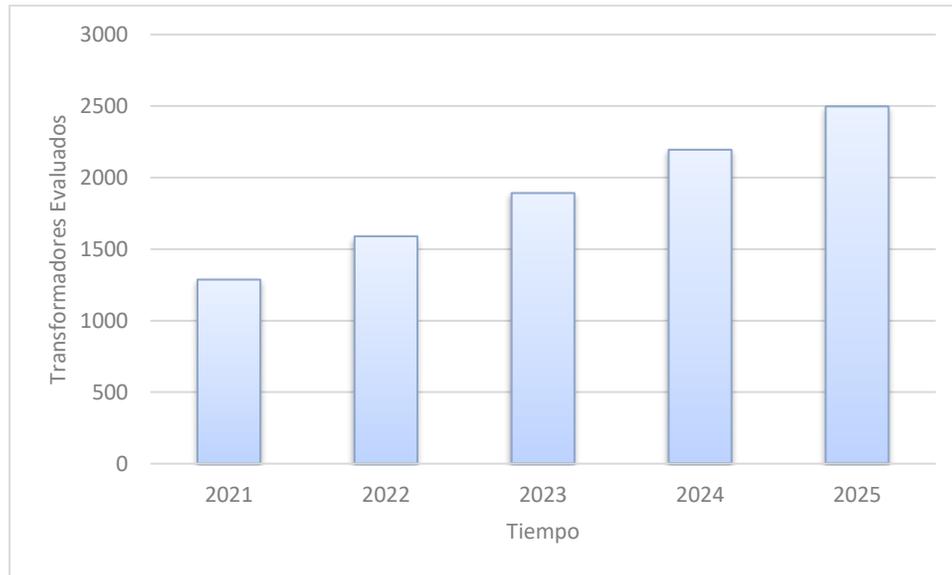
$$y = -524.30 + 301.70 x \quad (\text{Ec. 9})$$

El promedio se calculó y quedó de la siguiente manera:

$$\bar{x} = \frac{\Sigma 1904}{5} = 380.8 \simeq 381 \quad (\text{Ec. 10})$$

El crecimiento anual de transformadores se calculó para los próximos 5 años utilizando la ecuación de regresión lineal anteriormente expuesta y se generó un gráfico expuesto en la figura 18.

Figura 18. **Pronóstico equipos evaluados para años 2021-2025**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Con la información obtenida se estimó un crecimiento anual del

$$c = \frac{301.70 * 5}{1904} = 79.22 \% \quad (\text{Ec. 11})$$

Y se calculó también la desviación sobre la media

$$\sigma = \frac{2048.80}{5} = 409.76 \approx 410 \quad (\text{Ec. 12})$$

Se calculó también el coeficiente de correlación lineal utilizando la ecuación:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n X_i Y_i - \frac{(\sum_{i=1}^n X_i)(\sum_{i=1}^n Y_i)}{n}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n X_i^2 - \frac{(\sum_{i=1}^n X_i)^2}{n}}} \sqrt{\sum_{i=1}^n Y_i^2 - \frac{(\sum_{i=1}^n Y_i)^2}{n}}, \quad -1 \leq r \leq 1 \quad (\text{Ec. 13})$$

Obteniendo el siguiente resultado para el coeficiente de correlación lineal de Pearson:

$$r = 0.87$$

La interpretación que le daremos al coeficiente de correlación lineal de Pearson acorde al resultado $-1 \leq 0.87 \leq 1$ es una correlación positiva alta, a medida que aumentan los años, aumentará el número de pruebas.

También se consideró necesario realizar una prueba de significancia del coeficiente de correlación, para ello definimos lo siguiente:

- Hipótesis nula, $H_0: r = 0$ (no significativo)
- Hipótesis alternativa, $H_a: r \neq 0$ (significativo)

Utilizamos un nivel de confianza de 0.90, debido a que en el transcurso de los años evaluados se tuvo un incremento de los análisis realizados debido a requerimientos del MARN y a procedimientos internos de la distribuidora.

Asimismo, utilizamos un nivel de significancia de 0.10 junto a las siguientes fórmulas para calcular la T de student observada y teórica:

$$T_{Obs} = \frac{r\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}} \quad (\text{Ec. 14})$$

$$T_{teórica} = (\alpha, n - 2) \quad (\text{Ec. 15})$$

Obteniendo los resultados siguientes:

$$T_{Obs} = 3.10 \quad (\text{Ec. 16})$$

$$T_{teórica} = 2.35$$

(Ec. 17)

Derivado de que tenemos un T observado (3.10) el cual es mayor que el valor de T teórico (2.35), rechazamos la hipótesis nula y aceptamos la alternativa, por lo tanto, existe significancia estadística en el coeficiente de correlación de Pearson. Con lo anterior expuesto demostramos que el modelo puede ser utilizado para explicar el comportamiento de los datos.

4.6. Seguimiento

Como parte del programa de mantenimiento, con una frecuencia mensual, la Distribuidora de Electricidad de Oriente S.A. retira transformadores de la red, por ello mensualmente el departamento de medio ambiente realiza inspecciones a los transformadores en las estaciones de residuos, donde realiza pruebas semicuantitativas que le permitirán realizar un tamizaje a través de los resultados obtenidos. Según los resultados, almacena los transformadores sospechosos de contenido con PCB para programar una posterior prueba cromatográfica (que tienen una frecuencia semestral).

La prueba de cromatografía arrojará el resultado final de transformadores contaminados con PCB para su programación de su disposición final.

5. ALMACENAJE DE ACEITE CON PRESENCIA DE PCB'S

5.1. Instrucción técnica en estación de residuos

Para efectos de este estudio se considerarán dos tipos de estaciones de residuos:

- Regional
- Específica para almacenamiento de transformadores con PCB

A continuación, se describe cada una de ellas:

- Regional

Las estaciones de residuos regionales deben estar ubicadas de forma que cada una de las 5 regiones de la Distribuidora de Electricidad de Oriente S.A. pueda almacenarlos sin que dicha estación se sature previo a las recolecciones periódicas del proveedor para tal efecto.

Las estaciones de residuos deberán contar con una sección diseñada y definida para almacenamiento de transformadores de desecho. Contarán también con una sección para residuos peligrosos, que estarán en dicha estación de forma temporal, previo a traslados a la estación de residuos específica para almacenamiento de transformadores con PCB.

- Específica para almacenamiento de transformadores con PCB

La distribuidora debe definir la ubicación de estaciones de residuos peligrosos, diseñadas para almacenar los transformadores dictaminados con presencia de bifenilos policlorados PCB's y otros residuos peligrosos. Estas estaciones deben contar con una licencia autorizada por el MARN y las mismas podrán almacenar los residuos hasta su disposición final.

Estas estaciones de residuos deberán contar con todos los requerimientos para almacenar residuos peligrosos, los requisitos se describen en la sección 5.2.

5.2. Instrucción técnica para estación de residuos no peligrosos

Las estaciones de residuos no peligrosos deben tener contenedores específicos para los desechos retirados de la red, considerados como no peligrosos, ejemplos: cable, aisladores, cruceros, herrajes, entre otros. Contarán con señalización de seguridad industrial, pintura con delimitaciones de áreas, identificación de los espacios, ventilación e iluminación adecuada.

5.3. Instrucción técnica para estación de residuos peligrosos

La sección dentro de las estaciones de residuos deberá cumplir con los siguientes requerimientos:

- Deberá contar con una puerta y candado
- Prohibirá el ingreso de personal no autorizado
- Contará con una pendiente y con canales que dirección en el flujo de líquidos en caso de derrames
- Tendrá un cubeto fuera de la estación de residuos peligrosos

- La capacidad en volumen del cubeto no deberá ser menor a la cantidad potencial de derrame de aceite dieléctrico
- Deberá contar con la señalización de seguridad industrial para la prevención de incidentes

5.4. Aplicación de instrucción técnica en estaciones de residuos

La Distribuidora de Electricidad de Oriente S.A. cuenta con 5 estaciones de residuos, una para cada una de las 5 regiones del oriente del país. Asimismo, cuenta con una estación de residuos / desechos peligrosos diseñada específicamente para almacenar transformadores con presencia de PCB en aceite dieléctrico. Esta se encuentra ubicada en Los Esclavos, Santa Rosa.

En el anexo **3, 4, 5 y 6** se ilustran en una serie de imágenes las 4 estaciones de residuos regionales y el almacenamiento de los transformadores.

5.5. Seguimiento

Derivado de las pruebas realizadas y de la información que se pronosticó en los capítulos previos, se consideró que la capacidad instalada para almacenar los transformadores y otros equipos de desecho considerados como residuos peligrosos por su potencial contenido de PCB's, es suficiente para el almacenaje que requiere la distribuidora. Sin embargo, se requerirá de una serie de pasos a cumplir para asegurar que el almacenaje se encuentre debidamente realizado, controlado y sin comprometer la salud del personal asociado.

Pasos para el seguimiento del almacenaje:

- Inspecciones a las estaciones (frecuencia mensual)
 - Validación del correcto estado de la señalización
 - Validación del uso de EPP al personal que ingresa:
 - Equipo de protección personal
 - ✓ Guantes de nitrilo
 - ✓ Lentes de protección contra impactos
 - ✓ Calzado dieléctrico
 - ✓ Casco
 - ✓ Mascarilla
 - Inspección de derrames
 - Toma de fotografías
 - Cantidad de equipos contaminados físicamente
 - Cruce de información física versus registros digitales
 - Espacios libres y con flujos de ventilación
 - Que no se encuentre superada la capacidad instalada
 - Oportunidades de mejora

5.6. Medidas de seguridad en caso de derrames

Para este estudio se consideró relevante indicar actividades básicas a considerar en caso de derrames, los cuales pueden presentarse de dos maneras (derrames fríos y calientes), para cada uno de ellos, de acuerdo al manual de capacitación del Convenio de Basilea de se detallarán los pasos a seguir en la corrección del derrame frío y la prevención de derrames calientes (con temperatura mayor a 300 grados centígrados):

Según el Convenio de Basilea (2003):

Medidas en caso de accidente por derrames fríos:

- Activar alarma de brigada de seguridad (únicamente pueden participar quienes estén capacitados para manipular equipos peligrosos, especialmente PCB).
- Delimitar un perímetro de seguridad, y ventilar las instalaciones
- Limitar el derrame, utilizando absorbentes tipo arena, cemento o aserrín.
- Limpiar el piso, si es hermético raspar completamente y usar vapor para ablandar los PCB, en ningún caso se deberá utilizar una llama sin protección. No utilizar solventes clorados sino únicamente detergentes suaves como el líquido lavaplatos.
- Si el piso no fuere hermético, deberá ser removido incluido, concreto, tierra.
- Si existe riesgo de contaminación de las aguas subterráneas se deben tomar inmediatamente medidas apropiadas para limitar, asentar y finalmente eliminar la contaminación.
- Todos los elementos utilizados (aguas de lavado, tierra con niveles de contaminación superiores a ppm, equipo de seguridad, vestimenta, otros) deben ser colocados en contenedores herméticos para su destrucción posterior en sitio autorizado.

Medidas de prevención de accidentes por derrames calientes:

- Prohibir la acumulación de materiales inflamables (papel, cartones, trapos, pinturas, solventes) en los alrededores.

- De ser posible emplear tabiques refractarios con una clase de resistencia al fuego de dos horas, al igual que la puerta, con el objeto de proteger de incendios externos.
- Informar a los bomberos de la presencia de equipos con PCB. (p. 41)

Adicional a lo anterior expuesto se recomienda prevenir incidentes considerando las siguientes prohibiciones:

- Artefactos productores de llama, como encendedores y otros
- No uso de celular en instalaciones donde se almacena equipo con PCB
- No fumar
- No ingerir alimentos en áreas de almacenamiento de PCB

6. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

6.1. Definición de tiempos con los que cuenta la distribuidora para disponer los bifenilos policlorados

De conformidad con el Convenio de Estocolmo, los países tienen hasta el año 2025 para parar el uso de PCB, mientras que deben contar con áreas específicas y seguras para su almacenamiento temporal en tanto se procede a la eliminación de las cantidades contenidas por cada país.

Guatemala por medio del acuerdo gubernativo 194-2018, con el afán de poder cumplir con lo indicado en el Convenio de Estocolmo, estableció plazos para cumplimiento gradual, siendo que para el año 2019, todos los poseedores de equipo debían formar parte del registro de propietarios ante el MARN, esta fase ya ha sido cumplida por la distribuidora. Así mismo se establece como plazo de actualización de dicho registro el año 2023, para este año se espera que se cuente con los datos concretos de la situación de cada empresa, para lo cual la distribuidora se prepara y actualiza mensualmente su base de datos.

Así mismo, la legislación indica que para el año 2022, se debe etiquetar los contenedores o depósitos indicando la existencia o no de PCB. Este es un proceso que ya se está realizando, conforme se avanza con los muestreos y análisis del aceite dieléctrico. Para el año 2025, se ha establecido la prohibición para Guatemala en cuanto al uso de equipos, recipientes o sustancias con contenido de PCB, es por ello que se hace necesario agilizar el inventario, dado que los resultados de los análisis que se vienen realizando desde el año 2016, permitirá discriminar el equipo con contenido de PCB y los equipos que no lo

posean, estos últimos que sean debidamente etiquetados, pueden seguir siendo utilizados, ya que cuentan con la garantía de estar libres de PCB.

De acuerdo con estimaciones de este informe utilizando la técnica estadística de regresión lineal y las medidas de dispersión, se tiene una media de pruebas anuales de 381, con un crecimiento anual en muestreo de transformadores para los próximos 5 años del 79.22 %, esperando en ese período de 5 años haber muestreado e identificado equipo con o sin PCB de un total de 9,447 transformadores, con una desviación sobre la media de 410.

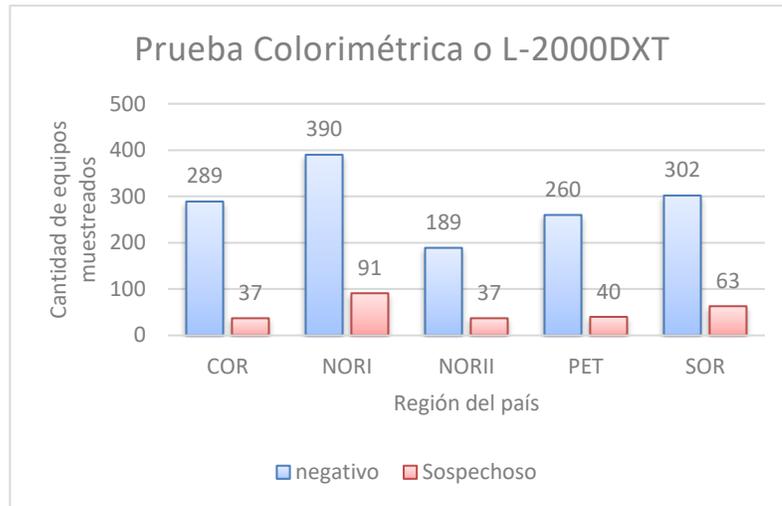
Esta cantidad es bastante conservadora, al considerar la cantidad de los equipos con que cuenta la distribuidora, por lo que surge la necesidad de implementar métodos alternos para agilizar la capacidad de muestreo, para así poder cumplir con los tiempos establecidos, y estar preparados para la fecha máxima de eliminación total de PCB.

De acuerdo con los resultados obtenidos, los equipos con presencia de PCB son mínimos, según los datos de análisis cuantitativo del 2020, únicamente del 1 %, por lo que se presume el porcentaje esperado de contenido de PCB, sea bajo, comparado con los pronósticos que planteaban los análisis semicuantitativos.

6.2. Inventario de transformadores sospechosos y confirmados con presencia de bifenilos policlorados

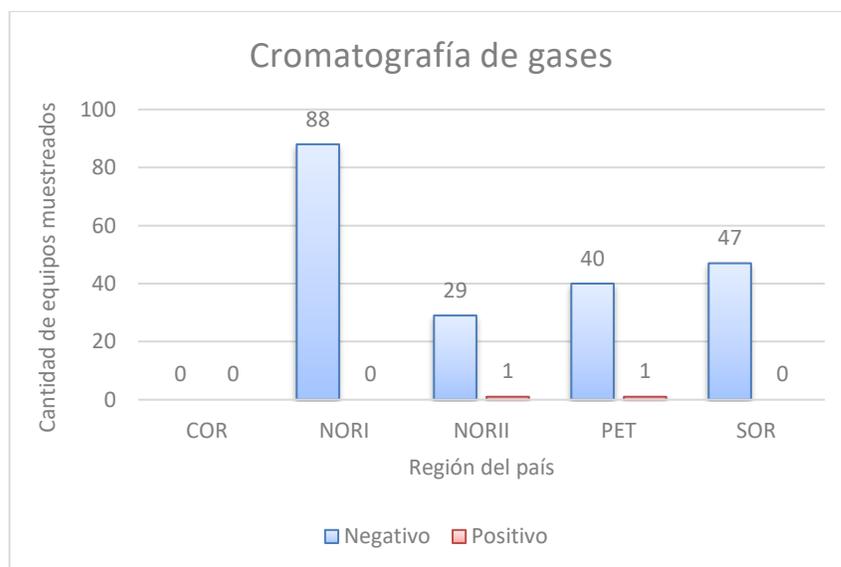
Con base a las 1,904 pruebas realizadas se obtuvo que desde al año 2016 al 2020 realizando los tipos de pruebas cualitativas, semicuantitativas y cuantitativas (cromatografía) se obtuvieron los siguientes resultados divididos por cada una de las cinco regiones:

Figura 19. **Análisis cualitativo y semicuantitativo 2016-2020**



Fuente: Azurdia (2020). *Resultados Pruebas PCB.*

Figura 20. **Resultados de pruebas cuantitativas en 2020**



Fuente: Azurdia (2020). *Resultados Pruebas PCB.*

De acuerdo con la información obtenida de los gráficos anteriores, especialmente observando los datos del análisis cualitativo y semicuantitativo, el resultado indica contar con mayor cantidad de equipo sospechoso de contener PCB en la región NOR I, por identificar presencia de cloro en un total de 91 equipos.

Sin embargo al realizar los análisis cuantitativos por medio de cromatografía de gases, los resultados toman otra tendencia, ya que ninguno de los transformadores de NOR I, fueron identificados con contenido de PCB, sino que los 2 equipos encontrados pertenecen a las regiones NOR II y PET, por lo que los resultados de los análisis cualitativos y semicuantitativos, no pueden ser tomados como concluyentes, sino que la verdadera referencia debiera ser los análisis cuantitativos, porque proveen de información más realista.

La importancia de esto porque de acuerdo con los resultados del inventario, todo contenido de PCB (en este caso aceite dieléctrico y sus contenedores), deberá ser eliminado, lo cual puede representar una gran inversión económica, si no se identifica de la forma correcta.

6.3. Del almacenamiento de transformadores sospechosos y con presencia de bifenilos policlorados

La Distribuidora de Electricidad de Oriente S.A., cuenta con 5 regiones, cada una de ellas tiene una estación de residuos. La estación de residuos de la región Sur Oriente (SOR) tiene autorización del MARN para almacenar residuos peligrosos. Las estaciones de residuos almacenan de forma temporal los residuos (peligrosos y no peligrosos) para después de sumar cantidades importantes, coordinar con empresas autorizadas su tratamiento y disposición final.

Dichas estaciones de la distribuidora tienen una distribución estándar en cada una de ellas, con una sección para transformadores con canaletas y cubeto para la contención de derrames, tomando en consideración que una de las características que acompañan a los PCB es que puedan estar contenidos en equipos antiguos, que por el tiempo de uso pueden sufrir daños en estructura física, pudiendo ocasionar algún tipo de derrame.

Asimismo, las estaciones de residuos cumplen los requisitos mínimos de seguridad y medio ambiente, para proteger al personal de riesgos a la salud; estando el personal asignado al área debidamente capacitado de los materiales y riesgos de su mala manipulación. La correcta identificación de equipos con PCB ayudará a no saturar las estaciones de residuos posiblemente con equipo sospechoso, pero que luego puede ser descartado como tal.

6.4. De la gestión ambiental final de carcasas y de aceite dieléctrico contaminado con bifenilos policlorados

En la actualidad la distribuidora cuenta con un plan de gestión de desechos ampliamente responsable con el ambiente, sin embargo, dicho plan no ha concluido y el presente estudio sugiere mejoras a dicho plan, esto debido a la continua acumulación de aceite dieléctrico contaminado, esta tendrá su finalización cuando se terminen los muestreos a los transformadores que aún se encuentran instalados en la red de distribución, mismos que deben realizarse acorde a los tiempos en los convenios indicados en el capítulo 1.

Para la correcta gestión final de desechos peligrosos como aceite dieléctrico contaminado de bifenilos policlorados (PCB), se cuentan con alternativas de dechlorinación química, oxidación en agua, reducción química en fase de gas, biorremediación e incineración. La distribuidora actualmente no ha definido una

de estas opciones como parte de sus procedimientos, sin embargo, la presente investigación determinó la incineración como la opción más viable y la más eficaz, con mayor costo por requerir un envío transfronterizo con destino final en países europeos, cumpliendo con permisos especiales con el MARN y los convenios de Estocolmo y Basilea para operaciones de trasvases y de movimientos internos.

Sin embargo, el costo alto es viable para la distribuidora acorde a los presupuestos actuales, debido a la poca cantidad de aceite dieléctrico y carcasas contaminadas con presencia de bifenilos policlorados.

7. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

7.1. Cumplimiento de los tiempos establecidos para el tratamiento de los PCB's

Para el caso puntual de la empresa Distribuidora de Electricidad de Oriente S.A., los tiempos establecidos son bastante exigentes y difíciles de cumplir, dada la cantidad de transformadores con aceites dieléctricos que aún se encuentran en operación; el desmontar dichos equipos y sacarlos de operación, o tomar muestras en su ubicación solamente por su condición de sospechosos, puede incrementar los costos y volver la actividad más riesgosa; por la constante interacción.

Sin embargo, se debe acelerar el proceso para el cumplimiento de los tiempos establecidos, buscando alternativas, almacenando y resguardando aquellos equipos de los cuales ya se tenga la certeza de que contienen aceite dieléctrico con PCB, y gestionar con empresas autorizadas su destrucción final.

7.2. Equipos contaminados de bifenilos policlorados

De un total de 1698 pruebas realizadas, haciendo uso de los 2 tipos de pruebas (colorimétricas cualitativas y colorimétricas semicuantitativas) desde 2016 a 2020, se detectaron 270 transformadores como sospechosos equivalentes a un 15.90 %.

De los 270 en el año 2020 se tomó una muestra de 206 (76 %) para realizar pruebas cuantitativas (cromatografía), la finalidad de la distribuidora es realizar el

100 % de pruebas de cromatografía a de los equipos dictaminados como sospechosos para que la muestra sea totalmente confiable, sin embargo, debido al presupuesto asignado a la Distribuidora de Electricidad de Oriente S.A. para el año 2020 se tendrá que realizar el complemento (24 %) en el año 2021.

De las pruebas de cromatografía realizadas (cuantitativas) salieron 2 transformadores dictaminados con presencia de PCB, equivalente al 0.97 %, que arroja como resultado un 0.12 % del total de pruebas realizadas y un 0.0044 % del total de transformadores de la distribuidora, descartando un 99.03 % de los equipos anteriormente catalogados como sospechosos.

Tomando el promedio la cantidad de litros que se contabilizaron de los transformadores de la distribuidora de oriente que fueron parte del muestreo de este estudio, se obtuvo como media 68 litros de aceite, valor que se considerará como estándar por transformador, derivado de ello se tiene la certeza hasta este momento de un total de 136 litros de aceite dieléctrico con contenido de PCB y con una probabilidad de aumentar a 884 litros considerando el pronóstico realizado hasta el año 2025, cantidad que se tiene la obligación de eliminar antes del año 2028; dato que podrá ir variando e incrementándose a medida que se intensifiquen las pruebas o análisis de tipo cuantitativo.

Lo anterior expuesto indica que el número de equipos contaminados y el volumen de aceite (en litros) es poca y no representa costos altos para su disposición final.

7.3. Cumplimiento de estándares de almacenaje de equipos contaminados con PCB's

Después de realizar el pronóstico utilizando una ecuación de regresión lineal para determinar la cantidad de transformadores a desmontar de la red que requerirán pruebas de PCB y que deberán ser almacenados, se identifica que los 9,447 pronosticados (2021-2025), podrán ser almacenados utilizando la metodología actual descrita en este estudio, sin embargo, conforme se vayan obteniendo los datos reales, podría ser necesario reclasificar internamente el área, actualizando y redistribuyendo el espacio para equipo sospechoso de contener PCB, y otro espacio específico y rotulado para equipo con PCB comprobado con análisis de laboratorio (cromatografía), donde se ejecutarán los controles para evitar derrames, fugas y/o contacto con trabajadores.

Respecto al volumen de aceite y transformadores contaminados, considerando que el 0.97 % puede salir con una concentración arriba de 50 ppm, las actuales estaciones de residuos tienen la capacidad de almacenar y controlar los transformadores dictaminados con presencia de PCB.

7.4. Plan de gestión ambiental para bifenilos policlorados

Para poder llevar a cabo una gestión integral de los PCB's se necesita completar el ciclo, estableciendo la metodología para el tratamiento o eliminación final del aceite dieléctrico y del equipo que lo contiene, evaluando la alternativa más viable desde el punto de vista tecnológico, ambiental y de costos para la distribuidora.

7.5. Tecnológicas analizadas para tratar y/o destruir PCB's

El tratamiento o eliminación de los PCB's cuenta con diversas alternativas, que han sido empleadas a nivel internacional, validadas por el Convenio de Estocolmo y Basilea, en caso de movimientos transfronterizos.

Existen para ello procesos químicos, térmicos, físicos y biológicos utilizados para la eliminación segura y no contaminante de los PCB. Dentro de las tecnologías más utilizadas se encuentra la tecnología de la incineración, la dechlorinación, oxidación en agua, reducción química en fase de gas y biorremediación. A continuación, se incluye un cuadro comparativo de dichas opciones:

Tabla VIII. **Procesos utilizados para la destrucción de PCB**

Proceso	Ventajas	Condiciones de Operación	Desventajas	Aplicabilidad
Tratamiento térmico	Sistema de flujo continuo, amplia aplicabilidad y eficiencia de destrucción	800 °C <T< 1200 °C Presiones bajas. Tiempos de residencia del orden de segundos	Costo elevado, alta temperatura. Emisión de gases tóxicos, PCDDs, PCDFs, N/SOx	Residuos sólidos y líquidos, suelos contaminados
Oxidación en agua bajo condiciones críticas	Sistema cerrado de flujo continuo y alta eficiencia de destrucción con escasa formación de gases tóxicos	400 °C <T< 600 °C P>200 atm. Tiempos de residencia del orden de segundos-minutos	Alta corrosión, condiciones de presión y temperatura altas	Residuos líquidos

Continuación tabla VIII.

Declorinación química	Sistema de flujo continuo operado a baja temperatura y presión	Uso de catalizadores, hidrógeno, sodio	Baja eficiencia de destrucción. Costo elevado	Aceite contaminado con PCB
Reducción química en fase de gas	Sistema de flujo continuo con alta eficiencia de destrucción	Alta temperatura	Usa hidrógeno, riesgo de explosión, costo elevado	Aceite contaminado con PCB
Biorremediación	No hay subproductos. Condiciones ambientales. Aplicable a grandes extensiones de tierra	Temperatura y presión ambiente	Baja eficiencia de destrucción. Proceso muy lento. Inactivo para Orto-PCB	Suelos contaminados

Fuente: elaboración propia con información obtenida de Ministerio de Ambiente y desarrollo Sostenible (2015). *Manual para la Gestión Integral de Bifenilos Policlorados - PCB. No. 6. Manejo ambientalmente racional de equipos y desechos contaminados con PCB*

7.6. Alternativas tecnológicas disponibles, más cercanas con respecto de la ubicación geográfica de la empresa Distribuidora de Electricidad de Oriente S.A.

Atendiendo a las medidas de prevención, así como a las mejores técnicas disponibles, indicadas por el Convenio de Estocolmo, se deben analizar las opciones geográficas más cercanas al punto de generación de los residuos, para el tratamiento o disposición final de los equipos desechados y contaminados en este caso con PCB.

A este respecto puede indicarse que no existen alternativas cercanas que puedan brindar dichos servicios de descontaminación y/o destrucción, sin embargo, se pueden encontrar empresas que realizan la gestión para el traslado de desechos con PCB hacia países principalmente del continente europeo, a lugares y sitios autorizados, con tecnología apropiada y certificada para dichos fines, en armonía con los lineamientos del Convenio de Estocolmo.

Así mismo se debe recordar que en estos casos, todo movimiento debe cumplir además de lo indicado por el Convenio de Estocolmo, con lo establecido en el Convenio de Basilea, para el control de los movimientos transfronterizos de desechos establecidos como peligrosos, esto para garantizar procesos ambientalmente seguros.

Se requiere de controles técnicos muy específicos en cuanto al aseguramiento para procesos seguros de destrucción, así como del acompañamiento normativo, razón por la cual, en la región, se carece de dichas alternativas.

7.7. Procedimiento

Por lo indicado en el numeral anterior, en Guatemala se cuenta con empresas que gestionan los procesos de destrucción y que sirven de puentes entre el propietario de desechos contaminados con PCB y la alternativa de destrucción. Entre ellos pueden mencionarse:

- SEM TREDI – REPELSA
- SETCAR –REPELSA
- VEOLIA – BIOTRASH Y
- SUEZ-SCRAPEX

Estas empresas se constituyen en el contacto entre ambas partes, y además realizan un asesoramiento sobre las gestiones regulatorias y de permisos que son requeridos para el movimiento.

Debido a los volúmenes y condiciones propias de los contenedores, los movimientos se realizan por medio de embarques en contenedores que deben cumplir con todas y cada una de las disposiciones técnicas del Convenio de Estocolmo y Basilea, principalmente, para garantizar la seguridad de los operarios sobre la manipulación de desechos peligrosos.

En primer lugar se debe comunicar a la autoridad ambiental (MARN) sobre la intención de realizar un embarque, y cumplir con proveer de toda la información necesaria sobre cantidades a movilizar, embalajes, etiquetado, países en tránsito, país destino, empresa destino, tipo de tratamiento y/o proceso de eliminación, entre otros, con ello Guatemala debe notificar a la Secretaría del Convenio de Basilea la intención del movimiento y notificar adicionalmente a cada país donde atracar la embarcación, pero no habrá desembarque; y país donde será el desembarque final.

7.8. Trasvase de aceite dieléctrico

En los casos en que sea necesario realizar el trasvase de aceite contaminado con PCB, debe considerarse que todo equipo que se utilice para el efecto deberá manejarse posteriormente como contaminado; el uso de bombas metálicas no es recomendable, a menos que dichas bombas sean exclusivas para dicho fin; el peligro radica en la contaminación cruzada, es decir que equipos no contaminados o con mínimo contenido de PCB, sea alterado y contaminado con altos niveles de PCB.

Las bombas de tipo peristáltico y bombas tipo sifón, son equipos recomendados que pueden ser utilizadas en procesos de trasvase de PCB.

En el caso que para el movimiento se prefiere que los transformadores vayan drenados, el trasvase del aceite dieléctrico contaminado con PCB podrá ser a toneles, tambores o bidones de acero, que sean totalmente sellados, es decir que su tapa sea no removible, embalados de conformidad con las disposiciones de Naciones Unidas para el efecto, etiquetados de acuerdo con su contenido, así como garantizar que no hayan fugas o pérdidas de aceite, por lo que además se debe disponer de bandejas o sistemas de contención que garanticen una contención de 1.25 veces el volumen del líquido contenido.

7.9. Envío a proveedor certificado

Como se indicó en el numeral 7.4.3, todo envío debe contar con un respaldo de la Autoridad Ambiental del país, en el caso de Guatemala esta autorización la otorga el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, quien además se encarga de verificar que todo envío sea realizado por proveedores de servicios registrados, y que el manejo sea notificado a la secretaría del convenio, para garantizar su destrucción y/o eliminación final, de forma ambientalmente racional.

De todos es conocido que la normativa internacional a nivel de países de Europa se encuentra con un grado mayor de desarrollo que los países de la región centroamericana, al igual que sucede con países como Japón y otros; por tal razón la mayor cantidad de empresas certificadas para el proceso de destrucción y eliminación, cuenta con los permisos y autorizaciones de sus países respectivos.

Sin embargo, previo a cualquier embarque de desechos, debe solicitarse la licencia de autorización de sus autoridades ambientales, como aval de la Secretaría de Convenio, a fin de asegurar una gestión racional y ambientalmente segura.

7.10. Monitoreo y seguimiento

La gestión final debe contar con controles para el monitoreo y para dar seguimiento al cumplimiento de cada uno de los puntos en su gestión, dichos controles auditarán al inventario y su actualización, supervisarán el proceso de almacenaje de residuos peligrosos con una frecuencia mensual, se validará la continuidad de pruebas a los transformadores con la frecuencia establecida (mensual) y se documentará de conformidad la disposición final cada vez que se realice. Todo lo anteriormente expuesto con un monitoreo continuo que asegure el cumplimiento de los tiempos establecidos en el capítulo 3 de este estudio.

7.11. Costos

Tomando en consideración lo discutido en los numerales anteriores de este capítulo, sobre tecnologías disponibles para la destrucción y eliminación de aceites contaminados con PCB, los lugares o sitios donde estos se encuentran, las características y requisitos para el envío, factores de seguridad, equipos y tecnologías que se requieren, así como las garantías sobre la no transformación en otras sustancias COP al momento de su eliminación (sustancias no intencionales, tipo dioxinas y furanos), se deduce que el costo de eliminación conlleva su consideración previa.

Tomando como referencia datos históricos sobre otro caso de exportación de equipos contaminados como carcasas, toneles, sólidos contaminados y el

aceite con PCB, exportación dada de ciudad Guatemala hacia una empresa ubicada en Europa, el costo estimado indicado en la tabla IX es de:

Tabla IX. **Costos por exportación a un país europeo**

DESCRIPCIÓN	P/U	USD	UNIDAD
Transformadores contaminados con PCB, (carcasas)	5.55		kg
Aceite contaminado con PCB's, (tonel de aceite)	3.33		kg
Sólidos contaminados con PCB's (Tonel EPP)	3.33		kg

Fuente: Orozco (2016). *Factura por Tratamiento aceite y carcasas contaminadas con PCB.*

El tipo de cambio consultado en el Banco de Guatemala el día 24 de septiembre de 2021 es de 7.73690 dólares.

Estos datos nos indican que el costo de deshacerse de forma ambientalmente racional, y de completar la gestión integral de los residuos contaminados con PCB, es sumamente alto, sin embargo son las alternativas disponibles en las regiones indicadas, por tal razón se hace necesario un análisis exhaustivo en la fase de muestreo de transformadores, por el método cuantitativo, para garantizar que los materiales que se requiera enviar sean únicamente los contaminados con PCB, y descartar todos aquellos que se encuentren por debajo de las 50 ppm; de esta manera los costos de manejo podrán ser reducidos en este rubro.

Para el volumen de aceite y equipos contaminados estimados en este trabajo de investigación, se considera que es viable utilizar el método de incineración acorde a los presupuestos actuales de la distribuidora y a los costos

del tratamiento previamente mencionados, debido a los pocos equipos que se tendrán para disponer.

CONCLUSIONES

1. Se estableció que para una correcta gestión ambiental se requerirá disponer de 884 litros estimados de aceite dieléctrico más las carcasas que los contienen, determinando que la opción viable es la incineración y que el proceso de embarque y traslado hacia el país donde se destruirá será de acuerdo a lo establecido en el Convenio de Basilea, para el movimiento transfronterizo de desechos peligrosos. Asimismo, se determinó que el costo de la gestión final no representa una inversión alta para la distribuidora.
2. La fecha límite para tener almacenado el aceite contaminado con PCB es el 31 de diciembre de 2024 y la fecha máxima para su disposición o destrucción final responsable el 31 de diciembre de 2027. De acuerdo a las fechas anteriormente descritas, se pudo establecer que la distribuidora no cuenta con el tiempo suficiente para prescindir de todos los equipos contaminados con PCB si mantiene los procesos actuales.
3. Se estableció que del total de los equipos retirados de la red, desde el año 2016 hasta finales de 2020, únicamente 270 eran sospechosos de estar contaminados con PCB, realizándole pruebas cuantitativas de acuerdo al procedimiento avalado por el MARN al 76 %, lo cual arrojó un total de 2 equipos contaminados correspondientes a 0.97 % del total de equipos sospechosos.

4. Las actuales estaciones de residuos llenan los requerimientos para las dimensiones, señalización y manejo de almacenaje y derrames, acorde a las necesidades actuales de la distribuidora y el incremento estimado según lo establecido en el presente trabajo. Asimismo, se cumple con los requisitos previo a las fechas límites de eliminación de los PCB según los convenios internacionales.

5. El plan de gestión fue diseñado para que cumpla con los estándares de seguridad, calidad, inventario, transporte y almacenaje de transformadores contaminados con PCB. Así también con el proceso de disposición o destrucción final.

RECOMENDACIONES

1. Realizar estudios de costos para muestreos a transformadores en red y compararlos, siendo estos los siguientes: Toma de muestras con trabajos en tensión (sin pérdida de mercado) y toma de muestras con trabajos sin tensión (con pérdida de mercado). De acuerdo a la necesidad de realizar muestreos de presencia de PCB en equipo que se encuentra instalado y operando en la red de distribución eléctrica, se recomienda a responsables de medio ambiente de las empresas y estudiantes de la escuela de estudios de postgrado llevar a cabo esta recomendación, para que con esa información se pueda presupuestar el costo total de las muestras e incluirlo en el costo total de la gestión final, para determinar su viabilidad o búsqueda de otras alternativas.
2. Agilizar las muestras semicuantitativas y cuantitativas en equipo desmontado por mantenimiento como al equipo en red, considerando los presupuestos y mejorándolos de ser necesario, debido a que los riesgos a la salud ocasionados por los bifenilos policlorados siguen estando presentes en todas distribuidoras del país (privadas y municipales), se les recomienda a dichas distribuidoras que puedan cumplir con lo establecido en el acuerdo gubernativo 194-2018, de otro modo acorde a lo detectado en este estudio los tiempos establecidos por la legislación nacional e internacional no podrán ser cumplidos.

REFERENCIAS

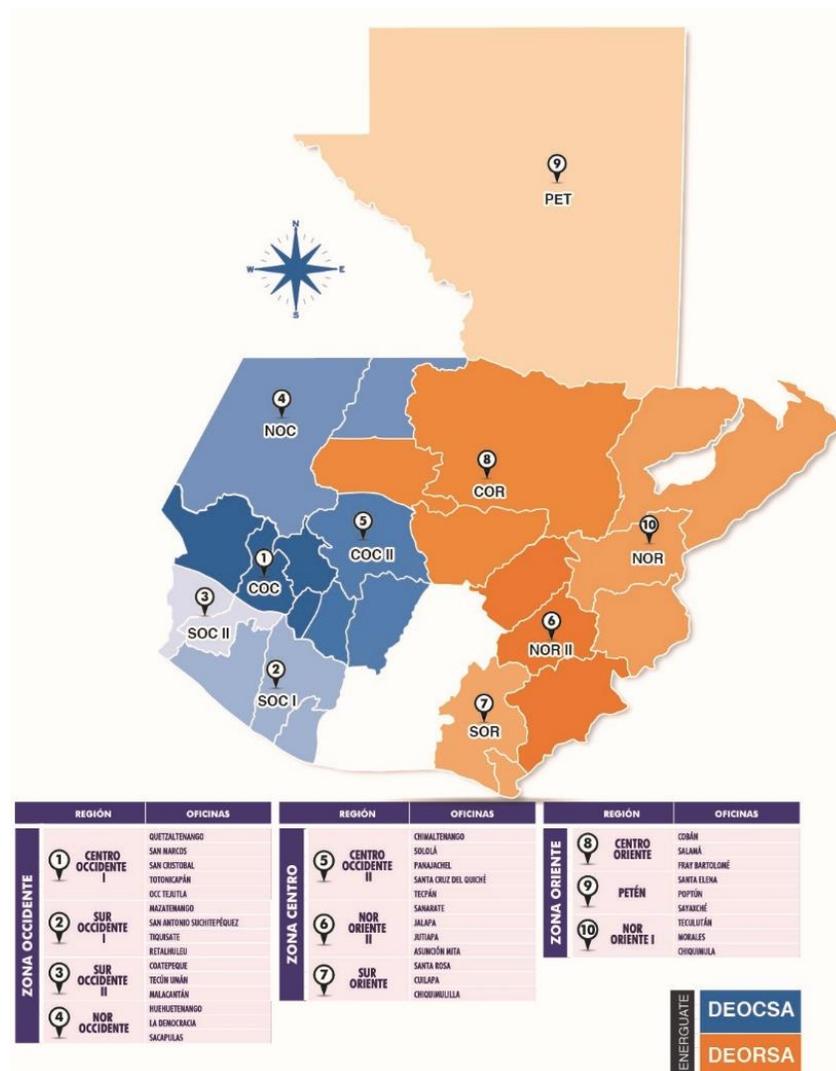
1. Acuerdo Gubernativo 194-2018. *Reglamento para la gestión integral de bifenilos policlorados (PCB) y equipos que lo contienen*. Diario de Centroamérica. Guatemala. 14 de noviembre de 2018.
2. Astudillo, M. (2014). *Gestión de los transformadores eléctricos con Bifenilos Policlorados de la empresa Centrosur* (Tesis de maestría). Universidad de CUENCA, Ecuador. Recuperado de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/20565>
3. Convenio de Basilea (2003). *Preparación de un plan nacional de manejo ambientalmente adecuado de los bifenilos policlorados (PCB) y de equipos contaminados con PCB*. Manual de Capacitación. Suiza: Serie del convenio de Basilea. Recuperado de <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/viewer.html?pdfurl=http%3A%2F%2Fwww.basel.int%2FPortals%2F4%2FBasel%2520Convention%2Fdocs%2Fpub%2FpcbManualS.pdf&clen=6436596&chunk=true>
4. EHSQ GROUP (12 de abril, 2016). *Norma NFPA 704: significado y características*. [Mensaje en un blog]. Recuperado de <http://ehsqgroup.com/noticias/2016/04/12/norma-nfpa-704-significado-y-caracteristicas/>
5. GENCAT (2015). *¿Cuáles son los COP?*. España: Autor.

6. Instituto Uruguayo de Normas Técnicas (2001). *Proyecto PCB - oportunidad para la eliminación de residuos peligrosos*. Uruguay: Autor.
7. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2015). *Manual para la Gestión Integral de Bifenilos Policlorados - PCB. No. 6. Manejo ambientalmente racional de equipos y desechos contaminados con PCB*. Colombia: Autor. Recuperado de https://www.cornare.gov.co/residuos/gestion-integral-de-bifenilos-policlorados-PCB/Tomo6_web.pdf
8. Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (2018a). *Guía para la gestión integral de PCB Tomo 8: Embalaje, transporte y almacenamiento de PCB*. Guatemala: Autor. Recuperado de <https://www.marn.gob.gt/Multimedios/14618.pdf>
9. Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (2018b). *Guía para la gestión integral de PCB TOMO 2: Generalidades y conceptos de PCB*. Guatemala: Autor. Recuperado de <https://www.marn.gob.gt/Multimedios/14612.pdf>
10. Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (2018c). *Guía para la gestión integral de PCB Tomo 6: Análisis químico de PCB y etiquetado*. Guatemala: Autor. Recuperado de <https://www.marn.gob.gt/Multimedios/16635.pdf>
11. MYCSA (2020). *Tipos de residuos industriales: peligrosos y no peligrosos*. España: Autor. Recuperado de <https://gofile.io/d/fDjbkm>

12. Orozco, J. (2016). *Factura por Tratamiento aceite y carcasas contaminadas con PCB*. Guatemala, Guatemala.
13. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (2014). *Convenio de Basilea sobre el control de los movimientos transfronterizos de los desechos peligrosos y su eliminación*. Suiza: Autor.
14. Quinto, S. (2018). *Manejo técnico y desecho de los equipos dieléctricos con contenido de aceites PCBs para la empresa Guarme, S.A.* (Tesis de licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala. Recuperado de <http://www.repositorio.usac.edu.gt/id/eprint/13653>
15. Secretaría del convenio de Estocolmo (2010). *Guía del convenio de Estocolmo sobre contaminantes orgánicos persistentes*. Suiza: Autor.
16. Seguridad y Medio Ambiente (2018). *IT.AMB.01 Ejecución de Pruebas PCB*. Guatemala: Autor.
17. Seguridad y Medio Ambiente (2020). *IT.AMB.02 Estaciones de residuos*. Guatemala: Autor.
18. Seguridad y Medio Ambiente (2021). *PG.AMB.01 Gestión Integral de residuos*. Guatemala: Autor.

ANEXOS

Anexo 1. Mapa de Guatemala ilustrando las 5 regiones de oriente en naranja



Fuente: Seguridad y Medio Ambiente (2020). *IT.AMB. Estaciones de residuos.*

Anexo 2. **Identificación de equipos contaminados o libres de PCB acorde a Guía para la gestión integral de PCB Tomo 6**

NO PCB

**(Bajo Nivel de PCB
Menos de 50 P.P.M.)**

El aceite dieléctrico en este equipo ha sido analizado para determinar la presencia de PCB, estableciendo que contiene menos de 50 P.P.M. a la fecha indicada y se clasifica como Bajo Nivel de PCB.

Método:

Revisión de información

CLOR-N-OIL

L2000DX

Cromatografía

Otro: _____

Identificador: _____

Mes				Año: 20			
1	2	3	4	17	18	19	20
5	6	7	8	21	22	23	24
9	10	11	12	25	26	27	28

PCB

PRECAUCIÓN

(Mayor o igual a 50 P.P.M.)

El aceite dieléctrico en este equipo ha sido analizado para determinar la presencia de PCB, estableciendo que contiene igual o más de 50 P.P.M. a la fecha indicada y se clasifica como Contaminado con PCB.

Método:

Concentración (en P.P.M.):

Revisión de información 50 a 499

CLOR-N-OIL 500 a 4999

L2000DX Mayor a 5000

Cromatografía No determinado

Otro: _____ Otro:

Identificador: _____

Mes				Año: 20			
1	2	3	4	17	18	19	20
5	6	7	8	21	22	23	24
9	10	11	12	25	26	27	28

NO PCB

EQUIPO DESCONTAMINADO

(Menos de 50 P.P.M.)

El aceite dieléctrico en este equipo ha sido tratado para que tenga un contenido menor a 50 P.P.M. de PCB y por tanto se clasifica como Bajo Nivel de PCB.

Método de descontaminación:

Identificador: _____

Mes				Año: 20			
1	2	3	4	17	18	19	20
5	6	7	8	21	22	23	24
9	10	11	12	25	26	27	28

Fuente: MARN (2018c). *Guía para la gestión integral de PCB Tomo 6: Análisis químico de PCB y etiquetado.*

Anexo 3. **Estación de residuos Nor Oriente II (Jutiapa)**



Fuente: Seguridad y Medio Ambiente (2020). *IT.AMB. Estaciones de residuos.*

Anexo 4. **Estación de residuos Nor Oriente I (Chiquimula)**



Fuente: Seguridad y Medio Ambiente (2020). *IT.AMB. Estaciones de residuos.*

Anexo 5. Estación de residuos Centro Oriente (Alta Verapaz)



Fuente: Seguridad y Medio Ambiente (2020). *IT.AMB. Estaciones de residuos.*

Anexo 6. Estación de residuos Petén (Petén)



Fuente: Seguridad y Medio Ambiente (2020). *IT.AMB. Estaciones de residuos.*