

**UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA**  
**Facultad de Ciencias y Humanidades**



**Plan de manejo para transformadores fabricados con  
Bifenilos Policlorados (PCB), utilizados en centrales  
generadoras de electricidad del INDE  
(Instituto Nacional de Electrificación)**

**Trabajo de graduación presentado  
por Jorge Antulio Godínez López,  
para optar el grado académico de  
Maestría en Estudios Ambientales**

**Guatemala  
2008**



**Plan de manejo para transformadores fabricados con  
Bifenilos Policlorados (PCB), utilizados en centrales  
generadoras de electricidad del INDE  
(Instituto Nacional de Electrificación)**

**UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA**  
**Facultad de Ciencias y Humanidades**

**Plan de manejo para transformadores fabricados con  
Bifenilos Policlorados (PCB), utilizados en centrales  
generadoras de electricidad del INDE  
(Instituto Nacional de Electrificación)**

**Trabajo de graduación presentado  
por Jorge Antulio Godínez López,  
para optar el grado académico de  
Maestría en Estudios Ambientales**

**Guatemala  
2008**

Vo.Bo.

f) \_\_\_\_\_  
Msc. Guillermina Cortez

Tribunal:

f) \_\_\_\_\_  
Msc. Guillermina Cortez

f) \_\_\_\_\_  
Msc. Lilian Amiel

f) \_\_\_\_\_  
Msc. Carlos Mansilla Mejía

Guatemala, 2 de noviembre del 2007

## **AGRADECIMIENTOS:**

- A Dios: Por haberme permitido alcanzar otra meta mas de mi vida
- A mis padres: Por el apoyo en todo momento y palabras de aliento para seguir adelante
- A mi esposa: Por las palabras de aliento para seguir adelante en los momentos difíciles
- A mi hijo: por esas miradas de aliento (te amo Angelito)
- A mis hermanos: Por apoyarme en cualquier proyecto
- A mis compañeros: Por sus consejos y apoyo
- Al INDE: Por haberme apoyado para cursar la mayor parte de estos estudios

## ÍNDICE

	<b>Página</b>
Lista de figuras .....	vii
Lista de cuadros .....	ix
Resumen.....	xi
I. Introducción.....	1
II. Problema.....	3
III. Marco teórico.....	4
A. Antecedentes históricos .....	4
B. Convenios internacionales.....	5
C. Antecedentes para Guatemala.....	6
D. ¿Qué son los Bifenilos Policlorados ?.....	8
E. Características de los PCB.....	9
F. Efectos sobre la salud .....	9
G. Efectos sobre el ambiente .....	11
H. Usos de los PCB.....	15
IV. Objetivos.....	21
V. Justificación.....	22
VI. Metodología.....	23
A. Obtención del material sobre el tema.....	23
B. Recopilación de datos.....	23
C. Análisis de datos .....	24
D. Cálculos para determinar la cantidad de PCB.....	24
E. Materiales y recursos.....	24
VII. Recopilación y análisis de la información .....	25
A. Planta hidroeléctrica Chixoy.....	26

	<b>Página</b>
B. Planta hidroeléctrica Aguacapa.....	28
C. Planta hidroeléctrica Jurún Marinalá.....	32
D. Planta hidroeléctrica Los Esclavos.....	34
E. Planta hidroeléctrica Santa María.....	40
F. Planta hidroeléctrica El Porvenir.....	43
G. Planta hidroeléctrica El Salto.....	46
H. Planta hidroeléctrica Palín I.....	48
I. Planta hidroeléctrica Palín II.....	51
J. Planta hidroeléctrica Chichaic.....	52
K. Central térmica Escuintla.....	53
L. Central geotérmica Calderas .....	59
M. Resumen general de los transformadores de las centrales del INDE.....	60
N. Análisis general y específico .....	61
VIII. Planes de manejo.....	64
A. Plan de manejo para empresas que disponga de transformadores y recipientes contaminados con PCB.....	64
B. Plan de manejo para casos específicos encontrados en las centrales generadoras del INDE.....	75
C. Plan de manejo para los transformadores y recipientes del INDE representado a través de la matriz del marco lógico	93
D. Prioridades de acción.....	98
IX. Conclusiones y recomendaciones .....	99
X. Bibliografía.....	102
XI. Glosario y acrónimos.....	104
XII. Anexos .....	107

## Lista de figuras

	<b>Página</b>
Figura 1 Estructura molecular de los PCB y esquemas de las posibles orientaciones de los átomos de cloro en los anillos.....	8
Figura 2 Grado de concentración de PCB en cada nivel de la cadena alimenticia en los grandes lagos.....	10
Figura 3 Estructura de un transformador de potencia.....	16
Figura 4 Estructura de un condensador.....	17
Figura 5 Transformadores con PCB en la bodega de la hidroeléctrica Aguacapa.....	31
Figura 6 Transformadores de corriente ubicados en el almacén	36
Figura 7 Transformador ubicado en el sótano, 220 KVA.....	37
Figura 8 Ubicación del almacén planta hidroeléctrica Los Esclavos.....	38
Figura 9 Localización de los cilindros con PCB área de planificación de cuencas.....	39
Figura 10 Cilindros que almacenan bobinas contaminadas con PCB, cercanos a una vivienda.....	40
Figura 11 Transformador marca Cenemesa, 1500 KVA, subestación Santa María.....	42
Figura 12 Transformador de 4 MVA, subestación El Porvenir.....	45
Figura 13 Transformadores de 2.3 KV y 17.5 KVA, para servicios auxiliares de la planta hidroeléctrica El Porvenir.....	46
Figura 14 Vista satelital de casa de maquinas y subestación Palín I.....	49

	<b>Página</b>
Figura 15 Transformadores de 500 KVA en la subestación Palín I.....	50
Figura 16 Casa de máquinas Palín II.....	52
Figura 17 Transformador en la sala 480 V, casa de máquinas.	56
Figura 18 Transformador marca PIVI Milano, 450 KVA.....	57
Figura 19 Diseño para retención de aceites en transformadores.	68
Figura 20 Área a considerar para almacenamiento de toneles en planta Aguacapa.....	78
Figura 21 Rotulación para áreas peligrosas por presencia de PCB.....	80
Figura 22 Caja de metal para traslado de toneles contaminados con PCB.....	81
Figura 23 Forma de almacenar transformadores de distribución	83

## Lista de cuadros

		<b>Página</b>
Cuadro 1	Promedio de concentraciones típicas de PCB.....	12
Cuadro 2	Niveles de PCB en algunos países.....	14
Cuadro 3	Nombres comerciales de PCB de diferentes fábricas de transformadores.....	18
Cuadro 4	Aplicaciones abiertas de PCB.....	20
Cuadro 5	Transformadores de central hidroeléctrica Chixoy	27
Cuadro 6	Transformadores de central hidroeléctrica Aguacapa	29
Cuadro 7	Transformadores de central hidroeléctrica Jurún Marinalá.....	32
Cuadro 8	Transformadores de central hidroeléctrica Los Esclavos.....	35
Cuadro 9	Transformadores de central hidroeléctrica Santa María.....	41
Cuadro 10	Transformadores de central hidroeléctrica El Porvenir.....	44
Cuadro 11	Transformador de central hidroeléctrica El Salto.....	46
Cuadro 12	Transformador de central hidroeléctrica Palín I.....	48
Cuadro 13	Transformador de central hidroeléctrica Palín II.....	51
Cuadro 14	Transformador de central hidroeléctrica Chichaic.....	53
Cuadro 15	Transformadores de central térmica Escuintla.....	54
Cuadro 16	Transformadores de central geotérmica Calderas....	59
Cuadro 17	Resumen de transformadores, toneles y recipientes de las centrales generadoras del INDE.....	61

	<b>Página</b>
Cuadro 18 Formato de control sobre eventos en los transformadores.....	70
Cuadro 19 Acciones inmediatas en caso de exposición a PCB...	72
Cuadro 20 Actividades de capacitación a diferentes niveles de la organización .....	75
Cuadro 21 Formato de inspecciones para el producto contaminado con PCB.....	85
Cuadro 22 Resumen total de peso de aceite dieléctrico, carcasa y núcleos de transformadores contaminados con PCB	91
Cuadro 23 Costos de eliminación de PCB.....	92
Cuadro 24 Plan de manejo para los transformadores y recipientes con PCB del INDE.....	94
Cuadro 25 Prioridades de acción.....	98

## RESUMEN

Los PCB son sustancias químicas peligrosas que se encuentran estructuradas por dos anillos bencénicos unidos por un enlace carbono-carbono y con átomos de cloro. Los PCB han provocado impactos a la salud humana y al ambiente. Fue utilizada en muchas aplicaciones como aceites dieléctricos, plastificantes, lubricantes, cobertores superficiales (pinturas), adhesivos.

Esta sustancia está regulada por los convenios internacionales de Basilea, Estocolmo y Róterdam. Guatemala solamente ha ratificado el convenio de Basilea, pendiente de ratificar el de Estocolmo.

El trabajo contiene un inventario preliminar de equipos con PCB que se identificaron en las centrales generadoras del INDE, siendo la planta hidroeléctrica Aguacapa el que posee el mayor número de equipos con PCB, seguidos en orden descendente la central térmica Escuintla, plantas hidroeléctricas de Palín I, Santa María, Los Esclavos, El Salto y Chichaic.

Con base en lo anterior se presentó un plan de manejo que define acciones para minimizar los riesgos a la salud y al ambiente. Este plan está estructurado en cuatro ejes principales, siendo estos: regulatorio, tecnológico, capacitación, financiero y recurso humano.

Para darle seguimiento a este estudio se ha recomendado implementar una unidad de gestión ambiental dentro del Instituto Nacional de Electrificación y para futuros proyectos donde se involucre el ambiente.

## I. INTRODUCCIÓN

Los bifenilos policlorados (PCB) están incluidos dentro de los doce productos que se encuentran prohibidos a nivel mundial debido a sus características químicas según el Convenio de Estocolmo<sup>1</sup>. Esta sustancia contiene moléculas de cloro las cuales son perjudiciales para la salud de los humanos y el ambiente.

Los PCB fueron utilizados en la fabricación de enlazantes o plastificantes en barnices, ceras, pinturas, tintas, gomas, papel copia, insecticidas, aceites lubricantes, denominándose a estos usos aplicaciones abiertas. También se utilizaron en transformadores, condensadores e interruptores debido a su considerable potencial dieléctrico, a su alta capacidad de absorción de calor y a sus propiedades de resistencia al fuego; se denominan a estos usos aplicaciones cerradas.

Los PCB provocan daños a la salud al momento de inhalarlos, tocarlos y consumirlos; sus síntomas son irritaciones en la piel, dolor de cabeza, lagrimeos en los ojos y náuseas. Sus efectos a largo plazo son cancerígenos.

La prohibición de producir PCB se dio a partir de 1972 por parte de algunos países como Japón y en 1979 en Estados Unidos (Pérez, 1999:5). A partir de esta fecha se ha venido identificando la presencia de equipos que contengan PCB para darles un manejo ambientalmente racional según lo establece el Convenio de Basilea.

Debido a la utilización de transformadores en las centrales generadoras del INDE se ha considerado desarrollar un plan de manejo ambiental para transformadores con PCB. Este trabajo contiene la siguiente información:

---

<sup>1</sup> Convenio de Estocolmo: prohíbe y/o adopta las medidas jurídicas y administrativas necesarias para eliminar la producción y uso de PCB

Información general de PCB, inventario preliminar sobre transformadores que contiene PCB de las centrales generadoras del INDE, análisis del inventario realizado en las centrales, desarrollo de un plan de manejo para transformadores y recipientes que contienen PCB tomándose como base aspectos como la tecnología, la capacitación, lo financiero y la regulación existente en el país relacionado con los PCB. 57094358.

Este estudio se utilizará como herramienta para el manejo de equipo con PCB, protegiendo la salud de los trabajadores y del ambiente. Además se estará contribuyendo al compromiso de convenios internacionales ratificados por Guatemala (Basilea y Estocolmo).

Del inventario preliminar realizado se determinó que la hidroeléctrica Aguacapa posee la mayor cantidad de transformadores con PCB (36%), seguida de la central térmica Escuintla (32%), hidroeléctrica Palín I (12%), hidroeléctrica Santa María (8%), hidroeléctrica Los Esclavos (4%), hidroeléctrica El Salto (4%) e hidroeléctrica Chichaic (4%).

En la mayoría de los casos las condiciones en que se encuentran los equipos con PCB en las centrales generadoras del INDE no llenan los requisitos de seguridad para operación, almacenamiento, transporte debido al desconocimiento sobre la peligrosidad de esta sustancia y su manejo.

## **II. PROBLEMA**

El Instituto Nacional de Electrificación, que inició sus operaciones en el año de 1959, ha utilizado transformadores en las centrales generadoras dentro del sistema de producción de energía eléctrica desde este año. Actualmente se siguen usando equipos muy antiguos que pueden contener PCB.

No contar con información detallada que refleje la cantidad de transformadores fabricados con PCB existentes en las centrales generadoras del INDE y el conocimiento que esta sustancia química puede afectar a los trabajadores y al ambiente, hace que existan riesgos en el manejo, operación y mantenimiento de estos equipos pudiendo ocasionar daños en la salud de los trabajadores y en el ambiente. Estos impactos pueden reducirse a través de la implementación de un plan de manejo ambiental para los transformadores fabricados con PCB.

### III. MARCO TEÓRICO

#### A. Antecedentes históricos

En el año de 1966 por primera vez el Dr. Soren Jensen en el laboratorio Arrhenius de la Universidad de Estocolmo, Suecia, puso en evidencia que los PCB producidos masivamente por años, principalmente para su uso en transformadores eléctricos y capacitores, tenían la capacidad de bioacumularse en los tejidos grasos. A partir de esa fecha se han acumulado datos que advierten del riesgo que estas sustancias representan para la salud humana y el ambiente lo que llevó a que las mayores empresas cesarán su producción mundial en las décadas de los 70 y 80.

Los PCB son una clase de compuestos químicos orgánicos clorados (organoclorados) de muy alta estabilidad, no corrosivos y muy baja inflamabilidad que se comenzaron a elaborar por primera vez en 1929 a escala comercial por la empresa Swann Chemical Company. Debido a estas características, fueron ampliamente usados durante décadas en un amplio rango de aplicaciones industriales, tales como aceites de corte, selladores, tintas, papel carbónico, aditivos para pinturas. En particular se usaron como refrigerantes y lubricantes en equipos eléctricos cerrados, tales como transformadores y capacitores.

A partir de 1970 comenzó a ser preocupante el impacto de los PCB en el ambiente, fundamentalmente por su persistencia. Esto condujo a decidir un cambio de tecnología y el reemplazo de este tipo de sustancias, a tal punto que ya en 1977 los Estados Unidos de América (uno de los mayores productores) prohibió su elaboración, importación y muchas aplicaciones no eléctricas de PCB.

En 1976, Estados Unidos empezó a elaborar normas para el manejo de los bifenilos; al año siguiente detuvo la producción y posteriormente en 1979

prohibió el uso de estos compuestos. Por sus efectos queratogénicos y cancerígenos, la Organización Mundial de la Salud, recomendó en la década de los ochenta, la suspensión del uso de PCB y en diversos países dejaron de usarse.

Los PCB han sido la causa de varios envenenamientos espectaculares. Por ejemplo en 1968 en Yuso, Japón, alrededor de 1,800 personas enfermaron por causa de una enfermedad no identificada. Esta enfermedad presentaba la forma de salpullido, desórdenes digestivos y oculares y entumecimiento de los miembros. Llevó más de seis meses antes de que se dieran cuenta de que esta enfermedad, que ya había causado varias muertes, era en realidad un caso de serio envenenamiento masivo el cual había sido causa del consumo de arroz contaminado con PCB.

Durante la década de los 90 la comunidad Internacional logró establecer una base científica que permitió, al Programa de Naciones Unidas para Medio Ambiente (PNUMA) iniciar un acuerdo internacional que resultó en un instrumento legal, bajo el nombre de “Convenio de Estocolmo sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes (COP’s)”. El convenio establece la eliminación gradual y definitiva de estas sustancias peligrosas dentro de un grupo de doce contaminantes ambientales conteniendo estos contaminantes.

## **B. Convenios internacionales**

La comunidad internacional a raíz de la peligrosidad del uso de sustancias tóxicas, ha firmado convenios. Estos convenios tienen la finalidad de suspender la producción, controlar y manejarlas adecuadamente, incluyendo en algunos casos la eliminación de ciertas sustancias químicas peligrosas.

Los principales convenios incluyen al Convenio de Estocolmo, el Convenio de Basilea y el Convenio de Róterdam.

1. El Convenio de Estocolmo fue suscrito en la ciudad homónima, Suecia, el 22 de mayo de 2001. Entró en vigor (obligatoriedad legal internacional) tres años más tarde luego de haber sido ratificado por el mínimo necesario de 50 países. Está conformado hasta la fecha por 98 partes (97 países y la Unión Europea); de los países latinoamericanos sólo la mitad lo han ratificado. Guatemala no está incluido en esta ratificación (Peralta, 2005).

2. El Convenio de Róterdam trata sobre el procedimiento de consentimiento fundamentado previo aplicable a ciertos plaguicidas y productos químicos peligrosos objeto de comercio internacional. Éste fue aprobado en 1998 y entró en vigencia el 24 de febrero del 2004. (PNUMA, 2004:1). Guatemala no lo ha ratificado hasta el momento.

3. El Convenio de Basilea trata sobre el control de los movimientos transfronterizos de sustancias químicas peligrosas. Fue aprobado en 1989, en respuesta a las preocupaciones que suscitaban los desechos tóxicos de los países industrializados vertidos en los países en desarrollo y los países en economías en transición. Entró en vigor el 5 de mayo 1992 (PNUMA, 2004:1). Guatemala ratificó el Convenio de Basilea efectuado el 14 de febrero de 1995.

### **C. Antecedentes para Guatemala**

Para la implementación del Convenio de Basilea se formó un centro regional para Centro América a cargo de un comité directivo integrado por los países de Belice, Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Honduras, Nicaragua, Panamá y la Secretaria de Basilea.

Este centro tiene como función organizar y/o desarrollar reuniones, cursos de capacitación, talleres y proyectos piloto relacionados con el manejo racional de los desechos peligrosos. Los sectores a quienes está dirigido es principalmente a municipalidades, sector industrial y gobierno.

Además promueve prácticas y metodologías para el manejo ambientalmente adecuado y la minimización en la generación de desechos peligrosos.

En febrero del 2002 se realizó el primer taller nacional para la implementación del Convenio de Basilea en Guatemala con la participación de autoridades gubernamentales de Belice, Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Honduras y la Secretaría del Convenio de Basilea. En el evento se trataron temas como la misión, visión y objetivos específicos del Convenio de Basilea, campos de aplicación del Convenio, el régimen de control de los movimientos transfronterizos, manejo ambientalmente adecuado de los desechos peligrosos y otros.

El Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN) de Guatemala con el apoyo del Programa de Naciones Unidas para Medio Ambiente (PNUMA) y la Convención de Basilea (CB) está implementando un proyecto sobre PCB en el país. A través de este proyecto se identificarán a nivel nacional las empresas que contengan equipos eléctricos fabricados o contaminados con PCB con el fin de cuantificar la existencia de dicha sustancia en el país y estimar la cantidad de desechos sólidos y aceites minerales contaminados con PCB. El proyecto está enmarcado en las tres convenciones que tratan los residuos peligrosos existentes (Convención de Basilea, Convención de Estocolmo y Convenio de Róterdam)

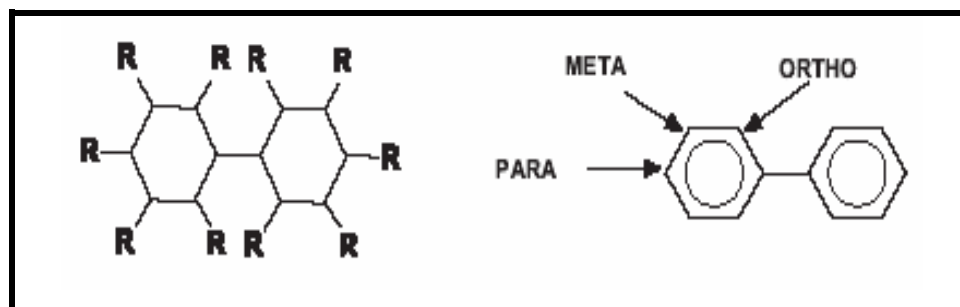
El proyecto no persigue sancionar a los poseedores de equipos eléctricos y/o desechos con PCB, sino más bien a incrementar el conocimiento y la capacidad nacional en el manejo ambientalmente adecuado de esta sustancia. Además se propone evitar la contaminación al ambiente y proteger la salud de sus trabajadores que puedan estar en contacto con esta sustancia.

Actualmente se está elaborando en el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales un reglamento destinado a la gestión de los desechos peligrosos tomando en cuenta los objetivos y alcances de los Convenios de Estocolmo, Basilea y Róterdam.

#### D. ¿Qué son los Bifenilos Policlorados (PCB)?

Los PCB son una familia de sustancias químicas compuestas de dos anillos de benceno unidos por un enlace carbono-carbono. Los átomos de cloro se sustituyen en uno o en los diez lugares disponibles restantes. El número y la posición de los átomos de cloro determinan la clasificación y propiedades de las distintas moléculas (PNUMA, 2002), Figura 1.

**Figura 1**  
**Estructura molecular de los PCB y esquemas de las posibles orientaciones de los átomos de cloro en los anillos**



Fuente: *Manual de Chile sobre el manejo de Bifenilos Policlorados (PCB)*. Comisión Nacional de Medio Ambiente. 2004. Pag. 3.

“R” corresponde a átomos de Cloro (Cl) unidos al bifenilo, pudiendo contener desde uno (01) hasta diez (10) átomos de Cloro. Estos pueden formar el bifenilo monoclorado ( $C_{12}H_9Cl$ ), hasta el bifenilo decaclorado, ( $C_{12}Cl_{10}$ ) dando forma a los congéneres y variando así sus propiedades como lipofilicidad (afinidad por los lípidos), fusión, inflamabilidad, conductividad eléctrica, presión de vapor, solubilidad en agua. Su apariencia varía de líquido

incoloreo aceitoso a líquido viscoso oscuro y de resinas amarillas a negras. El vapor es invisible y produce un fuerte olor característico.

Los PCB son algunas de las sustancias químicas orgánicas más estables que se conocen. Su constante dieléctrica baja y su punto de ebullición elevado los hacen ideales como fluidos dieléctricos en condensadores y transformadores eléctricos.

#### **E. Características de los PCB**

1. Constante dieléctrica baja
2. Baja volatilidad
3. Resistente al fuego
4. Baja solubilidad en agua
5. Alta solubilidad en solventes orgánicos
6. Alta resistencia al envejecimiento; no se deterioran durante el uso

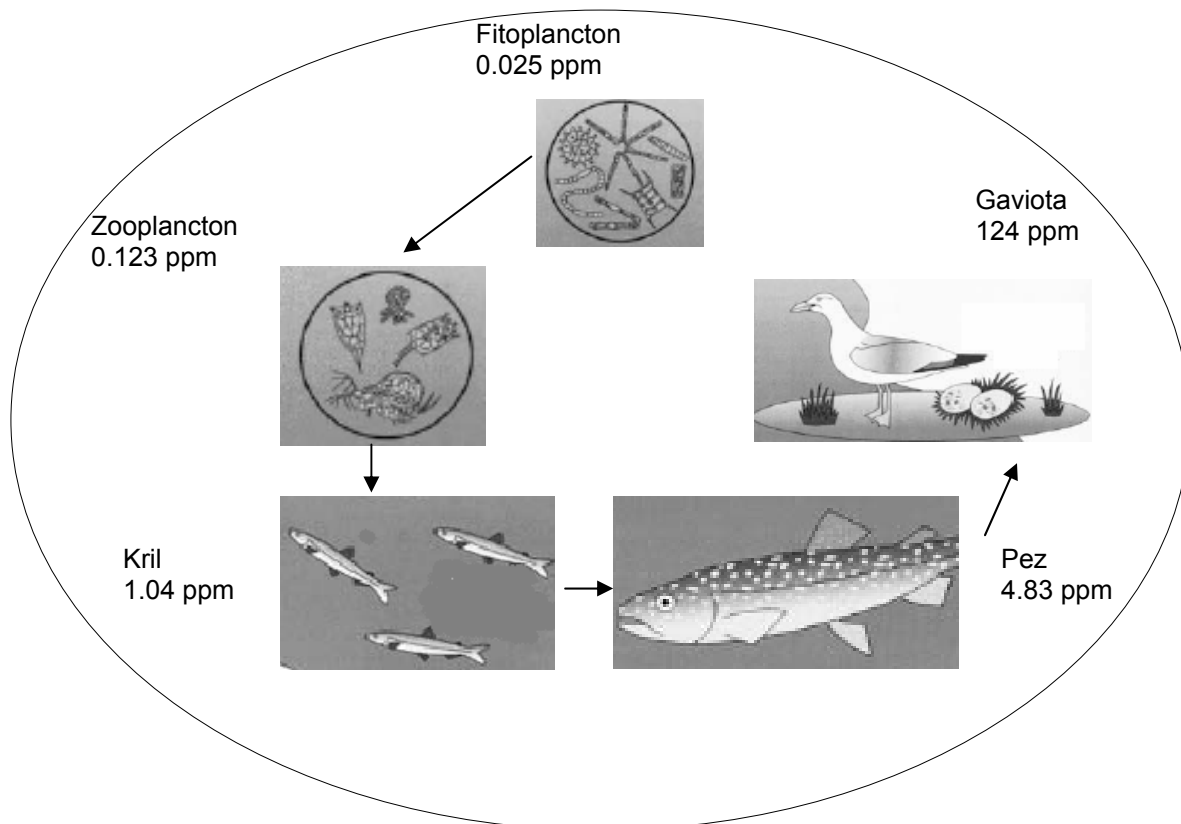
#### **F. Efectos sobre la salud**

Los PCB se encuentran ampliamente distribuidos en el ambiente de todo el mundo, son persistentes y se acumulan en la cadena alimenticia (Figura 2). La exposición humana a estas sustancias se debe fundamentalmente al consumo de alimentos contaminados, pero también a la inhalación y absorción cutánea en los lugares de trabajo.

Los PCB se acumulan en el tejido adiposo de los seres humanos y de los animales, causando efectos tóxicos, particularmente en el caso de exposiciones repetidas. La patología se manifiesta principalmente en la piel y el hígado; aunque también su blanco puede ser el tracto gastrointestinal, el sistema inmunitario y el sistema nervioso.

Figura 2

**Grado de concentración de PCB, (en partes por millón, ppm), en cada nivel de la cadena alimenticia en los Grandes Lagos**



Fuente: *Manual de Chile sobre el manejo de Bifenilos Policlorados (PCB)*.  
Comisión Nacional de Medio Ambiente. 2004. Pag. 69.

Los mayores niveles se alcanzan en aves que se alimentan de huevos de peces y en gaviotas.

**1. Toxicidad aguda.** Los siguientes efectos en la salud pueden ocurrir inmediatamente después de una exposición de corto tiempo:

- a. Exposición al vapor puede irritar los ojos, nariz y garganta
- b. Altas exposiciones pueden dañar el hígado

**2. Efectos crónicos.** Los efectos crónicos en la salud pueden ocurrir algún tiempo después de la exposición a Bifenilos Policlorados. Estos pueden ser:

a. Peligros de cáncer. Los Bifenilos Policlorados son probables cancerígenos. Hay limitada evidencia que ellos causan cancer a la piel de los humanos y ha sido demostrada su potencial de causar cáncer al hígado en animales.

b. Peligros en la reproducción. Los Bifenilos Policlorados pueden ser teratogénicos en humanos y se ha comprobado su poder teratogénico en animales. Puede pasar de la madre al niño a través de la leche. Puede afectar el sistema reproductivo de adultos.

c. Otros efectos de largo tiempo. Repetida exposición puede causar daño al hígado. Puede causar un severo cloroacné el cual puede persistir por años. Altas exposiciones pueden dañar el sistema nervioso, causando parálisis, pérdida de fuerza y picazón y dolor en brazos y piernas.

## **G. Efectos sobre el ambiente**

Las liberaciones de mezclas comerciales PCB al ambiente, además de las liberaciones que ocurren durante la disposición final autorizada y/o la destrucción, se limitan a liberaciones accidentales de PCB en uso. Estas liberaciones pueden darse por fugas o derrames durante la falla o ruptura del equipo que contiene PCB. Otra liberación podría darse por combustión incompleta durante incendios accidentales que involucran equipos que contiene PCB.

Generalmente la mayor fuente de liberaciones de PCB al aire, agua y suelo proviene del reciclaje de aquellos que permanecen en el ambiente, pasando desde un medio ambiental a otro. Este proceso cíclico involucra la volatilización de los PCB desde superficies acuáticas y terrestres hacia la atmósfera, y posteriormente la re-deposición de estos compuestos sobre la superficie de la tierra. El promedio de las concentraciones típicas de PCB son:

### Cuadro 1

#### Promedio de concentraciones típicas de PCB

1-10 ng/m <sup>3</sup>	Áreas urbanas
0.60 ng/m <sup>3</sup>	Áreas rurales
< 0.1 ng/m <sup>3</sup>	Áreas remotas
< 100 µg/kg	Suelos basales
< 0.1 µg/L	En agua potable
0.5 – 3.3 ng/L	En agua de los grandes lagos
0.5 µg/g	En peces de agua fresca

Fuente: *Manual de Chile sobre el manejo de Bifenilos Policlorados (PCB)*. Comisión Nacional de Medio Ambiente. 2004. pag 71.

Muchas de las propiedades que hacen que los PCB sean químicos industriales valiosos, hacen que representen un problema para el ambiente. A diferencia de muchas otras moléculas basadas en hidrocarburos, el cloro en los PCB hacen que sean muy resistentes a la degradación natural. Por lo tanto, una vez que han sido liberados a la atmósfera los PCB persisten por un largo tiempo.

Los PCB generalmente son liberados al ambiente a través de un manejo inadecuado de los equipos PCB. Cuando los líquidos se derraman pueden migrar a través de la tierra u otro material de la superficie a las aguas subterráneas, a las aguas superficiales o al aire. De igual forma, en un equipo que contiene PCB sea afectado durante un incendio, el humo y las emanaciones pueden contener altas concentraciones de PCB y de dioxinas y furanos más tóxicos. El humo y las emanaciones pueden contaminar grandes áreas de aire, tierra, edificios, agua y plantas de los alrededores, volviéndolas inutilizables mientras no se haga una limpieza completa, la cual es muy costosa.

Cuando los PCB entran al ambiente pueden migrar a los suelos y aguas subterráneas y pueden ser arrastrados por las aguas superficiales y los vientos a otras regiones, países y continentes.

Generalmente los PCB pueden ser llevados lejos de su origen por los vientos atmosféricos superiores y luego ser depositados en las tierras y aguas de otros continentes.

**1. Transporte de PCB en aire.** La distribución de PCB por todo el mundo incluyendo el Ártico y áreas remotas sugiere que los PCB son transportados en el aire debido a su capacidad de co-distilar, volatilizar desde sitios de disposición final hacia la atmósfera (Adsorción a aerosoles con tamaño de partícula menor a  $0.05 - 20 \mu\text{m}$ ). Su resistencia a la degradación a bajas temperaturas de incineración hace que el transporte atmosférico sea la primera forma de distribución global entre la troposfera y estratosfera.

La vida media de las partículas en el aire dependen fuertemente del tamaño de las partículas y del alcance de la precipitación atmosférica. Muchas serán depositadas dentro de los 2 y 3 días en su área de origen (usualmente urbana); una pequeña cantidad unida a las partículas finas va a permanecer en la atmósfera por largos períodos y pueden ser transportadas hacia regiones más remotas.

Se han hecho mediciones sobre PCB sobre el Atlántico Nor-Oeste, encontrando que las concentraciones disminuyen exponencialmente con la distancia desde el suelo y se concluyó que el transporte por el viento es el principal medio de transporte sobre los océanos (Harvey & Steinhauer).

**Cuadro 2**  
**Niveles de PCB en algunos países**

País	Localización y/o tipo de muestra	Niveles de PCB promedio y/o rango
Canadá	Territorios del Nor-Oeste	0.002 – 0.07 ng/m <sup>3</sup>
Alemania	Área industrial	3.33 ng/m <sup>3</sup>
	Área no contaminada	0.003 ng/m <sup>3</sup>
Japón	Dentro de plantas industriales	
	- Vapores de PCB	13 – 540 µg/ m <sup>3</sup>
	- PCB en partículas de aerosol	4 – 650 µg/ m <sup>3</sup>
	Océano Pacífico Norte, Pacífico Sur, Índico, Antártico y Atlántico Sur	0.1 – 0.3 ng/ m <sup>3</sup>
	- Océano Atlántico Norte	0.5 ng/ m <sup>3</sup>
Suecia	Varios lugares	0.8 – 3.9 ng/ m <sup>3</sup>
Estados Unidos	- Cerca de la costa Noreste	5 ng/ m <sup>3</sup>
	- Sobre el océano Atlántico, a 200 km de complejo industrial	0.5 ng/ m <sup>3</sup>
	- Varios lugares	1 – 50 ng/ m <sup>3</sup>
Yugoslavia	Bela Krajina:	
	- a 300 m de una planta industrial	4 -7 µg/ m <sup>3</sup>
	- aire cercano a un relleno sanitario de residuos	45 µg/ m <sup>3</sup>
	- Sobre el río Oruga	2 – 5 µg/ m <sup>3</sup>

Fuente: *Manual de Chile sobre el manejo de Bifenilos Policlorados (PCB)*. Comisión Nacional de Medio Ambiente. 2004.

**2. Transporte de PCB en el suelo.** Los PCB en el suelo provienen del depósito de material particulado o por disposición húmeda. También pueden provenir de emisiones directas de fuentes puntuales tales como el uso de lodos como fertilizantes y lixiviación desde sitios de disposición final. Su presencia y su comportamiento en el suelo dependen de las características específicas de la sustancia y de ciertos parámetros del suelo como la humedad y porosidad.

**3. Transporte de PCB en agua.** Los PCB ingresan al agua principalmente desde puntos de descarga de residuos industriales y urbanos en

ríos, lagos y aguas costeras. En agua estática, los PCB se concentran más en la microcapa superficial que en la subsuperficial, debido probablemente al depósito desde el aire más que a la redistribución en el agua. En consideración a su baja solubilidad en agua y a su alta actividad específica se considera que muchos de los PCB descargados al agua sean absorbidos por el sedimento en el fondo de los ríos o lagos y el transporte será principalmente vía partículas acuáticas.

## **H. Usos de los PCB**

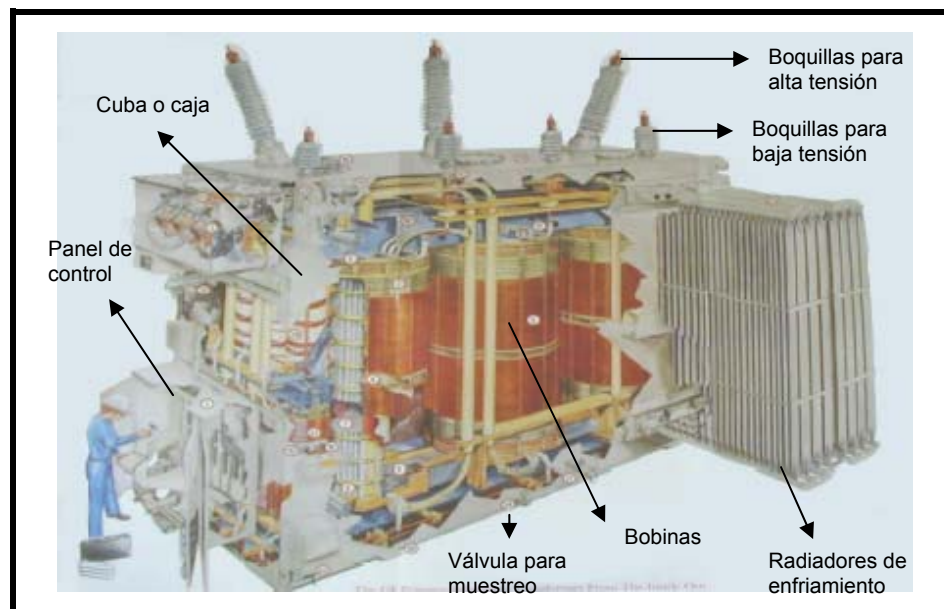
Los usos y aplicaciones de PCB se han clasificado según su presencia en sistemas cerrados, parcialmente cerrados y abiertos, de acuerdo a su facilidad de escape hacia el medio ambiente. Generalmente los sistemas cerrados y parcialmente cerrados contienen PCB en aceites y fluidos. Los PCB en sistemas abiertos toman la forma del producto donde han sido utilizados como un ingrediente; por lo tanto pueden encontrarse en formas que varían desde pintura a plástico o goma.

**1. Usos cerrados.** En una aplicación o uso cerrado los PCB se mantienen completamente dentro del equipo y bajo ninguna circunstancia deben estar expuestos al usuario o al ambiente. Sin embargo pueden ocurrir emisiones de PCB durante el mantenimiento, reparación o desarmes del equipo o como resultado del equipo dañado. A continuación se presentan algunos ejemplos de usos cerrados de PCB.

**a. Transformadores.** El transformador es un componente muy importante en varios tipos de circuitos eléctricos; desde circuitos electrónicos de baja señal hasta sistema de transmisión y distribución de energía eléctrica. Su tamaño y forma es muy variada dependiendo de su uso y su estructura principal consiste principalmente en una o más bobinas eléctricas unidos magnéticamente por un circuito magnético o núcleo.

En muchos transformadores grandes la unidad completa es llenada con un fluido dieléctrico (a menudo un aceite que puede contener PCB) para aumentar el aislamiento entre las bobinas eléctricas y enfriarlas; así, cualquier daño a la carcasa del transformador puede resultar en una fuga de fluido PCB. Algunas veces los transformadores con aceite mineral que no contienen intencionalmente PCB suelen contaminarse por el uso de equipos comunes de llenado o el llenado de mantenimiento con aceite usado o reciclado.

**Figura 3**  
**Estructura de un transformador de potencia**



Fuente: Presentación Introducción a protocolo de pruebas doble para transformadores. Arturo O. 2006.

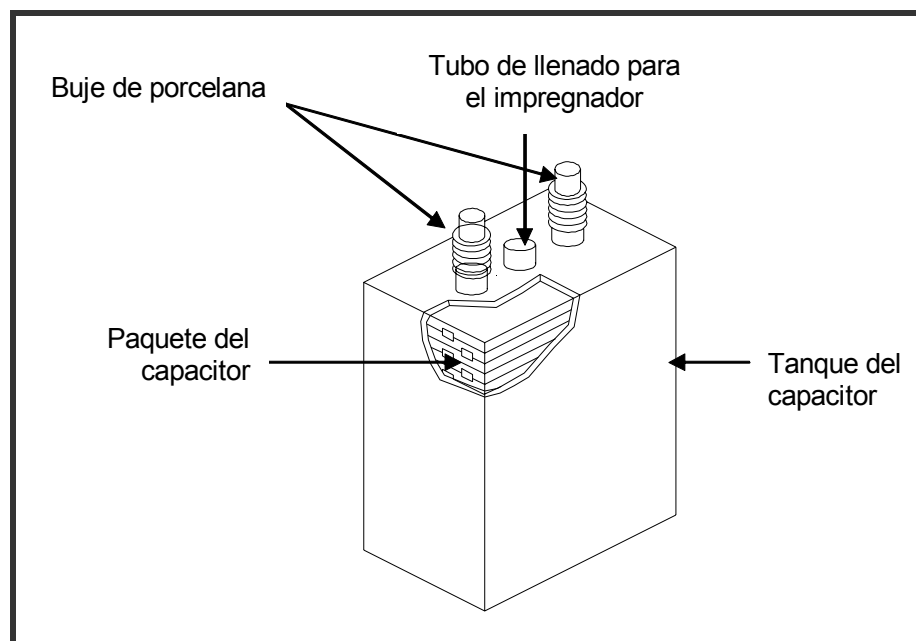
En los sistemas de transporte de energía eléctrica los transformadores que son de gran tamaño se ubican en las subestaciones y pueden estar destinados a elevar el voltaje que produce una central generadora de electricidad a un nivel de voltaje de transmisión o bien a bajar el voltaje desde el nivel de transmisión al de distribución. Es por ello que las subestaciones se encuentran ubicadas en las cercanías de centrales generadoras de electricidad o cerca de las ciudades.

En los sistemas de distribución los transformadores utilizados son de tamaño menor y comúnmente se encuentran instalados en forma aérea en los postes de las compañías de electricidad. Su función es bajar el voltaje para el uso doméstico o industrial.

Existen transformadores con PCB que se presentan con nombres comerciales y de diferentes compañías de fabricación (cuadro 3).

**b. Condensadores.** Un condensador es un dispositivo que acumula y libera una carga de electricidad. Su estructura principal consiste en superficies conductoras de electricidad separadas por un material dieléctrico, el cual puede o no contener PCB. Generalmente dicha estructura está contenida en un recipiente de metal completamente sellado y lleno con el fluido dieléctrico (figura 4).

**Figura 4**  
**Estructura de un condensador**



Fuente: *Manual de Ingeniería Eléctrica*, Donald G. Fink/H. Wayne Beaty

## Cuadro 3

## Nombres comerciales de PCB de diferentes fábricas de transformadores

- Educarel	- Inerteen 600	- Magyar	- Saf-T-Kohl
- EEC-18 (Power zone Transformer)	- Inerteen 54201 CM	(General Eléctric, EEUU)	- Santhosafe
- Elaol (Alemania)	- Phyalene		- Santothem
- Electrophenyl	- Physalen		- Santhotherm (Mitsubishi, Japón)
- Electrophenyl T-60	- Plastivar	- MCS 1489 (Monsanto, EEUU)	- Santosol
- Elemex (McGraw Edison)	- Polychlorinated Biphenyl		- Santoterm
- Elinol	- Polychlorinated Dyphenyl	- Montar	- Santhotherm FR (Monsanto, EEUU)
- Eucarel (Electric Utilities Corp.)	- Policlorobifenilos	- Nirel	- Santovac
- Fenclor (Caffaro, Italia)	- Prodelec	- No-Famol	- Santovac 1 (Monsanto, EEUU)
- Fenchlor (Italia)	- Pyralene	- No-Flamol	- Santovac 2 (Monsanto, EEUU)
- Fenchlor 42	- Pyranol	(Wagner, EEUU)	- Siclonyl
- Fenchlor 54	- Pyrochlor		- Solvol
- Fenchlor 64	- Pyroclar		- Sorol
- Fenchlor 70	- Pyroclor (Monsanto, EEUU)	- Non-Flammable Liquid (ITE Circuit Breaker Company)	- Sova
- Fenocloro	- Pysanol		- Terphenychlore
- Gilotherm	- Inclor (Caffaro, Italia)		- Thermanal
- Hivar	- Inerteen (Westinghouse, EEUU)	- Non-Flamol	- Safe-T-Kuhl
- Hydol			- Pheneclor
- Hidrol.	- Inerteen 70-30	- Orophene	- Phenechlor
- Hyrol	- Inerteen 100-42	- Oykanol	
- Hyvol (Aerovox)	- Inerteen 300	- PCB's	
- Inclar		- PCB	
		- Pheaoclor	

Fuente: *Manual de Chile, sobre el manejo de Bifenilos Policlorados (PCB)*. Gobierno de Chile, Comisión Nacional de Medio Ambiente, 2004.

El tamaño de un condensador varía en gran medida, desde el de un cubo de hielo hasta el de un refrigerador. Frecuentemente se pueden reconocer por las letras “kvar” (kilo volt ampere) en su placa de identificación. Estas letras muestran la clasificación eléctrica de un capacitor que usualmente está posicionado entre 5 y 200 kVA.

En la realidad todos los condensadores fabricados entre 1930 y 1977 que utilizan líquidos dieléctricos contienen PCB.

**1) Condensadores por regulación de voltaje.** Estos condensadores son relativamente grandes; se localizan en distintos puntos de una red de distribución eléctrica para mantener el voltaje dentro de un rango preestablecido. También se pueden encontrar en subestaciones, instalados en estanterías (banco de condensadores).

**2) Condensadores para corrección de potencia.** Son condensadores cuyo tamaño dependerá de la potencia efectiva que demanda la instalación donde se requiera mejorar el factor de potencia. Este factor se utiliza en líneas de distribución para minimizar el ángulo de desfase entre el voltaje y la corriente. Estos condensadores se pueden encontrar en distintos tipos de instalaciones como por ejemplo fábricas, oficinas, escuelas, hospitales, tiendas, etc.

**3) Condensadores de motor de partida.** Son condensadores pequeños usados en motores monofásicos para proveer el torque de partida. Pueden encontrarse en aplicaciones eléctricas incluyendo secadores de pelo, máquinas de lavado, secadoras de ropa, bombas de pozo, ventiladores y acondicionadores de aire. Generalmente contienen menos de 1.4 Kg de fluido dieléctrico.

**4) Balasto para equipo de iluminación.** Se puede encontrar dentro de fuentes luminosas fluorescentes de mercurio y de sodio y en luces de

neón. Están compuestos de un pequeño transformador, un condensador y un interruptor de protección térmica. El condensador es el único componente que puede contener PCB frecuentemente alrededor de 0.1 Kg de fluido PCB. En luces fluorescentes, los balastos están localizados bajo la tapa de metal que esta detrás de los tubos de iluminación.

**2. Usos abiertos.** Son aplicaciones en las cuales los PCB se encuentran en contacto directo con lo que les rodea y así pueden ser fácilmente transferidos al ambiente. En este caso, el contacto directo de los PCB con el ambiente es de mayor importancia que los usos cerrados. Los plastificantes son el mayor grupo de aplicaciones abiertas y son usados en PCV (policloruro de vinilo), neopreno y otras gomas cloradas. Otros usos abiertos que han utilizado PCB incluyen a los retardantes de fuego en pinturas y en cobertores superficiales y plastificantes en adhesivos.

**Cuadro 4**  
**Aplicaciones abiertas de PCB**

<p><i>Lubricantes</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Aceite de inmersión para microscopios (medio de montaje)</li> <li>• Forro de frenos</li> <li>• Aceites de corte</li> <li>• Aceites lubricantes</li> </ul>	<p><i>Plastificantes</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Selladoras de empaquetaduras</li> <li>• Material de relleno en juntas de concreto</li> <li>• PCV (plásticos de policloruro de vinilo)</li> <li>• sellos de goma (alrededor de ventilaciones, puertas y ventanas)</li> </ul>
<p><i>Cobertores superficiales</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pinturas (en superficies inferiores de barcos)</li> <li>• Tratamiento superficial para textiles</li> <li>• Papel de copia sin carbón (sensible a la presión)</li> <li>• Retardantes de fuego (en tejas de techo, muebles y paredes)</li> </ul>	<p><i>Tintas</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tinturas; tintas de impresión</li> </ul> <p><i>Adhesivos</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Adhesivos especiales</li> </ul> <p>Adhesivos para revestimientos a prueba de agua en paredes</p> <p><i>Otros Usos</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>* Materiales aislantes, pesticidas</li> </ul>

Fuente: *Manual de Chile, sobre el manejo de Bifenilos Policlorados (PCB)*, Gobierno de Chile, Comisión Nacional de Medio Ambiente, 2004. Pag 22

#### **IV. OBJETIVOS**

- Analizar las condiciones ambientales y físicas en que se encuentran los equipos y recipientes con PCB en las centrales generadoras de electricidad del INDE.
- Definir las acciones pertinentes para mitigar los riesgos en los equipos y recipientes contaminados con PCB identificados en las centrales generadoras.
- Calcular un costo estimado para la eliminación de equipos y recipientes contaminados con PCB localizados en las centrales generadoras de energía eléctrica del INDE y sus posibles fuentes de financiamiento.
- Definir procedimientos para el manejo, operación, transporte y almacenamiento de transformadores que contengan PCB.

## V. JUSTIFICACIÓN

Este estudio se efectuó en las centrales generadoras del INDE tomando en consideración que inició sus actividades en 1959 y que se sospecha que tiene operando transformadores fabricados con PCB. Los equipos que utilizaban esta sustancia química tuvieron un auge en el mercado entre los años 1920 – 1980, período en que el INDE necesitó de transformadores para sus plantas generadoras.

En atención a lo anterior, el trabajo propone identificar los puntos en donde se encuentren transformadores con PCB en las centrales generadoras del INDE y elaborar un plan de manejo ambiental para estos equipos. De esta forma se dispondrá de una herramienta que contribuirá a reducir el riesgo en la salud de los trabajadores y del ambiente.

Este plan de manejo ambiental también servirá como manual para los trabajadores operativos y de mantenimiento de las centrales generadoras quienes encontrarán información sobre los PCB y el equipo de protección para la manipulación de los mismos. Además contribuirá a la ejecución de las actividades del proyecto PCB en Guatemala que está siendo desarrollado por el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales.

## VI. METODOLOGÍA

Este trabajo se desarrolló de acuerdo al siguiente esquema:

### A. Obtención de material sobre el tema

En este aspecto se obtuvo información sobre el tema de Bifenilos Policlorados en libros, páginas de internet, informes del PNUMA, manuales y presentaciones. Con esta información se mantendrá una mejor comprensión sobre el desarrollo de este trabajo.

### B. Recopilación de datos

Para llevar a cabo este trabajo de investigación se realizaron visitas a las centrales hidroeléctricas de Chixoy, Aguacapa, Jurún Marinalá, Los Esclavos, Santa María, El Porvenir, El Salto, Chichaic, Palín I, Palín II y central térmica Escuintla con el objeto de inspeccionar visualmente las placas de identificación de cada equipo de transformación para estipular si contienen PCB.

Para los equipos en funcionamiento y fuera de uso y para los toneles de aceite que no presentan ninguna identificación sobre el tipo de aceite que poseen, se utilizaron pruebas de ensayo semicuantitativo con el Kit Clor-n-oil 50.

Además se cuenta con un cuestionario definido por el Programa Ambiental de la Naciones Unidas para realizar inventario preliminar de PCB (anexo 1). Éste presenta indicadores como capacidad del transformador, peso, tipo de aceite refrigerante, contenido de PCB en el aceite, condiciones del equipo, mantenimiento del equipo y otros. Estos índices serán de utilidad para obtener los resultados y el análisis respectivo sobre la cantidad de transformadores que contienen PCB en cada central generadora.

**C. Análisis de datos**

De la recopilación de datos se realizó un análisis general y específico de las condiciones de los transformadores y recipientes que fueron identificados con PCB en las centrales generadoras del INDE. Este análisis identifica debilidades y riesgos tanto a la salud como al ambiente de cada sitio.

**D. Cálculos para determinar la cantidad de PCB**

En algunos casos se tuvo que calcular la cantidad de aceite de transformadores, por falta de información. Este cálculo se basó en las dimensiones del equipo y una proporción utilizada por el MARN en el plan de acción para el manejo de PCB en Guatemala, para el cálculo del aceite y el núcleo y la carcasa del transformador.

**E. Materiales y recursos**

Para el trabajo de campo se utilizó el siguiente material y equipo:

- Mascarillas, guantes de latex, gorra, bata blanca, botas de cuero
- Envases de vidrio de 125 ml
- Kits de ensayo colorimétrico (Clor-On-Oil)
- Cámara digital

## VII. RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

Por medio de inspecciones técnicas a cada una de las centrales generadoras de electricidad del INDE y utilizando como instrumento un cuestionario de recopilación de información de transformadores eléctricos (Anexo No. 1), se recopiló la información acerca de los equipos y su potencial contenido de PCB. Este trabajo contó con el apoyo del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales y se realizó por medio de pruebas de campo a través del kit Clor-n-Oil 50 fabricado por Dexsil Corporation (Anexo 2). Esta prueba es cualitativa e identifica la presencia de concentración de cloro en 50 partes por millón en el aceite dieléctrico lo cual se toma como indicador de la potencial presencia de PCB, de manera que si la prueba es positiva se considera que la potencial concentración de PCB podría ser peligrosa para la salud y el ambiente.

Durante el trabajo de campo se definieron algunos criterios para la realización de las pruebas de análisis, ya que no en todos los casos se practicó la misma. A continuación se detallan los criterios que se utilizaron y la información que se consideró pertinente para concluir respecto de otros equipos a los que no se les realizó la prueba.

Criterios para hacer pruebas:

A los transformadores que no indicaban en los datos de placa el tipo de aceite que utilizaba, o que no poseían placa de identificación, se efectuaban pruebas de PCB con el kit Clor-n-Oil 50.

- A los transformadores principales de mayor capacidad en las plantas generadoras, cuya placa no indicaba el tipo de aceite dieléctrico o que, aun indicando que no era PCB, no se tuviera control documentado de los mantenimientos que había tenido.
- A transformadores que indican en la placa que contenía PCB pero que habían sido sometidos a mantenimientos mayores.

- A toneles que contenían aceite dieléctrico, cuya procedencia en su uso se sospechaban de estar contaminados con PCB.

Criterios para no hacer pruebas:

- A los transformadores que indicaban en la placa que contenía PCB.
- A transformadores de centrales generadoras de reciente fecha de inicio de operaciones, tomando como base 1990. Se obtuvo información de entrevistas entre personal técnico que cuenta con varios años de laborar en el sitio. Entre la entrevista se comentaba que no ha existido cambio de aceite en los transformadores originales, siendo estas la central generadora Chixoy, Palín II y Calderas.
- A transformadores que se encontraban ubicados en postes y en funcionamiento, no se les efectuó, debido a que se tenía que programar la desenergización de las líneas de transmisión en donde se encontraba estos transformadores.

Para la recopilación de los resultados se tomaron en cuenta algunos aspectos importantes como la capacidad del transformador, la ubicación del equipo dentro de las instalaciones de la central generadora, el peso total del equipo y el peso del aceite. Otro aspecto importante fue determinar qué tipo de aceite posee el transformador ya sea mineral, con PCB o seco. Además el año de fabricación da un indicio si estuvo en la época de fabricación de equipos con PCB y por último las condiciones en que se encuentra el transformador.

Esta información se clasificó entre transformadores de potencia mayores o igual a 500 KVA y menores a 500 KVA, con la finalidad de separar transformadores de potencia y de distribución.

#### **A. Planta hidroeléctrica Chixoy**

Esta central es la más grande del país y se encuentra localizada en la parte norte de la República de Guatemala en los municipios de San Cristóbal

Verapaz y Pueblo Viejo de los departamentos de Baja Verapaz, Alta Verapaz y de El Quiché. Esta central tiene una capacidad de 275 MW. Cuenta con cinco (5) unidades de 55 MW cada una, clasificándose como una «central hidroeléctrica de regulación anual»<sup>2</sup>. Las turbinas son de tipo pelton de eje horizontal.

La planta cuenta con seis transformadores de 54.1 MVA de capacidad localizados en el patio de transformación de la casa de máquinas, todos de marca Toshiba y fabricados en 1980. De acuerdo con la placa de cada uno de los equipos, poseen aceite dieléctrico mineral libre de PCB. Adicionalmente, se indica en la placa que la refrigeración de los trafos es tipo ONAN/ONAF; es decir que utilizan aceite mineral con enfriamiento natural lo cual, de acuerdo a la clasificación de aceites que utilizan los transformadores podría indicar que el equipo esta libre de PCB.

**Cuadro 5**  
**Transformadores de central hidroeléctrica Chixoy**

Cantidad	Capacidad	Marca	Ubicación	Peso total (Ton)	Peso aceite (Ton)	Tipo de aceite	Año de fabricación	Estado
<b>Transformadores &gt; 500 KVA</b>								
6	54.1 MVA	Toshiba	Área de transformadores, generadores	72.2	15.41	Mineral (ONAN/ONAF)	1980	bueno
3	750 KVA	Mitsubishi	Servicios propios, Casa de máquinas	3.1		seco	1981	bueno
<b>Transformadores = 500 KVA</b>								
1	300 KVA	Mitsubishi	Hacia camara de valvula, Quixal	2.1		seco	1981	bueno
2	75 KVA	Mitsubishi	Cámara de valvula, Quixal	1.3		seco	1981	bueno
5	350 KVA	Mitsubishi	Excitación, Casa de máquinas	2.3		seco	1981	bueno
3	125 KVA	Mitsubishi	Distribución, Quixal	0.8		seco	1982	bueno
5	70 KVA	Mitsubishi	Puesta a tierra, Quixal	0.35		seco	1981	bueno

Fuente: Elaboración propia

<sup>2</sup> Central hidroeléctrica regulación anual: Son centrales de mayor capacidad de embalse, con posibilidad de transferir energía como volumen embalsado entre períodos de tres o más meses.

Según el jefe del mantenimiento eléctrico de la planta, el aceite de estos transformadores no han tenido ninguna sustitución ni manipulación mediante la cual pudiera haberse contaminado. Por lo anterior se considera que estos equipos están libres de PCB.

Los demás transformadores que se utilizan en los servicios auxiliares, cámara de válvulas, excitación, distribución, son transformadores secos sin contenido de aceite y por lo tanto sin posibilidad de contener PCB.

Para seguir manteniendo esta central libre de PCB, es necesario que en las actividades que involucre manipulación de aceite dieléctrico se evite la contaminación cruzada. Esta contaminación podría surgir por el ingreso de aceites contaminados de PCB, para ser utilizados en los equipos de esta central.

## **B. Planta hidroeléctrica Aguacapa**

Esta central se encuentra ubicada en la aldea la Unión, municipio de Guanagazapa, departamento de Escuintla. Tiene una capacidad confiable de 80 MW, con una distribución de potencia de 60 MW en dos unidades y 20 MW para otra unidad. Las turbinas de estas unidades son de tipo pelton de eje horizontal. Esta central se encuentra clasificada como de regulación diaria<sup>3</sup>. Sus operaciones iniciaron en el año de 1981.

Aguacapa cuenta con cinco transformadores con capacidad mayor a 500 KVA, de los cuales tres que pertenecen a las unidades generadoras se encuentran libres de PCB según pruebas de PCB. Otro se localiza en la subestación de 10,000 KVA el cual es utilizado para los servicios auxiliares de la planta, alimentando el suministro de energía a la casa de máquinas, campamento y embalse a través de su conversión de voltaje que realiza.

---

<sup>3</sup> Hidroeléctrica de regulación diaria: Central hidroeléctrica que utiliza un embalse de regulación diaria para generar en las horas de máxima demanda del sistema.

Durante su inspección y prueba de PCB se determinó que no existen fugas y los resultados de PCB fueron negativos. El otro transformador dentro de este rango y que se ubica a un costado de la casa de máquinas; según datos de placa indica que esta libre de PCB.

**Cuadro 6**  
**Transformadores de central hidroeléctrica Aguacapa**

Cantidad	Capacidad	Marca	Ubicación	Peso total (Ton)	Peso aceite (Ton)	Tipo de aceite	Año de fabricación	Estado
<b>Transformadores &gt; 500 KVA</b>								
3	22.5/37.5 MVA	Trafo Union	Casa de máquinas	59	17.2	Mineral / No PCB (ONAN)	1978	En uso, buen estado
1	10,000 KVA	Trafo Union	Subestación	37	13.8	Mineral / Sin PCB (ONAN)	1978	Esta en uso y en buen estado.
1	600 KVA	Volta-Werke	Costado casa de máquinas	1.82	0.38	Mineral / Sin PCB (ONAN)	1982	Esta en uso y en buen estado.
<b>Transformadores &lt; 500 KVA</b>								
1	500 KVA	Volta-Werke	Reserva y en el almacén			ONAN, Con PCB		En reserva y buen estado
1	200 KVA	Volta-Werke	Reserva y en el almacén	0.93	0.325	Clophen	1979	Esta fuera de uso y con derrames
1	200 KVA	Volta-Werke	Presa-Embalse	0.93	0.325	Clophen	1979	Buen estado, en uso
1	100 KVA	Volta-Werke	Reserva y en el almacén	0.66	0.24	Clophen	1980	Esta fuera de uso y se encuentra con derrames y fugas.
1	100 KVA	Volta-Werke	Cámara válvulas	0.665	0.245	Clophen	1978	En uso y en buen estado
1	100 KVA	Volta-Werke	Cámara válvulas	0.665	0.245	Clophen	1978	En reserva.
1	100 KVA	Volta-Werke	Subestación	0.665	0.245	Clophen	1978	Se encuentra en uso y en buen estado
2	50 KVA	Volta-Werke	Reserva y en el almacén	0.505	0.195	Clophen	1978	Se encuentra como reserva en el sitio y con derrames.

Fuente: Elaboración propia

Las condiciones de la estructura donde está montado son seguras ya que presenta un depósito para retención de líquidos y protegida con una malla perimetral. A este transformador no se le efectuó prueba de PCB por seguridad ya que este transformador tiene un alto voltaje (600 KVA) cerca de la

válvula para la toma de muestras de aceite. Por lo cual se recomienda efectuar la prueba de PCB cuando sea intervenido en su mantenimiento, para verificar sus datos de placa y no incurrir en una contaminación cruzada en caso de cambio de aceite.

Se encontraron cinco transformadores en el almacén de repuestos con capacidad menor a 500 KVA; de acuerdo a las placas contienen Clophen como aceite dieléctrico, el cual está clasificado como uno de los que contienen PCB puro. Estos equipos presentan derrames y pequeñas fugas de aceite. Además no están colocados en un área específica dentro de la bodega, sino dispersos entre otros equipos, lo cual presenta un riesgo para la salud del personal que ingresa a esta instalación por contacto directo que pudieran darse con estos derrames al momento de manipular otro material o repuesto.

Adicionalmente, la bodega mantiene poca ventilación, pues las ventanas son totalmente selladas lo que presenta un riesgo en caso de que se generaran gases de esta sustancia por derrames, ya que existiría acumulación en esta área y que al momento de ingresar se podría inhalar.

El techo está construido con lámina, lo cual genera un ambiente caluroso y encerrado. El piso de la bodega es de plancha de cemento, totalmente plano y sin estructuras para contención de derrames, por lo que podría extenderse a otros sitios por no contar con estas retenciones (Ver figura 5).

En la cámara de válvulas se encuentran dos transformadores y uno más en la presa-embalse, en cuyas placas se indica presencia de PCB los cuales utilizan tipo de aceite Clophen en cada equipo. Estos tres transformadores se encuentran ubicados en piso de cemento y en buen estado, aislados de otros equipos con ventilación. Se considera un área segura.

**Figura 5**  
**Transformadores con PCB en la bodega de la**  
**hidroeléctrica Aguacapa**



Fuente: Elaboración propia

Adicionalmente, en la casa de control de la subestación de Aguacapa se identificó otro transformador con PCB según la información de su placa, encontrándose en un cuarto aislado con puerta de vidrio y con rieles para su movimiento. Las instalaciones son seguras para el operador y el ambiente ya que posee piso de cemento liquido con imitación a granito y corrientes de aire que se perciben.

Por otro lado, se pudo detectar la existencia de 250 toneles de aceite dieléctrico proveniente del cambio que se le efectuó a los transformadores de las tres unidades generadoras durante su mantenimiento mayor, los cuales al ser analizados con la prueba de análisis para PCB, contenían aceite contaminado con PCB. Estos se encuentran localizados en un mal lugar ya que están dentro del campamento de las viviendas del personal, a la intemperie en una de las calles.

Los toneles se encuentra en su mayoría oxidados en su estructura, por lo que se considera que al estar a la intemperie, recibiendo el agua de las lluvias,

y dado que no existe un programa de monitoreo de los mismos, existe un riesgo de derrame por el deterioro. Esto provocaría un foco de contaminación expuesto y peligroso no solo para el suelo, el agua y la atmósfera sino también para los trabajadores que transitan frecuentemente por el área.

Además existen dos depósitos subterráneos para aceite dieléctrico contiguo a la casa de máquinas, ambos contienen no solamente aceite dieléctrico sino también aceites lubricantes usados. A pesar que estos depósitos no contienen PCB, de acuerdo a prueba de análisis realizada, deben considerarse como un punto de riesgo que debe mantenerse bajo control y supervisión para no permitir que se contaminen y se conviertan en reservorio de PCB.

### C. Planta hidroeléctrica Jurún Marinalá

Esta central se encuentra ubicada en la aldea Agua Blanca, interior de la finca El Salto, departamento de Escuintla. Está considerada como una central de regulación diaria ya que cuenta con un embalse para operar a las horas de mayor demanda. Su capacidad total es de 60 MW, con tres unidades de 20 MW cada una.

**Cuadro 7**

#### **Transformadores de central hidroeléctrica Jurun Marinala**

Cantidad	Capacidad	Marca	Ubicación	Peso total (Ton)	Peso aceite (Ton)	Tipo de aceite	Año de fabricación	Estado
<b>Transformadores &gt; 500 KVA</b>								
3	26500 KVA	Brown Boveri	Subestación	51	15	Mineral / No BPC	1968	Bueno
1	3000 KVA	Siemens	Subestación	18.76	6.445	Mineral / No BPC	2000	Bueno
<b>Transformadores ≤ 500 KVA</b>								
2	500 KVA	Brown Boveri	Subestación	4.1	1.5	Mineral / No BPC	1968	Bueno
1	100 KVA	Howard	Bodega	0.642		Mineral / No BPC	No indica	Bueno
1	10 KVA	General Electri	Desfogue			Mineral / No BPC	1990	Bueno
1	15 KVA	Cooper	Desfogue			Mineral / No BPC	2002	Bueno
2	10 KVA	Dowzer Electri	Desfogue			OA/ Mineral		Bueno
1	25 KVA	ABB	Desfogue			OA/ Mineral	1991	Bueno
1	15 KVA	ABB	Desfogue			Mineral / No BPC	1997	Bueno

Fuente: Elaboración propia

Durante la recopilación y pruebas efectuadas en esta central, se pudo determinar que los seis transformadores, que se encuentran en la subestación como lo son los transformadores de las salidas de las tres unidades (Brown Boveri de 265,000 KVA) y los transformadores de servicios auxiliares (Brown Boveri de 500 KVA), no presentaron presencia de PCB. Además, cada transformador se encuentra en buen estado, libre de fugas y derrames, considerándose como un lugar seguro para el personal que ingresa a la subestación.

El transformador de capacidad de 3000 KVA, según dato de placa, está libre de PCB (fecha de fabricación 2000) encontrándose en buenas condiciones de operación.

Se pudo observar que los transformadores de menor capacidad para distribución de energía en menor voltaje (5,10, 15 y 25 KVA) y que se encontraron colocados a un costado del desfogue del turbinamiento de las unidades generadoras, contenían su plaqueta. Según indicaciones de placa, cada uno de ellos, poseía una concentración de PCB menor de 25 ppm, lo cual dejan de ser peligrosos para la salud del ser humano.<sup>4</sup>

A pesar que estos transformadores no contienen PCB en concentraciones peligrosas, su ubicación y derrames puede presentar un riesgo para la fauna y flora del río Pajal por contaminación de aceite.

El transformador que se localizó en bodega con capacidad de 100 KVA, no poseía mayor información sobre fecha de fabricación ni el tipo de aceite que contenía. Además no fue posible efectuarle prueba de PCB, por lo que debe considerarse como si tuviera, para evitar riesgos al personal y al ambiente. La

---

<sup>4</sup> Capacitación y talleres sobre PCB en Guatemala, Environmental Technology International, del 9 al 10 de noviembre del 2006.

bodega no define un lugar específico para equipo contaminado con PCB, y sus instalaciones no llenan los requisitos para almacenar este equipo, ya que carece de ventilación y de muro de contención para derrames.

Se detectaron 27 toneles con aceite dieléctrico; éstos se analizaron parcialmente encontrándose sin contaminación de PCB. Cabe la duda de presencia de PCB en estos toneles ya que según comentarios de personal de la planta hidroeléctrica Palín I, fueron enviados toneles a la planta Jurún Marinalá. Este aceite provenía de mantenimientos efectuados a transformadores de la central hidroeléctrica Palín I cuyo trabajo de campo detectó presencia de PCB. Debido a esto se hace necesario efectuar un análisis más exhaustivo a estos toneles para estar seguros de la inexistencia de PCB en esta central.

Como seguridad para evitar el ingreso de aceites contaminados con PCB a esta central es necesario se contemple controles que prevengan el ingreso por cualquier vía, utilizando el kit Clor-on-oil para su análisis y revisión.

#### **D. Planta hidroeléctrica Los Esclavos**

Esta central se encuentra ubicada en el municipio de Cuilapa, departamento de Santa Rosa; aprovecha el recurso hídrico del río Los Esclavos, para generar con dos unidades generadoras, cada una de 7 MW. Sus turbinas son de tipo Francis. Esta central está clasificada como una hidroeléctrica de regulación diaria.

De los cinco transformadores mayores de 500 KVA que posee esta central, y con base a pruebas y lecturas de placa, no están contaminados con PCB. Cuatro transformadores se encuentran en el almacén, a cielo abierto con piso de cemento, presentando algunos derrames en las llaves de salida de aceite.

**Cuadro 8**  
**Transformadores de central hidroeléctrica Los Esclavos**

Cantidad	Capacidad	Marca	Ubicación	Peso total (Ton)	Peso aceite (Ton)	Tipo de aceite	Año de fabricación	Estado
<b>Transformadores &gt; 500 KVA</b>								
1	20 MVA	Efacec	Salida principal	30	6.5	Mineral / No PCB	2001	Bueno
1	250-15000 KVA	Siemens	Almacén	25	6	Mineral / No PCB	1965	Obsoleto
3	2000 KV	Alstom	Almacén			Mineral / No PCB	1965	Bueno
<b>Transformadores ≤ 500 KVA</b>								
1	220 KVA	Siemens	Sotano I	1.07	0.36	Contiene PCB	1966	Bueno
3	25 KVA	Howard IND.	Casa de máquinas	0.20				Bueno
3	25 KVA	Howard IND.	Embalse	0.18				Bueno
3	25 KVA		Colonia INDE					Bueno
3	25 KVA		Dique					Bueno
1	10 KVA		Almacén					Bueno
6	5 KVA	General Electric	Almacén					Obsoleto

Fuente: Elaboración propia

La estructura donde está ubicado no presenta ninguna contención de aceite en caso de derrames. A pesar de que no existe contaminación con PCB, las condiciones no son las adecuadas para resguardarlo, ya que la condiciones climáticas (lluvia y sol) deterioran este equipo hasta provocarle mayores daños, lo cual provocaría derrames mas significativos con riesgos de contaminación al suelo por aceite. El desorden dificulta tener un mejor control de derrames y de las condiciones de los transformadores (Ver figura 6).

El transformador de 2 MVA que se encuentra a un costado de la casa de máquinas y que funciona como transformador principal de la planta se encuentra en buenas condiciones. Este transformador es uno de los más recientes que tiene esa central con fecha fabricación 2001 utilizando aceite mineral según datos de placa.

Esta central cuenta con dos transformadores de potencia; uno se encuentra en uso y otro en el almacén como inservible. El primero según datos de placa no posee PCB y en el caso del segundo, mediante la realización de prueba de PCB, se determinó que no contiene PCB.

**Figura 6**  
**Transformadores de corriente ubicados en el almacén**



Fuente: Elaboración propia

De los transformadores menores de 500 KVA, que se listan en el cuadro 6, el transformador que se encuentra en el sótano de la casa de máquinas y que se utiliza para servicios auxiliares del equipo de la casa de máquinas, contiene PCB según información de placa. Éste se encuentra con pequeños derrames, debajo de las llaves de salida del aceite y está protegido con malla para prevenir su acceso directo con este equipo. El ambiente donde se encuentra, presenta poca ventilación, pudiendo representar un riesgo en la salud del personal que ingresa a esta área debido a que generalmente no entran con mascarilla.

Este equipo ha sido sometido a varios años de operación desde su fecha de fabricación (1966) encontrándose vulnerable con algunos daños debido a los años de operación que ha tenido (Figura 7).

**Figura 7****Transformador ubicado en el sótano, 220 KVA**

Fuente: Elaboración propia

Los demás transformadores que se encuentran en el rango menores de 500 KVA son de distribución, los cuales la mayor parte se encuentran en uso colocados en los postes. De éstos, seis transformadores de 5 KVA están fuera de operación e inservibles, encontrándose en el almacén de la central hidroeléctrica en una forma desordenada y mezclada con otros equipos y a cielo abierto. No se pudo identificar la presencia de PCB, ya que no tenían datos de placa y en ese momento no se contaba con herramienta y personal técnico para sacar la muestra de aceite para su análisis con el Kit. Estos equipos deben manejarse cuidadosamente debido a la incertidumbre de presencia de PCB, colocándolos en un lugar bajo techo y fuera de otros equipos.

El almacén de esta central hidroeléctrica es un área que se encuentra cercana al embalse de regulación de la Planta (Figura 8), perimetrada con malla y muros de block, a cielo abierto. Esto no garantiza la seguridad de los equipos contra los efectos de la precipitación pluvial, el vandalismo, derrames, etc.

**Figura 8**  
**Ubicación del almacén de la planta hidroeléctrica Los Esclavos**



Fuente: [www.earth.com](http://www.earth.com)

Por otro lado existe un terreno denominado “área de planificación para el manejo de cuenca” donde se planifica la protección de cuencas, que se encuentra al Noroeste del almacén de la central hidroeléctrica Los Esclavos (Figura 9) y donde se localizan algunas viviendas habitadas por gente del lugar. En esta área se encuentran almacenados cuatro toneles con aceite dieléctrico y otro tipo de sustancias, así como tres bobinas sumergidas en aceite dieléctrico de repuesto para el transformador de 15 MVA, marca Siemens que se encuentra fuera de servicio. Mediante prueba de análisis se determinó que los toneles no contenían PCB; sin embargo el resultado del aceite en que se encuentran sumergidas las bobinas fue positivo con presencia de PCB en concentraciones mayores de 50 ppm (no era PCB puro).

Figura 9

Localización de los cilindros con PCB área de planificación de cuencas



Fuente: [www.earth.com](http://www.earth.com)

Estos recipientes se encuentran montados en un pequeño bordillo de concreto en la parte trasera de una vivienda (Ver figura 10). En esta vivienda, a su alrededor, solo existe vegetación y otras casas dispersas sobre un suelo sin ningún recubrimiento. Estos cilindros no presentan derrames ni fugas de aceite, pero su ubicación no es la más adecuada, ya que están cerca de viviendas pudiendo ser objeto de manipulación.

**Figura 10**  
**Cilindros que almacenan bobinas contaminados con PCB, cercanos a una vivienda**



Fuente: Elaboración propia

#### **E. Planta hidroeléctrica Santa María**

Esta central hidroeléctrica se encuentra ubicada en Santa María de Jesús, municipio de Zunil, Departamento de Quetzaltenango. Cuenta con tres unidades generadoras con una potencia disponible por unidad de 2 MW. Utiliza el río Samalá para generar la energía eléctrica y está considerada como una hidroeléctrica de regulación diaria.

Se encontró que existen cinco transformadores mayores de 500 KVA y se les realizó pruebas de PCB en cada uno de ellos encontrando contaminado únicamente el que se encuentra en la subestación con marca Cenemesa de 1500 KVA. Este transformador es del año de fabricación de 1970 en estado de funcionamiento y en sus condiciones físicas presenta unas partes oxidadas especialmente en los radiadores, a pesar de esto no hay fugas por el momento.

**Cuadro 9**  
**Transformadores de central hidroeléctrica Santa María**

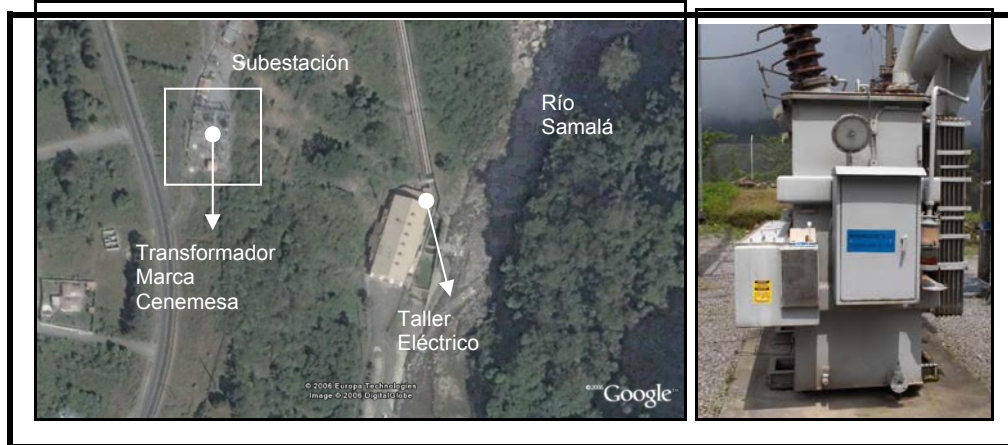
Cantidad	Capacidad	Marca	Ubicación	Peso total (Ton)	Peso aceite (Ton)	Tipo de aceite	Año de fabricación	Estado
<b>Transformadores &gt; 500 KVA</b>								
1	3000 KVA	Alsthom Savoisisienne	Casa de máquinas	8.4	2.6	Mineral /No PCB	1967	Regular
1	2500 KVA	Siemens	Casa de máquinas		2.6	Mineral /No PCB	1960	Regular
1	2500 KVA	Elin	Casa de máquinas	9.9		Mineral /No PCB		Fuera de uso
1	1500 KVA	Cenemesa	Subestación	8.9	3.29	Contiene PCB	1970	En uso
1	14,000 KVA	Pauwels Trafo Belgium	Subestación	23.58	1542.85 gal	Mineral /No PCB	1988	Bueno
<b>Transformadores ≤ 500 KVA</b>								
1	250 KVA	Electrisehe	Taller industrial		54 gal		1966	Vacío
1	175 KVA	Siemens	Taller industrial		40 gal	Mineral /No PCB	1969	Inservible
3	10 KVA	Mc Graw Edison	Taller eléctrico		10 gal	Mineral /No PCB	1969	Inservible
1	5 KVA	General Electric	Taller eléctrico		5 gal	Contiene PCB	1989	Inservible
1	5 KVA	General Electric	Taller eléctrico		5 gal		1989	Vacío
1	3 KVA	Line Material	Taller eléctrico		8 gal		29/12/1969	Vacío
1	5 KVA	Line Material	Taller eléctrico		8 gal		27/12/1969	Vacío
1	10 KVA		Taller eléctrico		15 gal		1980	Vacío
1	11 KVA		Taller eléctrico		15 gal		1980	Vacío
1	5 KVA	Distribution Trans	Taller eléctrico		7 gal		jun-88	Vacío
1	10 KVA	General Electric	Taller eléctrico		8 gal		24/07/1969	Vacío

Fuente: Elaboración propia

Está montado sobre una pequeña estructura de cemento, el cual no posee retención de líquidos y a su alrededor esta cubierto de piedrin permitiendo fácilmente filtraciones en el suelo (Ver Figura 11). Este transformador le pertenece a la Empresa de Generación de Energía Eléctrica del INDE. Se hace esta observación ya que también existen otros transformadores que le pertenecen a la Empresa de Transporte de Energía Eléctrica, los cuales no están considerados en este estudio.

Las condiciones climáticas que se presentan en lugar como lluvia, niebla y humedad, podrían dañar más rápidamente este equipo; se considera implementar un control sobre este equipo para evitar fugas de aceite en el área y contaminación del suelo.

Figura 11

**Transformador marca Cenemesa, 1500 KVA, subestación Santa María**

Fuente: Elaboración propia

Los otros cuatro transformadores en el rango mayores de 500 KVA que no están contaminados con PCB, según pruebas efectuadas, se encuentran ubicados estratégicamente en la casa de máquinas y la subestación. Tres están en funcionamiento y otro fuera de uso. Este último se encuentra en la casa de máquinas sin fugas y derrames, por lo que es necesario sacarlo fuera de la casa de máquinas y colocarlo en un lugar adecuado para equipos de transformación sin PCB para ir dejando libre y en orden el área de la casa de máquinas.

Los transformadores en uso de la casa de máquina se ven deteriorados ya que presentan algunas partes de oxidación, en un ambiente con equipo de muchos años de operación (45 años aproximadamente). Estos no presentan fugas ni derrames, pero es necesario mantener un monitoreo constante.

Dentro de los transformadores menores de 500 KVA y menores de 11 KVA (distribución) cuatro contienen aceite dieléctrico y siete más se encuentran vacíos. Todos estos transformadores pequeños se encuentran en el taller eléctrico de la casa de máquinas en forma desordenada y mezclados con otros materiales.

A los transformadores que contenían aceite se les hizo prueba de PCB, detectando uno contaminado de 5 KVA marca General Eléctric (ver Cuadro 9). Además de éstos, se encuentran otros dos uno con capacidad de 250 KVA, marca Electrisehe, vacío y otro de 175 KVA marca Siemens con aceite pero sin contaminación de PCB. Todos estos transformadores se encuentran mal ubicados ya que esta no es área de almacenamiento sino de reparaciones en donde se encuentra personal laborando.

Aunado a esto, el hecho de contar con un equipo contaminado con PCB y mezclados con otros materiales, aumenta el riesgo en la salud del personal por derrames. Para minimizar este riesgo debe considerarse el traslado de estos transformadores a un lugar específico de almacenamiento, ubicándolos en forma ordenada y etiquetados donde indiquen si tienen o no PCB. Todo bajo las medidas de seguridad.

#### **F. Planta hidroeléctrica El Porvenir**

La central hidroeléctrica se encuentra ubicada en el municipio de El Porvenir, departamento de San Marcos y consta de una unidad generadora tipo pelton de 2 MW de potencia disponible. Los ríos que utiliza para abastecer el embalse de regulación para su generación son los ríos Cabúz, Chapa y Tzoc.

En esta central se pudo constatar según los datos recopilados y la visita a esta central, que existe un transformador de 4.2 MVA, siendo el mas grande dentro de la subestación el Porvenir. Este transformador es sometido una vez al año a mantenimiento menor<sup>5</sup>; y se pudo observar que se encuentra en buen estado, sin derrames y fugas.

---

<sup>5</sup> Comentarios del personal de mantenimiento de la Planta

**Cuadro 10**  
**Transformadores de central hidroeléctrica El Porvenir**

Cantidad	Capacidad	Marca	Ubicación	Peso total (Ton)	Peso aceite (Ton)	Tipo de aceite	Año de fabricación	Estado
<b>Transformadores &gt; 500 KVA</b>								
1	4.2 MVA	Pauwels Trafo Belgium	Subestación	12.8	3.4	No PCB	1988	Bueno
<b>Transformadores ≤ 500 KVA</b>								
1	2300 V/220 V	AEG	Subestación	0.31	0.07	No PCB	1961	Regular
1	17.5 KV	Unelec	Subestación			No PCB	1966	Regular
2	2.5 KV	Electrisehe	Subestación	0.8	0.36		1966	Regular
1	2.5 KV		Subestación		0.28		1966	
1	25 KV							

Fuente: Elaboración propia

Debido a que no fue posible llegar con el equipo del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales a este lugar solamente se consideró la recopilación de los datos en forma visual; las placas de identificación no presentaban que tipo de aceite contenían. Debido a esto, se puede decir que a pesar que el transformador de 4 MVA es de la misma línea del que se encuentra en la subestación Santa Maria y no se encontró PCB, debe manipularse con las medidas de seguridad. Esto hasta que no se determine con una prueba con el kit de PCB, para prevenir cualquier riesgo tanto al personal como al ambiente. Este transformador no se encuentra expuesto al suelo ya que está montado sobre una estructura de concreto, tal como se puede apreciar en la figura 12.

Por otro lado existen dos transformadores pequeños que se utilizan para los servicios auxiliares y que se encuentran en la subestación en buen estado; tienen una capacidad de 17.5 KVA y de 2.30 KV con años de fabricación de 1966 y 1961 respectivamente. Estos no indican en la placa de identificación, qué tipo de aceite utilizan, por lo que debe manipularse con las medidas de seguridad para equipo contaminado con PCB, para garantizar la protección al personal y al ambiente.

**Figura 12**  
**Transformador de 4 MVA, subestación El Porvenir**



Fuente: Elaboración propia

Estos transformadores poseen una malla perimetral para evitar el acercamiento de personas a este equipo. El riesgo de contaminación del suelo en caso de derrames está presente, debido a que en las estructuras donde se encuentran montados los transformadores, no hay ningún área para contención de líquidos (ver Figura 13). Además, el suelo donde se encuentran estos transformadores permite con facilidad la penetración de líquidos ya que está cubierto con piedrín.

Por último, se encontraron otros dos transformadores de 2.5 KV marca Electrisehe que están en buen estado, fueron fabricados en 1966 y no indican el tipo de aceite en la placa de identificación. Estos no están protegidos con ninguna malla perimetral, pero sí tienen un rótulo de “peligro de muerte alto voltaje”. La estructura donde se encuentran montados es de metal, sin base, no siendo adecuada para contener derrames de aceite dieléctrico. Esto permite la filtración directa con el suelo, debido a que éste no está cubierto con cemento sino con piedrín.

**Figura 13**  
**Transformadores de 2.3 KV y 17.5 KVA de servicios auxiliares de la planta hidroeléctrica El Porvenir**



Fuente: Elaboración propia

Estos transformadores deben manipularse con las medidas de seguridad como si estuvieran contaminados con PCB, hasta que no se les efectúe pruebas de PCB. Según comentarios de personal de mantenimiento, a estos transformadores se les ha hecho cambio de aceite, por lo que presenta un escenario inseguro sobre si existe o no está sustancia.

### **G. Planta hidroeléctrica El Salto**

Esta central se encuentra ubicada en la Finca San Luis Buena Vista, departamento de Escuintla. Cuenta con una capacidad instalada de 5 MW, con dos unidades tipo Francis de eje horizontal. La última unidad generadora fue puesta en servicio en el año de 1954.

**Cuadro 11**  
**Transformador de central hidroeléctrica El Salto**

Cantidad	Capacidad	Marca	Ubicación	Peso total (Ton)	Peso aceite (Ton)	Aceite dieléctrico	Año de fabricación	Estado
1	5000 KVA	Westinghouse	Subestación			Contiene PCB	1979	Bueno

Fuente: Elaboración propia

Dentro de esta central se encontró, en el patio de transformación un transformador de 5000 KVA marca Westinghouse, de fecha de fabricación 1979. Este transformador presentaba su identificación y en el cual indicaba lo siguiente: “rellenado con aceite libre de PCB”. Esta identificación no coincide con la realidad ya que según las pruebas que se efectuaron, contenía concentraciones mayores de 50 ppm de PCB. Este resultado podría deberse a dos causas: primero, a la presencia de la humedad y lluvia en el momento en que se efectuó esta prueba; y segundo, es que probablemente sí contenía PCB. Es posible que durante el mantenimiento de este transformador existió contaminación cruzada. Para mayor seguridad debe manejarse como si tuviera PCB.

Este transformador se encuentra montado sobre un pequeño muro de cemento y el piso donde se encuentra la subestación se encuentra cubierta con piedrin, pudiendo presentarse una contaminación directa con el suelo en caso de algún derrame. Se encuentra restringida el área de paso por una malla perimetral para el ingreso de personas protegiendo la integridad del personal.

Debido a la falta de pruebas eléctricas al transformador donde incluyen análisis de aceite, análisis de condición del papel y condiciones de operación del transformador después de varios años de operación hacen que exista incertidumbre sobre sus condiciones de operación. Si los resultados no estuvieran en los parámetros adecuados existiría el riesgo de una falla interna provocando un incendio y contaminando la atmósfera por el humo con altas concentraciones de dioxinas y furanos.

Además dentro de la misma subestación se encuentra un interruptor de potencia (disyuntor), el cual utiliza aceite dieléctrico para su funcionamiento. Estos interruptores son de tecnología antigua, ya que los que se encuentran en la actualidad utilizan gas SF<sub>6</sub>. Al interruptor se le hizo prueba de PCB,

obteniendo resultados negativos. Las condiciones de las instalaciones donde se encuentra son las mismas del transformador de potencia.

Se le efectuó prueba de PCB a un tonel de aceite dieléctrico que se encontraba en la subestación, obteniendo resultados negativos. Éste debe ser trasladado a un lugar adecuado para esa sustancia, para evitar contaminación por derrames al río que pasa cerca de la subestación.

#### H. Planta hidroeléctrica Palín I

Esta central se encuentra ubicada en la finca San Esteban, municipio de Palín, departamento de Escuintla. Esta central se construyó en el año de 1894 con dos turbinas tipo Pelton; se adicionó una turbina tipo Francis en 1927. La central dejó de operar en el año de 1998 a raíz de la dificultad de adquirir repuestos para esta central por la antigüedad de la tecnología.

### Cuadro 12

#### Transformadores de central hidroeléctrica Palín I

Cantidad	Capacidad	Marca	Ubicación	Peso total (Ton)	Peso aceite (Ton)	Tipo de aceite	Año de fabricación	Estado
3	500 KVA	General Electric	Subestación			PCB puro	1886	Inservibles
2	100 KVA	General Electric	Subestación			No contiene PCB		Inservibles

Fuente: Elaboración propia

Durante la visita que se realizó a esta central se pudo determinar que existen en la subestación de Palín I tres transformadores del año de 1886, con una capacidad de 500 KVA (relación 2400/69,000), marca General Electric, fabricados en USA, los cuales se encuentran fuera de operación. Mediante pruebas se determinó que contienen PCB y se estima que la capacidad volumétrica de cada uno de estos equipos es de aproximadamente 550 galones.

**Figura 14**  
**Vista satelital de casa de máquinas y subestación Palín I**



Fuente: [www.earth.com](http://www.earth.com)

En el año de 1998, uno de los transformadores fue dañado por una roca que bajó de una montaña aledaña a la casa de maquinas. Esto provocó el rompimiento a un transformador, causando el derrame de 550 galones de aceite dieléctrico, contaminando el suelo y posiblemente el río Michatoya el cual se encuentra a pocos metros de este sitio.

Actualmente se tienen colocados recipientes metálicos para recibir el aceite proveniente de la fuga; a pesar de esto existe derrame de aceite a su alrededor (ver figura 15). Afortunadamente donde se encuentra montado este transformador es de concreto, lo cual ha evitado la contaminación directa con el suelo. El resto de la subestación está cubierto con pedrín y también está protegida con malla para restringir el ingreso de personal.

A este derrame no se ha prestado atención por lo que se ha estado impactando en el suelo desde que sucedió dicho evento. Para verificar qué concentración de PCB posee es necesario tomar muestras del suelo y llevarlas

a laboratorios especializados en la materia; según los resultados se estarían tomando acciones al respecto para su descontaminación.

**Figura 15**  
**Transformadores de 500 KVA en la subestación Palín I**



Fuente: Elaboración propia

Los otros dos transformadores de 500 KVA están contaminados con PCB y se encuentran sin fugas; sin embargo, existe el riesgo de estar expuestos al mismo incidente que se presentó en el transformador que se hizo mención anteriormente (derrumbes o desprendimiento de rocas). Esto provocaría un desastre mayor tanto para la contaminación del río Michatoya que pasa a unos metros de esta subestación, así como para la salud de los trabajadores que se encarga de la seguridad de la central.

Dentro de la subestación se encuentran otros dos transformadores con capacidad de 100 KVA. Estos se encuentran fuera de operación; uno tiene aceite dieléctrico y el otro está vacío. Este aceite no presenta PCB según pruebas efectuadas en el sitio pero su permanencia en el lugar y la presencia de fenómenos naturales o acciones humanas, podrían provocar derrames de este aceite contaminando el suelo y al río Michatoya.

El INDE ha estado considerando utilizar esta central hidroeléctrica como museo; para esto debe descontaminar y limpiar el área de la subestación para ofrecer un lugar seguro a los visitantes.

### I. Planta hidroeléctrica Palín II

Esta central se localiza en el municipio de Palín, departamento de Escuintla, tiene una capacidad de 5 MW en dos unidades de 2.5 MW con turbinas tipo francis de eje horizontal. Está considerada una central a filo de agua e inició operaciones en el año 2005.

**Cuadro 13**

**Transformador de central hidroeléctrica Palín II**

Cantidad	Capacidad	Marca	Ubicación	Peso total (Ton)	Peso aceite (Ton)	Tipo de aceite	Año de fabricación	Estado
1	6800 KVA	ABB	Planta	20	7.92	Mineral / No PCB	2001	Bueno

Fuente: Elaboración propia

La central por ser una de las mas recientes en entrar a operación posee un equipo mas moderno. El transformador que utiliza se encuentra libre de PCB; según indica la placa de identificación posee aceite mineral. Éste se encuentra en buenas condiciones y aislado por una malla perimetral el cual evita el paso de personas no autorizadas.

Debe tomarse en cuenta, cuando se requiera ingresar equipos y toneles con aceite a esta central, la investigación correspondiente para determinar el origen y tipo de aceite. Si existiera incertidumbre, utilizar el kits desechable para pruebas de PCB. Esto mantendrá la central libre de esta sustancia.

**Figura 16**  
**Casa de máquinas Palín II**



Fuente: Elaboración propia

#### **J. Central hidroeléctrica Chichaic**

Esta central es la más pequeña de las centrales del INDE, localizándose en el municipio de Cobán, departamento de Alta Verapaz. Dispone de dos turbinas tipo francis con capacidad de 0.280 KW cada unidad.

El transformador de bloque de esta central fue analizado visualmente únicamente ya que no se contaba con personal técnico para realizar la prueba de PCB. Sus condiciones son perfectas externamente ya que presenta un buen recubrimiento de pintura y sin derrames y fugas, cimentado en un muro de concreto. La seguridad de acceso es seguro ya que presenta una pared de block y malla que lo rodea.

Este transformador por la fecha de fabricación (1963), puede contener PCB, por lo que debe ser manejado con los procedimientos adecuados para esta sustancia peligrosa, hasta que no se deduzca lo contrario.

**Cuadro 14**  
**Transformador de central hidroeléctrica Chichaic**

Cantidad	Capacidad	Marca	Ubicación	Peso total (Ton)	Peso aceite (Ton)	Tipo de aceite	Año de fabricación	Estado
1	750 KVA		Casa de máquinas	0.218		S	1963	bueno

Fuente: Elaboración propia

### **K. Central térmica Escuintla**

La central se encuentra ubicada en la finca Mauricio, departamento de Escuintla. Inició operaciones con dos turbinas de gas en el año de 1969, siendo estas turbinas de gas, marca General Electric, con una capacidad de 12.5 MW cada una.

En el año de 1972 se instaló la primera planta generadora a vapor marca AEG, con una capacidad nominal de 33 MW. Continuó el crecimiento de esta central con la instalación de dos turbinas de gas marca TPM con una capacidad nominal de 25 MW cada una, en el año de 1976. Durante el año de 1977 se amplió la capacidad de esta central con la instalación de otra unidad de vapor, marca BREDA, con una capacidad nominal de 53 MW. En el año 1989 se instaló una turbina de Gas marca TPM de 41 MW de capacidad nominal.

Actualmente se cuenta únicamente con la Unidad de Gas No. 5 marca TPM con una capacidad de 15 MW para suministrar electricidad al sistema. Las demás unidades se encuentran fuera de servicio por daños electromecánicos (Lopez; 2007).

**Cuadro 15**  
**Transformadores de central térmica Escuintla**

Cantidad	Capacidad	Marca	Ubicación	Peso total (Ton)	Peso aceite (Ton)	Tipo de aceite	Año de fabricación	Estado
<b>Transformadores &gt; 500 KVA</b>								
1	4 MVA	AEG	Central térmica Escuintla	11	3,3	Mineral	1970	Bueno en uso
1	7,5 MVA	Tecnomasio Italiano Brown Boveri	Central térmica Escuintla	16.8	4.6	Mineral	1975	Bueno F/uso
1	60 MVA	Tecnomasio Italiano Brown Boveri	Central térmica Escuintla	75.5	19	Mineral (OF-AF)	1975	Bueno F/uso
1	4 MVA	AEG	Subestación	12.8	4.3	Mineral	1970	Bueno F/uso
1	9.3 MVA	Tecnomasio Italiano Brown Boveri	Subestación	22.2	6	Mineral (ONAN)	1975	Bueno en uso
1	90 MVA	Ansaldo	Área de unidad de gas 5	82.92	19.41	Mineral (OF-AF)	1997	Bueno en uso
1	32 MVA	Hawker Siddeley	Área de unidad de gas 4	58	15	Mineral	1976	Regular F/uso
1	32 MVA	Hawker Siddeley	Área de unidad de gas 3	58	15	Mineral	1976	Regular en uso
1	1375 KVA	Trafo Union	Lateral izquierdo sala de cable primer nivel	3.76	0.9	OF, presencia PCB	1970	En buen estado, sin derrames
1	1150 KVA	Tecnomasio Italiano Brown Boveri	Sala 480 V, I Nivel			Onan, PCB puro	1975	Presenta derrames, y esta en uso
1	1150 KVA	Tecnomasio Italiano Brown Boveri	Bodega principal, I Nivel			PCB puro	1975	Esta quemado y fuera de uso. No contiene aceite dielectrico. Presenta pequeños derrames.
1	1250 KVA	Trafo Union	Sala 480 V, I Nivel	2.63	0.59	Onan, presencia de mas de 50 ppm de PCB	1991	Esta en buen estado y en uso, no presenta derrames.
1	12 MVA	General Electric	Área de unidad de gas 2	60.5	15.35	Contiene PCB		Fuera de uso
<b>Transformadores ≤ 500 KVA</b>								
1	450 KVA	PIVI Milano	Casa de máquinas, II Nivel	2.2	0.78	Lnan, presencia de mas de 50 ppm de PCB	1974	Se encuentra con pequeños derrames y esta en uso.
1	300 KVA	Tecnomasio Italiano Brown Boveri	Sala 480 V, I Nivel			PCB puro		Se encuentra con derrames y esta en uso para servicios auxiliares
1	300 KVA	Tecnomasio Italiano Brown Boveri	Sala 480 V, I Nivel			PCB puro		Se encuentran con derrames y esta fuera de uso
1			Bodega principal, I Nivel			no PCB		Se encuentra sin derrames y esta fuera de uso
1	15 KVA		Frente a bodega de materiales					Uso
1	25 KVA		Lateral derecho bodega materiales					Bueno F/ uso
1	15 KVA		Lado izquierdo comedor					Malo
1	15 KVA		Tras el comedor					Malo
1	15 KVA		Tras el comedor					Bueno
3	50 KVA		Tras la Unidad de gas No. 5					Bueno / uso
3	50 KVA		Tras la Unidad de gas No. 3					Bueno / uso
1	15 KVA		Tras casa de ingenieros					Bueno / uso
1	25 KVA		Frente a gasolinera					Bueno F/ uso
1	10 KVA		Frente a gasolinera					Malo
3	25 KVA		Lateral bombas de abastecimiento bunker					Bueno / uso

Fuente: Elaboración propia

La central cuenta con un total de diecisiete transformadores de potencia, de los cuales ocho se encuentran dentro de la casa de máquinas y nueve se encuentran en varios lugares dentro de la central. En la casa de máquinas, se encuentran varios en áreas como la Sala de 480 V, con cuatro transformadores de diferente capacidad. Tres de ellos tienen PCB puros, según pruebas realizadas y por información de la placa.

El otro transformador con una capacidad de 1150 KVA (figura 17), indicaba que no contenía PCB según placa. Al momento de realizarle la prueba de PCB resultó que sí contenía; esto indica que existió una contaminación cruzada, el cual pudo darse en algún mantenimiento.

Todos estos transformadores presentan fugas en algunas partes de su estructura y se encuentran montados sobre un piso con imitación a granito, sin rotulación ni protegidos con alguna estructura de restricción de contacto directo (malla).

La ventilación de este lugar no es suficiente, para la cantidad de equipos que se encuentran en esta sala, ya que las ventas existentes no son suficientes para este lugar. En caso de una fuga severa en algún transformador dentro de esta sala, podrían presentarse altas concentraciones de gases tóxicos que dañarían la salud de las personas que ingresaran al lugar.

Como parte de las instalaciones de la casa de maquinas de la central térmica Escuintla, se encuentra la bodega principal ubicada en el primer nivel, donde se almacenan dos transformadores fuera de operación. El transformador de 1150 KVA marca Tecnomasio Italiano Brown Boveri, según se indica en el cuadro 14, presenta pequeños derrames y su aceite dieléctrico contiene PCB puro según pruebas realizadas. El otro que no se pudo identificar, por la baja visibilidad de su plaqueta, no presentaba PCB, según pruebas efectuadas con el Kit Clor-N-Oil 50, ni tampoco derrames. Este transformador está inservible.

Las condiciones de ventilación así como la infraestructura donde se encuentran estos dos transformadores dentro de la bodega son adecuadas; sin embargo, se encuentran almacenados con otros materiales en forma desordenada sin ninguna rotulación de precaución de contaminación por PCB,

presentándose riesgos para el personal en caso de manipulación de este equipo.

**Figura 17**  
**Transformador en la sala 480 V, casa de máquinas**



Fuente: Elaboración propia

La infraestructura de esta nave industrial se considera apropiada para almacenarlos ya que cuenta con un gran espacio y buena ventilación.

Otro transformador de 1375 KVA, Trafo Union, que se encuentra en la sala de cables en el primer nivel de la casa de máquinas, está protegido con malla perimetral lo cual evita contacto directo y se encuentra montado sobre rieles para ser movilizado, con piso de cemento. Además no presenta derrames ni fugas de aceite dieléctrico. Todas estas condiciones son favorables para el personal que transita en el área. El único inconveniente que presenta es que en la placa indicaba que estaba libre de PCB, pero al realizarle la prueba se detectó la presencia en concentraciones mayores de 50 ppm de PCB, lo cual indica que existió una contaminación cruzada. Debe etiquetarse y tomarse las medidas respectivas al momento de realizar su mantenimiento.

En el segundo nivel de la casa de máquinas se encontró un transformador de 450 KVA marca PIVI Milano (Figura 18) cuya placa indica la existencia de PCB por el tipo de enfriamiento que utiliza, verificándose con la prueba de PCB. El transformador presenta pequeños derrames y está expuesto directamente al personal ya que no tiene ninguna malla perimetral, existiendo el riesgo de contacto por las personas que transitan por el área. Al momento de limpiar los derrames debe tenerse cuidado con los utensilios que se utilicen ya que estos estarían considerados como desechos contaminados con PCB.

De los nueve transformadores que se encontraron fuera de la casa de máquinas, como el área de las unidades de Gas, subestación y a un costado de la casa de máquinas solamente se detectó un transformador contaminado con PCB, siendo este el de la unidad de Gas 2, que se encuentra fuera de uso. Éste está montado en dos vigas de cemento, sobre un área cubierto de piedrín, sin encontrarse ningún indicio de derrame. Actualmente no presenta ningún riesgo para el ambiente ni para el personal. Se recomienda identificarlo como equipo con sustancias peligrosas.

**Figura 18**

**Transformador marca PIVI Milano, 450 KVA**



Fuente: Elaboración propia

Los transformadores que corresponden a las unidades de Gas 3, 4 y 5 se encuentran libres de PCB según pruebas efectuadas y datos de placa. En estos se observaron derrames considerables sobre el suelo, existiendo contaminación al suelo y contaminación visual.

Los transformadores de la EGEE que se encuentran en la subestación, además que se encontraron libres de PCB según pruebas y datos de placa, cuentan con infraestructura de montaje y de protección adecuada contra derrames y para la seguridad de los trabajadores.

Los tres transformadores que se encontraron a un costado de la casa de máquinas están libres de PCB; cuentan con un muro de concreto de protección de incendios y están montados sobre una estructura de cemento para retención de líquidos. Estas condiciones no representan riesgo alguno para el ambiente ya que permanecen sin derrames.

Los transformadores de distribución menores de 50 KVA, y que se encontraron ubicados en los postes y en funcionamiento, no fue posible su prueba de aceite debido a su ubicación. Debe considerarse las medidas necesarias para el mantenimiento respectivo a estos transformadores por desconocerse el tipo de aceite que contiene.

Además existen otros transformadores de distribución, que se encontraron fuera de uso, pero cercanos al comedor de esta central y frente a la gasolinera desconociéndose el tipo de aceite que contienen. No fue posible efectuar las pruebas de PCB ya que no se disponía de herramientas adecuadas y ni de recurso humano para desmantelar estos transformadores ya que hay que destaparlos para su toma de muestra de aceite. Deben manejarse con las medidas de seguridad apropiadas para la manipulación de transformadores por desconocerse el tipo de aceite que utilizan y para evitar accidentes que afecten la salud del personal y el ambiente.

Mención especial merecen los comentarios del Jefe de Planta y de la encargada de Seguridad Industrial quienes indicaron la existencia de seis toneles de 55 galones de aceite dieléctrico cada uno con PCB que fueron enterrados desde hace aproximadamente diez años en una fosa séptica de concreto. Durante el transcurso del tiempo ha crecido la vegetación, llegando a desconocerse el punto donde fueron enterrados. Se desconoce en qué estado se encuentran estos toneles, por lo que se recomienda efectuar una investigación exhaustiva por personal capacitado del INDE o una empresa particular especializada en el manejo de esta sustancia.

#### L. Central geotérmica Calderas

Esta central se encuentra ubicada en la aldea San Vicente de Pacaya, cerca de la laguna Calderas, municipio de Amatitlán. Cuenta con una unidad generadora de 5 MW de potencia instalada.

### Cuadro 16

#### Transformadores de central geotérmica Calderas

Cantidad	Capacidad	Marca	Ubicación	Peso total (Ton)	Peso aceite (Ton)	Tipo de aceite	Año de fabricación	Estado
<b>Transformadores &gt; 500 KVA</b>								
1	7 MVA	General Electric	Calderas	31.51	10.39	Mineral	1998	Repara Uso
<b>Transformadores ≤ 500 KVA</b>								
1	150 KVA	Continental Electric	Calderas	0.955	0.255	Mineral	1999	Uso
1	150 KVA	I.G.	Calderas	0.83	0.223	Mineral	1998	Uso
1	30 KVA		Calderas	0.14				Uso

Fuente: Elaboración propia

La central cuenta con un transformador principal de 7MVA, General Electric, que se encuentra en el patio de transformación de la planta. Éste se encuentra protegido con malla perimetral para evitar contacto directo y montado sobre una estructura de concreto. El aceite que utiliza como dieléctrico en el transformador, es de tipo mineral según datos de placa y el año en que fue fabricado es de 1998, estando libres de PCB.

Las condiciones que presentan los transformadores de distribución menores de 500 KVA, no muestran condiciones de riesgo para el ambiente y la integridad de los trabajadores ya que se encuentran en buen estado y por ser de fecha de fabricación de la década de los '90 no contienen PCB.

Para el transformador de 30 KVA, por no indicar el año de fabricación debido a la falta de plaqueta y al no efectuarle prueba de PCB debido a que está en servicio; deben tomarse las medidas precautorias para su manejo como equipos contaminados con PCB.

#### **M. Resumen general de los transformadores de las centrales del INDE**

De la investigación realizada se pudo visualizar en placa y pruebas colorimétricas en los transformadores de bloque y otros transformadores de distribución de las centrales hidroeléctricas Chixoy, Jurún Marinalá, Palín II y la geotérmica Calderas, que no existía presencia de PCB.

Para las centrales generadoras de Aguacapa, Esclavos, Santa María, El Salto, Chichaic, central térmica Escuintla se identificaron equipos contaminados con PCB en diferentes concentraciones de cloro, representando un 68% para equipo con PCB puro y un 32% para equipo en concentraciones menores de 500 ppm de un total de 25 equipos contaminados con PCB. Esta clasificación se puede apreciar el cuadro 17.

Del total de toneles que se identificaron con PCB en las centrales, un 96% pertenecen a la central hidroeléctrica Aguacapa (250 toneles de 55 galones) y el 4% a la central térmica Escuintla (6 toneles).

**Cuadro 17**  
**Resumen de transformadores, toneles y recipientes de las**  
**centrales generadoras**

Descripción	Transformadores											Toneles		Cilindros con PCB 50-500 ppm	
	Mayores de 500 KVA					Total	Menores de 500 KVA					Total	PCB 50-500 ppm		Sin PCB
	Secos	Mineral	PCB 50-500 ppm	PCB > 500 ppm	Desconocido		Secos	Mineral	PCB 50-500 ppm	PCB > 500 ppm	Desconocido				
Planta hidroeléctrica Chixoy	3	9				12	16					16			
Planta hidroeléctrica Aguacapa		5				5			1	8		9	250		
Planta hidroeléctrica Jurún Marinalá		4				4		9				9		27	
Planta hidroeléctrica Los Esclavos		5				5				1	19	20			3
Planta hidroeléctrica Santa María		4	1			5		4	1		8	13			
Planta hidroeléctrica El Porvenir					1	1					5	5			
Planta hidroeléctrica El Salto			1			1									
Planta hidroeléctrica Palín I				3		3		2				2			
Planta hidroeléctrica Palín II		1				1									
Planta hidroeléctrica Chichaic			1			1									
Central térmica Escuintla		8	3	2		13		1		3	17	21	6		
Central geotérmica Calderas		1				1		2			1	3			
<b>Totales</b>	<b>3</b>	<b>37</b>	<b>6</b>	<b>5</b>	<b>1</b>	<b>52</b>	<b>16</b>	<b>18</b>	<b>2</b>	<b>12</b>	<b>50</b>	<b>98</b>	<b>256</b>	<b>27</b>	<b>3</b>

Fuente: Elaboración propia

## N. Análisis general y específico

A continuación se presentan algunas observaciones de las visitas que se hicieron a las centrales generadoras del INDE, clasificándose en aspectos generales y específicos.

### 1. Generales

a. La mayoría del personal de las centrales generadoras, en especial a nivel operativo y técnico desconocen la peligrosidad de los PCB y sus fuentes, corriéndose el riesgo de ingresar a la central estas sustancias y de manejarse en forma inadecuada.

b. Existen en la mayoría de transformadores de potencia pequeños derrames de aceite dieléctrico abajo de la válvula de aceite del transformador, presentándose riesgos a la salud del personal para aquellos que contienen PCB y al ambiente.

c. En las centrales generadoras no existen herramientas de control sobre las condiciones físicas externas de cada transformador.

d. En las centrales generadoras no existen procedimientos en caso de emergencias por eventualidades en los transformadores con PCB

e. Los lugares de almacenamiento en la mayoría de las centrales no llenan los requisitos para guardar equipos y recipientes con PCB. Faltan ventilación y medidas de seguridad para la salud y el ambiente en cada sitio.

f. La mayoría de veces las jefaturas de las plantas se han enfocado más en el mantenimiento del equipo electromecánico de generación que se encuentra en la casa de máquinas (turbinas, paneles, tuberías), no así al equipo de transformación que se encuentra en la subestación de cada central, siendo también importante para el funcionamiento de las mismas. Esto ha provocado descuido en las condiciones de los transformadores, corriendo el riesgo de que se presenten fallas internas o derrames en algún transformador con PCB.

## **2. Específicos**

a. En la central hidroeléctrica Aguacapa se presentan en los transformadores contaminados con PCB fugas de aceite dieléctrico en las válvulas de tomas de muestra de aceite.

b. La existencia de equipos y recipientes contaminados con PCB, cercanos a viviendas y ecosistemas como es el caso de las centrales generadoras Aguacapa, Los Esclavos y Palín I ponen en riesgo la salud de los habitantes y del ambiente.

c. La inadecuada gestión en el almacenamiento de toneles, transformadores de distribución y otros recipientes con aceite dieléctrico contaminados con PCB, en las centrales hidroeléctricas Aguacapa, Los Esclavos y Santa María ponen en riesgos la salud del personal y del ambiente.

d. Los problemas ambientales que se pudieron detectar durante este estudio fue debido a derrames de aceite dieléctrico no contaminado, que se presentaron en los transformadores de las unidades de gas de la central térmica Escuintla y la mala ubicación y forma de almacenamiento de toneles con PCB en las diferentes centrales generadoras.

e. Otro problema ambiental es el derrame de aceite dieléctrico contaminado con PCB en la subestación de Palín I como consecuencia del daño que sufrió un transformador que estaba fuera de operación.

## VIII. PLANES DE MANEJO PARA EQUIPOS CON PCB

Este capítulo presenta dos planes de manejo; el primero para empresas públicas o privadas que dispongan de transformadores y recipientes contaminados con PCB y la otra para las centrales generadoras del INDE que tienen transformadores y toneles de aceite dieléctrico contaminados con PCB.

### A. Plan de manejo para empresas que dispongan de transformadores y recipientes contaminados con PCB

Para llevar a cabo cada plan de manejo debe tomarse en cuenta cinco ejes. Estos son: i) regulatorio (base legal para implementar el plan); ii) tecnológico (como se van a manejar estos equipos con PCB); iii) capacitación (preparación para el manejo); iv) financiero (recursos a necesitar); y v) recursos humanos (personal a participar en el plan).

1. **Eje regulatorio.** El plan de manejo debe basarse en la legislación existente en Guatemala relacionada con el manejo de sustancias químicas peligrosas. En Guatemala no existe legislación específica para el manejo de PCB; sin embargo se cuenta con una normativa emitida por la Comisión Nacional de Energía Eléctrica y con los convenios internacionales que el país ha firmado y ratificado. Estos convenios, al ser ratificados por el Congreso de la República se convierten en Ley de observancia general en el país.

En el tema de sustancias químicas peligrosas Guatemala ha ratificado el Convenio de Basilea (14 de febrero 1995, según Decreto Legislativo No. 03-95). Sus disposiciones técnicas y jurídicas que en el se enmarcan sobre uso, manejo y eliminación de los PCB, deben ser cumplidos general en el país.

La normativa específica, emitida por la Comisión Nacional de Energía Eléctrica, se denomina Norma de Transformadores Monofásicos Sumergidos

en Aceite para Distribución en Baja Tensión: Convencionales y Autoprotegidos (Resolución 31;2000) y fue impulsada por Empresa Eléctrica de Guatemala quien a su vez es la encargada de su revisión periódica y aplicación

Actualmente existe a nivel de propuesta una normativa impulsada por la Comisión Nacional de Energía Eléctrica para el establecimiento de normas ambientales para el subsector eléctrico del país. Ésta ha sido revisada, entre otras instancias, por el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, destinando un capítulo para tratar el manejo de los PCB (Plan de Acción para el manejo racional de PCB para Guatemala, 2006).

A nivel general y desde el punto de vista de la conservación del ambiente y de los recursos naturales, se puede mencionar la *Constitución política de la República de Guatemala* que en sus artículos 64, 97 y 119 especifica que el Estado velará por la conservación y protección al ambiente.

En particular, el artículo 97 originó la Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente (decreto legislativo 68- 86 del Congreso de la República). En el artículo 8 se indica que para todo proyecto, obra, industria o cualquier otra actividad que por sus características puede producir deterioro a los recursos naturales renovables o no al ambiente será necesario realizar previamente a su desarrollo un estudio de evaluación de impacto ambiental. Esta evaluación está reglamentada por el Reglamento 23-2003 donde se presentan varios instrumentos de evaluación ambiental.

De acuerdo a dicho reglamento, para el caso de las hidroeléctricas o empresas que ya estén operando y que posean PCB se aplica un diagnóstico ambiental el cual consiste en la elaboración de un estudio para determinar las acciones correctivas necesarias para mitigar impactos adversos. Para el caso de nuevas generadoras eléctricas deberá realizarse una evaluación de impacto ambiental según listado taxativo.

2. **Eje tecnológico.** En este eje se consideran las tecnologías en Guatemala para la eliminación de PCB y acciones para el manejo adecuado de esta sustancia.

En Guatemala no existe tecnología para la eliminación de desechos y de aceites dieléctricos contaminados con PCB (MARN, 2006).

La disposición final o eliminación de equipos contaminados generalmente son tratados y eliminados en otros países desarrollados como Estados Unidos, Inglaterra, Francia, Suiza o España que cuentan con la tecnología para la revalorización y eliminación de contaminantes ambientales. Dentro de estas empresas están TRECA (Tratamiento Revalorización y Eliminación de Contaminante Ambientales) que es de origen Francés y Tecnología Ambiental Internacional (TAI) de Suiza. Estas empresas cuentan con tecnología para eliminar cualquier tipo de concentración en equipos contaminados.

Con respecto al manejo de transformadores y toneles con aceite dieléctrico que contienen PCB se han definido acciones que a continuación se presentan:

**a. Inventario inicial.** Al iniciar un plan de manejo es necesario conocer la cantidad y localización de los equipos con PCB. Esto puede lograrse efectuando un inventario en cada central generadora. Para esto deben considerarse las características en los equipos de transformación, como la capacidad, marca, origen, fecha de fabricación, tipo de aceite, peso del aceite, peso total del equipo y estado actual. Estas características ayudarán a realizar un análisis de cada transformador y una estimación de la cantidad de aceite que se encuentre contaminado para su eliminación.

**b. Pruebas de PCB.** Antes de realizar el análisis es necesario saber si los equipos presentan PCB. Para esto se efectúan pruebas a través de Kits de ensayo colorimétricos (Clor-on-oil 50) para identificar la presencia de PCB. Este kits podrá utilizarse cuando se presente un equipo o toneles con incertidumbre sobre la presencia de esta sustancia. Otros medios por el cual se detecta PCB son las placas de identificación ya que ahí se observa el tipo de aceite que pueda contener. La otra forma es a través de la densidad del aceite ya que este es más denso que el agua, observándose que el aceite queda reposado en el fondo del recipiente donde se tome la muestra.

Otros instrumentos que pueden utilizarse para detección de PCB son: Clor-n-Soil-kits, L2000 PCB/analizador de cloro, DR/2010 Espectrofotómetro portátil, DR/800 Colorímetros. Estos instrumentos pueden ser utilizados durante el inventario del equipo con PCB.

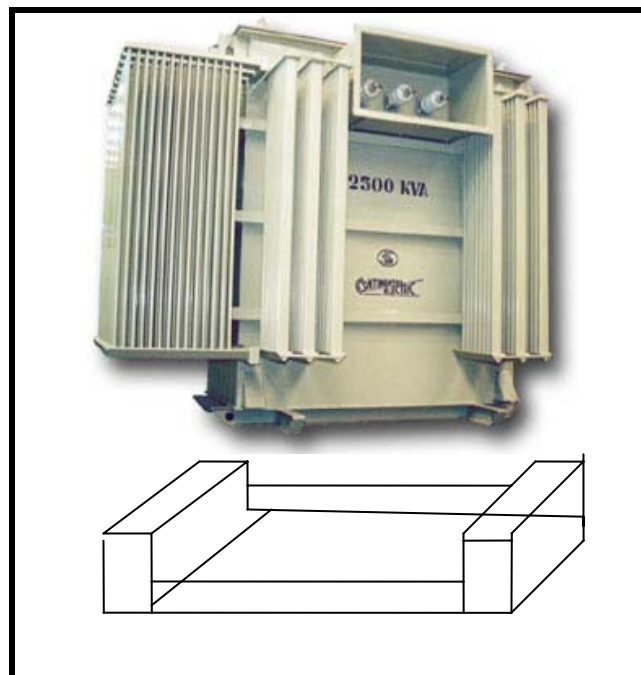
**c. Análisis de riesgos por PCB.** Una vez identificados los equipos contaminados con PCB deberán analizarse los riesgos existentes en el sitio donde se encuentra localizado y sus alrededores. De este análisis dependerán las acciones a implementarse para minimizar los riesgos que se presenten.

**d. Mejoras en la estructura de montaje de transformadores.** Se deben construir estructuras de cemento para retener aceites donde se encuentran montados transformadores con capacidades mayores a 250 MVA para evitar la contaminación directa al suelo en caso de derrames o fugas. En la figura 19 se presenta un ejemplo.

**e. Transporte.** Para el traslado de toneles y o equipos contaminados con PCB hacia otro lugar deben considerarse cajas de metal o recipientes capaces de retener líquidos. Estos deben ir acompañados con baldes de arena para descontaminar el suelo en caso de derrames durante el traslado. Esta arena una vez utilizada para limpieza de derrames, debe guardarse en bolsa de

plástico almacenándose en toneles etiquetados como producto contaminado y peligroso. Los toneles a utilizar deben ser los recomendados por la Organización de las Naciones Unidas (Clase ONU: UN1A1). Estas acciones que se menciona anteriormente sólo es aplicable para el traslado interno en la empresa.

**Figura 19**  
**Diseño para retención de aceites en transformadores**



Fuente: Elaboración propia

**f. Almacenamiento.** Para resguardar transformadores de distribución y potencia fuera de servicio o en stock con PCB debe de contarse con bodegas de almacenamiento que llenen los siguientes adecuados. Estos requisitos pueden ser: buena ventilación, poseer techo, contar con piso hermético o plancha de cemento y que se encuentre debidamente rotulado con el mensaje respectivo, ubicados en forma ordenada y libres de otros materiales.

Estas instalaciones deben ser exclusivamente para transformadores o recipientes con PCB. Los toneles deben ser montados

sobre estibas de madera de doble nivel para prevenir la condensación y subsecuente corrosión de metales. Los toneles deben estar asegurados de tal manera que se prevenga el derrame accidental en el caso de emergencias. Los toneles deben estar colocadas sobre una bandeja de acero con capacidad para almacenar un 125% del volumen total del líquido (TRECA,2006) .

Cada material y equipo debe estar separado dentro del almacén con su respectiva rotulación de precaución (ver anexo 4).

**g. Herramientas para el control de transformadores.** Se debe considerar la elaboración de formatos impresos y después digitalizados para recabar información sobre características de cada transformador, mantenimientos realizados, cambios de aceite y otros datos que puedan utilizarse para tomas de decisiones. Ejemplo de este formato se puede apreciar en el cuadro 18.

**h. Disposición final.** Existe una variedad de opciones tecnológicas para la destrucción de PCB; éstas dependerán de la concentración de cloro que se presente en los equipos. La más usada es la incineración con diferente instalación como incineradores de hornos rotatorios, incineradores de inyección líquida, incineradores de inyección estática, incineradores de cama fluidiza y hornos de cemento.

Los incineradores por hornos deben alcanzar temperaturas mayores de 1100 °C para evitar generar dioxinas y furanos al ambiente. Los hornos de cemento también deben alcanzar estas temperaturas para llenar los requisitos mínimos de operación evitando impactos al ambiente. Estos límites deben ser supervisados y autorizados por la autoridad competente.

**Cuadro 18**  
**Formato de control sobre eventos en los transformadores**

Ciudad	
Subestación	

<b>Datos transformador</b>			
Transformador No.			
Ciudad de origen de fabricación			
Serie No.			
Año de fabricación			
Capacidad (kVA)			
Relación de Voltaje (HV/LV)	kV /		kV
Corto circuito impedancia Usc (%)			
Peso total incluyendo líquido de enfriamiento (Kg)			
Cantidad de líquido de enfriamiento (Kg)			
Peso excluyendo el aceite de enfriamiento (Kg)			
Dimensiones (ancho, largo, alto ) cm			
Dentro o fuera de uso			
Condiciones del transformador			
Contiene PCB			
Información de PCB se basó en:	Plaqueta:	Clor-N-Oil:	Análisis:

Fecha	Descripción del mantenimiento efectuado

Fuente: Formato de registro de equipos en central hidroeléctrica Aguacapa

Existen otras opciones las cuales podrán ser consideradas por las empresas dependiendo de la conveniencia económica que se tenga a estas tecnologías. Éstas pueden incluir hidrogenación, gasificación, evado-incineración, dechloración química, reducción de sodio, entre otros.

**i. Medidas de seguridad.**

1) Para ingresar a lugares donde se encuentre almacenado equipo con PCB se debe contar con autorización de la Jefatura de planta. El personal deberá contar con equipo de protección, tales como respirador/purificador de aire, ropa antiquímicos con capucha (overoles tivex), guantes antiquímicos para trabajo pesado, botas de acero, gafas de protección, casco. Los guantes deben desecharse en lugares apropiados una vez que se hayan utilizado.

2) En caso de contacto con PCB deben aplicarse las siguientes acciones inmediatas contando con el apoyo de un médico en cada uno de los que aparecen en el cuadro 19.

3) En caso de derrames de aceites dieléctricos contaminados con PCB de transformadores o recipientes se debe seguir el siguiente procedimiento:

a) Asegurarse que el personal esté equipado con vestimenta de protección apropiada para PCB; delimitar un perímetro de seguridad para ventilar las instalaciones usando los medios disponibles; limitar el derrame de PCB sellando la brecha (con trapos, filmes plásticos) y usando absorbentes como arena, aserrín, cemento, tierra Fuller.

b) Para limpiar el piso: Si es hermético, raspar y usar vapor para ablandar los PCB. No usar solventes clorados, sino únicamente detergentes suaves como detergentes líquidos lavavajillas que contiene niveles bajos. Esto con la finalidad de evitar la emisión de vapores contaminantes.

### Cuadro 19

#### Acciones inmediatas en caso de exposición a PCB

Tipo de exposición	Medida a tomar
Líquido de PCB en la piel	Usar agua y jabón para lavarse completamente
Líquido de PCB en los ojos	Enjuagar los ojos con agua tibia durante 15 minutos, siempre manteniendo los ojos abiertos.
Líquido de PCB en la boca y el estómago	Enjuagar la boca con agua, no beber ningún líquido, y ver inmediatamente al doctor
Alta concentración de vapores de PCB	Llevar a las personas al aire libre

Fuente: Folleto de Capacitación y talleres sobre PCB en Guatemala. noviembre 2006. Pag. 13

c) Para limpiar el piso: Si es hermético, raspar y usar vapor para ablandar los PCB. No usar solventes clorados, sino únicamente detergentes suaves como detergentes líquidos lavavajillas que contiene niveles bajos. Esto con la finalidad de evitar la emisión de vapores contaminantes.

Si el piso no es hermético, debe removerse todos los pisos subterráneos contaminados, concreto, tierra, etc., para evitar contaminación en las aguas subterráneas. Si se llegara a determinar que existe el riesgo de contaminación de las aguas subterráneas se deben tomar inmediatamente medidas apropiadas para limitar, asentar y finalmente eliminar la contaminación.

d) Colocar todos los productos contaminados que se recogieron (aguas de lavado, tierras con niveles de contaminación superiores a 100 ppm<sup>6</sup>, vestimenta, etc), en contenedores herméticos para su destrucción.

<sup>6</sup> *Guía técnica para el manejo de equipo eléctricos con Bifenilos Policlorados (PCB).* Dany Fernando Fuentes Tul y Miguel de Jesús, USAC, pag. 31.

4) En caso de incendios de transformadores contaminados con PCB deben de tomarse las siguientes medidas:

a) Llamar a la brigada de incendio inmediatamente y cuidadosamente describir la situación para que utilicen los equipos apropiados contra el incendio. Si existiera duda sobre el contenido de los dispositivos sobre si contiene PCB debe considerar el equipo como si lo tuviera.

b) Apagar las fuentes de energía

c) Herméticamente sellar los cuartos o el edificio entero. Cerrar los sistemas de ventilación

d) Evacuar a las personas de los edificios que corresponda en contra de la dirección del viento.

e) Informar a las autoridades competentes, en detalle acerca del incidente, para que estos puedan dar instrucciones a las personas y poder evacuarlas si fuera necesario.

5) Cercar alrededor de la zona contaminada y restringir el acceso. Permitir el acceso a esta zona sólo al personal que lleve el equipo de protección apropiado. Al acercarse deben considerar la dirección del viento para evitar los gases emanados.

**3. Eje de capacitación.** La capacitación es un aspecto importante que debe considerarse para el buen manejo de equipos y recipientes que contengan PCB, minimizando los riesgos en el ambiente y en la salud de personal que manipula estos equipos. Para esto se necesita implementar un programa dentro de cada empresa sobre capacitación, en todos los niveles de

la organización. Los principales temas a impartir se pueden observar en el cuadro 20.

**4. Eje financiero.** Las empresas que realicen un plan de manejo para transformadores o recipientes contaminados con PCB deberán considerar dentro de su presupuesto anual montos adecuados para el manejo ambientalmente racional de estos equipos y recipientes, siendo estos los rubros por construcciones, equipo de protección, materiales, kits de pruebas para PCB, rotulación.

Además deberán establecer un programa de sustitución de los transformadores contaminados con PCB por tecnologías más limpias como por ejemplo transformadores secos o transformadores con aceite mineral.

Para la eliminación de equipo y aceite dieléctrico contaminado con PCB podría considerarse la ayuda financiera de instituciones internacionales. Dentro de éstas están Banco Internacional de Desarrollo, Secretaria del Convenio de Basilea del PNUMA, Comunidad Económica Europea, y/o facilidades de pago con empresas especializadas que realizan estos tipos de trabajos.

**5. Personal a participar en plan de manejo.** Las personas involucradas en el plan de manejo serían las autoridades de cada empresa iniciando con la anuencia de la Gerencia General, jefaturas de los sitios en donde se encuentren equipos con PCB, personal técnico en el área mecánica y eléctrica, jefatura del Departamento de Seguridad Industrial, jefatura del Departamento de Capacitación, personal del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, catedráticos de Universidades, empresas de servicios profesionales para la descontaminación y eliminación de equipos con PCB.

**Cuadro 20**  
**Actividades de capacitación a diferentes niveles de la organización**

Nivel Jerárquico	Temas a impartir	Fuentes de expositores
Jefaturas y Subjefaturas de empresas, subjefaturas de áreas de mecánica y eléctrica	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ¿Qué son los PCB?</li> <li>- Sus congéneres</li> <li>- Implicaciones en el ambiente y la salud</li> <li>- Medidas de seguridad para el almacenamiento, transporte</li> <li>- Medidas de seguridad para el manejo de estos equipos con PCB</li> <li>- La legislación que regula esta sustancia.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales como parte del proyecto PCB en Guatemala.</li> <li>- Centro Guatemalteco de Producción más Limpia, como institución capacitada en el tema por empresas especializadas para la eliminación de PCB.</li> </ul>
Personal Profesional, técnico mecánicos, eléctricos y auxiliares	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Conceptos de PCB</li> <li>- Implicaciones en el ambiente y la salud</li> <li>- Características de los PCB</li> <li>- En donde se pueden encontrar</li> <li>- Medidas de seguridad para el almacenamiento de equipo con PCB y toneles con aceite dieléctrico contaminado, medidas para transportarlo de un lugar a otro, la importancia de su rotulación.</li> <li>- Equipos de protección a utilizar cuando se manipulan equipos con PCB</li> <li>- Procedimientos para el manejo de equipos que contienen PCB</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Compañías especializadas para la eliminación de desechos peligrosos.</li> <li>- Universidades, por catedráticos conocedores en el tema.</li> <li>- Organismos Internacionales como Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente.</li> </ul>

Fuente: Elaboración propia

### **B. Plan de manejo para casos específicos encontrados en algunas centrales generadoras del INDE**

Este plan de manejo se enfoca solamente a las centrales generadoras del INDE en donde se encontraron transformadores, toneles y recipientes contaminados con PCB. Así también para sitios que han tenido derrames considerables. Este plan de manejo también toma en cuenta aspectos de tipo

tecnológico, capacitación, financiero, regulatorio y personal involucrado en su desarrollo.

**1. Eje regulatorio.** Este eje considera los aspectos legales que impulsan a tomar acciones sobre los PCB. Es por eso que el INDE debe tomar en cuenta, para elaborar el plan de manejo, el marco legal existente en el país relacionado con las regulaciones sobre sustancias tóxicas peligrosas, siendo estas:

a. Convenio Internacional de Basilea (ratificado el 15 de mayo 1995)

b. Convenio de Estocolmo (firmado por Guatemala el 29 de enero 2002, pendiente de ratificación)

c. Norma Transformadores Monofásicos Sumergidos en Aceite para Distribución en Baja Tensión: Convencionales y Autoprotegidos, emitida por la Comisión Nacional de Energía Eléctrica (Resolución 31,2000)

También deben considerarse las regulaciones que velen por la protección del ambiente la cual se menciona en la página 65, inciso A, del plan de manejo para empresas que dispongan de transformadores y recipientes contaminados con PCB.

**2. Eje tecnológico.** En Guatemala no existen tecnologías para eliminar los transformadores y toneles de aceite dieléctrico contaminados con PCB en concentraciones mayores de 500 ppm de cloro. Estos deben considerar su exportación para su disposición final por empresas especializadas sometidos a incineración.

Para transformadores en concentraciones mayores de 50 ppm y menores de 500 ppm de cloro, existen empresas extranjeras que prestan

servicios para la descontaminación de estos transformadores como el retrofilling, reducción con sodio los cuales son realizados en situ.

En este eje se han definido también algunas acciones técnicas y de seguridad para el manejo de los transformadores y recipientes con PCB localizadas en las centrales generadoras del INDE siendo estas:

**a. Planta hidroeléctrica Aguacapa.** Para los 250 toneles localizados en el campamento habitacional contaminados con PCB, deben ser ubicados en un lugar mas seguro para el personal y el ambiente. Para su traslado deben considerarse las medidas de seguridad las cuales se describieron en el plan de manejo general para PCB.

Actualmente se encuentra en el campamento una casa habitacional abandonada y retirada de las demás viviendas (ver Figura 20), proponiéndose como una opción para la ubicación de estos toneles. Esta casa necesita la siguiente remodelación para almacenar estos toneles:

- 1) Remodelación de ventanas existentes
- 2) Construcción de nuevas ventanas para mantener una mejor ventilación y claridad
- 3) Pintura general por el interior y exterior
- 4) Efectuar un recubrimiento del piso de cemento con pintura époxica
- 5) Efectuar un diagnóstico de las condiciones del techo y reparaciones correspondientes

6) En la entrada a cada ambiente debe construirse un muro de concreto de 20 cm de alto para retener fugas.

7) Deben sellarse drenajes y grietas con cemento, recubierto con pintura époxica.

**Figura 20**

**Área a considerar para almacenamiento de toneles en planta Aguacapa**



Fuente: Elaboración propia

Estos toneles al momento de su traslado, deben seguirse las medidas que se mencionan en el plan de manejo general para transporte. Esta operación debe supervisarse por personal de la central para que se cumplan con los procedimientos y medidas de precaución.

Para el almacenamiento de los toneles, deben estibarse hasta un máximo de dos toneles en cada ambiente. Estos toneles deben rotularse con la etiqueta correspondiente (Ver anexo 4).

El control físico de estos toneles es importante considerarlo. Para esto es necesario monitorearlo a través de inspecciones visuales, llevando un

registro trimestralmente. Este registro se llevará en el formato propuesto en el cuadro 21.

Para el manejo de los transformadores que contienen PCB y que se encuentran en la bodega principal de esta central es necesario efectuar las acciones siguientes:

1) Remodelar las ventanas del almacén de manera que puedan tener entrada de aire y obtener un ambiente más ventilado.

2) Corregir las fugas leves en las válvulas de aceite; con el debido equipo de protección.

3) Ordenarlos en un solo lugar dentro de este almacén, separados de otros equipos o materiales a una distancia de 1.2 metros como mínimo (CONAMA de Chile, 2004).

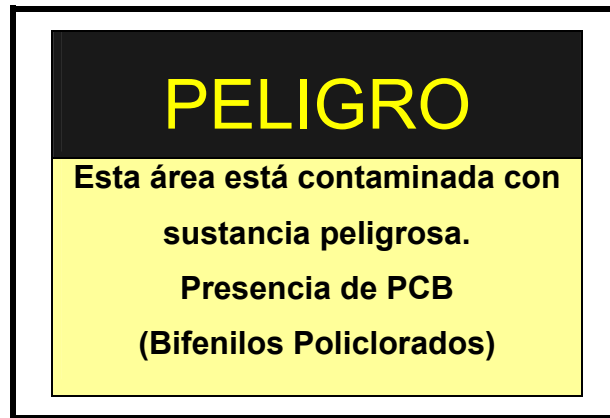
4) El lugar donde vayan a estar ubicados, colocar una capa impermeabilizadora, buscando el máximo de impermeabilización posible.

5) Construir un muro de concreto para retención de líquidos a una altura de 30 cm.

6) Rotular el lugar donde se encuentran estos transformadores como peligrosos debido a la presencia de PCB en concentraciones mayores de 500 ppm de clorificación (Figura 21).

7) Las personas que realicen el movimiento de estos transformadores deben considerar el equipo de protección adecuado para el manejo de esta sustancia (anexo 3).

**Figura 21**  
**Rotulación para áreas peligrosas por presencia de PCB**



Fuente: elaboración propia

8) Restringir el ingreso de personal a esta instalación. Solo personal autorizado.

9) Controlar el estado de este equipo a través de inspecciones visuales una vez por trimestre. Este control se deberá registrar a través del formato propuesto (ver cuadro 21).

**b. Planta hidroeléctrica Los Esclavos.** Para el caso de la Planta Los Esclavos, como primera actividad es la remodelación del almacén.

1) Colocar techo al almacén donde se dispondrán los equipos o recipientes contaminados con PCB.

2) Mejorar el piso, colocando una plancha de cemento, cubierta con una capa impermeabilizadora, buscando el máximo de impermeabilización posible, pues aun el concreto como tal no es garantía para lograr esta condición.

3) Construir un muro a su alrededor con 1.5 metros de altura más un metro cubierto de malla hasta llegar al techo.

4) Trasladar los cilindros de bobinas con PCB que se encontraron en el área de planificación de manejo de cuencas de la manera siguiente:

- Asegurarse de que no existan fugas en estos cilindros antes de su traslado
- Considerar una caja de metal (Figura 22) para su traslado, tomando en cuenta las medidas de seguridad para esta actividad (ver medidas de seguridad en el plan de manejo para cualquier empresa que contiene PCB)
- La brigada de primeros auxilios de esta central debe participar en el traslado de los recipientes, velando por la seguridad del personal durante el recorrido.
- Rotular los cilindros con la etiqueta correspondiente como equipo contaminado con PCB (Ver anexo 4).
- Revisar estos recipientes a través de inspecciones visuales cuatrimestralmente, registrándose sus condiciones a través de un formato propuesto (ver cuadro 21).

**Figura 22**

**Caja de metal para traslado de toneles contaminados con PCB**



Fuente: Manual de Capacitación. Convenio de Basilea. 2003

Para el transformador de 220 KVA, ubicado en el sótano de la casa de máquinas, se deben efectuar las acciones siguientes:

1) Corregir fugas existentes por personal del INDE utilizando equipo de protección adecuado para el manejo de PCB.

2) Limpiar los derrames de aceite existentes, colocando en el área de trabajo arena para evitar de que el agua que se esté utilizando se escurra hacia otros lados. El recipiente y todos los materiales que se utilicen deben de desecharse por completo y guardarse en depósitos adecuados (bolsas, toneles) con su respectiva identificación. Esta limpieza debe de efectuarse con el debido equipo de protección personal (guantes, lentes, casco, mascarilla, botas y pantalón overol).

3) Etiquetar el equipo con su respectiva rotulación (ver anexo 4)

4) Revisar que la puerta de la malla de protección se mantenga cerrada.

5) Realizar inspecciones visuales cuatrimestrales, registrándose en el formato respectivo (cuadro 21) las condiciones encontradas en cada inspección.

**c. Planta hidroeléctrica Santa María.** Para el transformador de 1500 KVA marca Cenemesa que se encuentra en la Subestación de la Planta Santa María, contaminado con PCB es necesario implementar las siguientes acciones:

1) Limpiar y pintar externamente el transformador.

2) Construir un muro de retención de líquidos en todo el perímetro de la base donde se encuentra cimentado el transformador.

3) Rotular como equipo contaminado utilizando la etiqueta respectiva (anexo 4).

4) Supervisar cuatrimestralmente las condiciones de este equipo registrando esta supervisión en la tarjeta de control (cuadro 21).

Acciones para el manejo del transformador de distribución de 5 KVA, General Electric, ubicado en el taller eléctrico de la casa de máquinas:

1) Destinar un lugar específico para equipos contaminados con PCB, ya sea dentro de la bodega principal de la planta o la creación de un espacio con los requerimientos necesarios para el almacenaje de este equipo (ver figura 23 o plan de manejo general en almacenaje).

**Figura 23**

**Forma de almacenar transformadores de distribución**



Fuente: Guía técnica para el manejo de equipos eléctricos con bifenilos policlorados.

2) Etiquetar el transformador como equipo contaminado con la calcomanía respectiva.

3) Utilizar el equipo de protección personal adecuado para el traslado de este equipo (ver anexo 3).

4) Trasladar los transformadores de distribución que se encuentran en el taller eléctrico y que no están contaminados con PCB. Estos transformadores deben colocarse en el almacén en forma ordenada, alejados de otros materiales.

**d. Planta hidroeléctrica El Salto.** Para el transformador de potencia de 5000 KVA que se encuentra en la subestación de la planta El Salto debe considerarse lo siguiente:

1) Construir un muro de concreto (15 cm alto) para retención de líquidos alrededor del transformador cubierta con una capa impermeabilizadora.

2) Este transformador actualmente tiene colocado un rotulo donde indica que no posee PCB. Esta afirmación es falsa según las pruebas de PCB que se realizaron. Por tal razón se debe colocar la etiqueta correspondiente donde indique que contiene PCB.

3) Supervisar cuatrimestralmente este equipo registrando las condiciones en que se encuentra a través de la tarjeta de control (cuadro 21).

4) Efectuar mantenimiento mayor a este transformador por personal de empresas especializadas. Los mantenimientos menores como cambio de empaques, pintura general, cambio de bushing y otros que no involucren reparaciones internas, pueden realizarse por personal del INDE.

**e. Planta hidroeléctrica Palín I.** Acciones a implementarse para un manejo seguro de los tres transformadores de 500 KVA, marca General Electric de la planta hidroeléctrica Palín I.

1) Efectuar el vaciado de estos transformadores, con el debido cuidado y equipo de protección adecuado. Los toneles deben manipularse con las medidas de seguridad para PCB.

2) Los toneles donde se deposite el aceite contaminado con PCB deben estar en buenas condiciones (sin oxidación); preferentemente los recomendados por la ONU (Clase ONU: UN1A1).

3) El área de almacenamiento puede ser en algunos ambientes abandonados cercanos a la casa San Luis. Esta casa se encuentra a 800 metros aproximadamente de esta central. Estos ambientes pueden usarse siempre y cuando se mejoren sus instalaciones. Los trabajos que necesitarían serían reparaciones de paredes, pintura general, cambio de techo, instalación de piso de cemento con una capa impermeabilizadora, pues aun el concreto como tal no es garantía para lograr la impermeabilización. La instalación deberá contar con ventanas suficientes para obtener una buena ventilación evitando así acumulación de gases tóxicos por PCB.

4) Limpiar el derrame que se presenta en la losa que se encuentran en el patio de transformación tomando en cuenta las instrucciones que se indicaron en el plan de manejo general para derrames de aceite dieléctrico contaminado con PCB.

5) Los transformadores pueden permanecer sin aceite dieléctrico en la subestación, siempre y cuando sean pintados y etiquetados

respectivamente como equipo contaminado con PCB (Ver anexo 4). Deben ser descontaminados por empresas especializadas.

6) Restringir el ingreso a esta subestación permitiendo solamente personal autorizado. El personal que ingrese debe contar con su equipo de protección al área de la subestación de Palín I (Ver anexo 3).

Acciones para el manejo del suelo por derrame de aceite dieléctrico ocasionado en un transformador de la subestación de Palín I.

- 1) Restringir el ingreso a esta área.
- 2) Utilizar equipo de protección adecuado al ingresar a esta área (Ver anexo 3).
- 3) Identificar el área con rótulos de precaución mientras no se demuestre lo contrario (Ver figura 21).
- 4) Efectuar un muestreo del suelo. Esta muestra debe trasladarse a laboratorios o empresas que presten estos servicios para determinar las condiciones en relación a las concentraciones de PCB.

Si los resultados de estas pruebas fueran positivos se recomienda contratar a una empresa especializada en descontaminación de suelos con PCB para efectuar el trabajo correspondiente. La descontaminación puede efectuarse por varios métodos como la biodegradación o incorporación de filtros entre otros. Una vez finalizado el trabajo deberá solicitarse a la empresa contratada el protocolo de pruebas en donde se pueda determinar que las condiciones del suelo está fuera de contaminación.

**f. Central térmica Escuintla.** Únicamente sí el INDE cuenta con la capacidad para tomar acciones posteriores y medidas inmediatas al momento

de intervenir seis toneles con aceite dieléctrico con PCB almacenados en la fosa de esta central, para prevenir, mitigar y compensar impactos ambientales o riesgos a la salud se sugeriría realizar las siguientes acciones:

1) Identificar el área donde se encuentran enterrados estos toneles, perimetrando posteriormente con malla el área para evitar el ingreso de personal no autorizado, colocando su respectivo rotulo (Ver figura 21).

2) Remover la tierra para encontrar la fosa. Esta operación debe hacerse de manera pausada y precautoria y con herramientas livianas para evitar algún daño a la fosa. Este trabajo podrá ser efectuado por personal del INDE capacitado para el manejo de PCB.

3) Diagnosticar las condiciones de los toneles que se encuentran en la fosa, con las medidas de seguridad y equipo adecuado para manejo de PCB. Este trabajo deberá realizarse por empresas especializadas en el manejo de sustancias tóxicas.

4) Proceder a realizar la limpieza y cambio de toneles con los procedimientos indicados en el plan de manejo para empresas que contienen equipos con PCB, si los toneles se encuentran en mal estado. Este trabajo deberá realizarse por empresas especializadas en el manejo de sustancias tóxicas.

5) Cubrir la fosa con un techo de manera que no ingrese agua por precipitaciones pluviales. Además debe construirse canales a su alrededor.

6) Colocar las etiquetas correspondientes (ver anexo 4).

7) Supervisar los toneles de la fosa durante su estadía en esta central, registrándose cada supervisión en los formatos respectivos de control (ver cuadro 21).

**Cuadro 21**

FORMATO DE INSPECCIONES PARA EL PRODUCTO CONTAMINADO CON PCB				
<b>Transformador, condensadores y otro equipo</b>				
Tipo de equipo	_____	Nombre del fabricante	_____	
Pais de fabricación	_____	Fecha de fabricación	_____	
Modelo	_____	Número de serie	_____	
KVA	_____	Peso total (Kg)	_____	
Nombre del líquido	_____	Volumen (litros)	_____	
Concentración PCB (ppm)	_____	Tipo de análisis	_____	
¿Se ha drenado el equipo?	_____	¿Se ha tratado o dispuesto el equipo?	_____	
Si la respuesta es afirmativa ¿quién lo realizó?	_____	Fecha en que se realizó	_____	
<b>Recipientes o toneles</b>				
Tipo de líquido (Askarel, aceite mineral contaminado, otro)	_____			
Número de recipientes	_____			
Tipo de recipiente (Caneca, tambor, material)	_____			
Número de serie	_____			
Volumen (litros)	_____	Peso total (Kg)	_____	
Concentración PCB (ppm)	_____	Tipo de análisis	_____	
<b>Controles</b>				
Nombre del supervisor	Fecha	Estado	Anomalia detectada	Acciones a implementar

Fuente: Elaboración propia

**3 Eje de capacitación.** La capacitación sobre el manejo de equipos y toneles de aceite dieléctrico contaminados con PCB debe tomarse en cuenta en el Instituto Nacional de Electrificación debido a la presencia de esta sustancia identificada en el inventario realizado.

Esta capacitación deberá ir enfocada principalmente al personal de mantenimiento, ingenieros supervisores y jefaturas de centrales generadoras. Los temas a ser considerados por el Departamento de Capacitación del INDE para su programación de eventos serían los indicados en el cuadro 18. Debe considerarse la prioridad al personal operativo y de mantenimiento para su capacitación y entrenamiento para evitar los riesgos en la salud y en el ambiente.

**4. Eje financiero.** El INDE para llevar a cabo las actividades de manejo adecuado de PCB, necesitará asignar recursos económicos los cuales deberán considerarse en el presupuesto que tiene cada central generadora. Estos recursos se utilizarán en las acciones establecidas para minimizar riesgos al ambiente y a la salud por poseer equipos, toneles y sitios contaminados con PCB.

El INDE podría considerar como otras fuentes alternativas financieras como: préstamos no reembolsables en donaciones por la Unión Europea, préstamos por el Banco Interamericano de Desarrollo, donaciones por la Secretaria del Convenio de Basilea del Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente, donaciones como Fodacyt (fondos de donaciones para ciencia y tecnología) y cooperaciones extranjeras a través de embajadas acreditadas en nuestro país. Esta alternativa sería únicamente para eliminar los PCB en el extranjero por empresas especializadas, los cuales llegan a representar montos elevados.

Para el caso del INDE se ha realizado un cálculo estimado para cuantificar la cantidad de aceite dieléctrico contaminado con PCB en concentraciones mayores de 50 ppm de clorificación y PCB en concentraciones mayores de 500 ppm de las centrales generadoras (ver anexo 5). Este cálculo se hizo en base al inventario realizado en dichas instalaciones.

Algunos transformadores de las centrales generadoras, no indicaban el peso del aceite dieléctrico ni el peso del transformador por lo que para ello se aplicó un cálculo matemático, que a continuación se detalla:

Se utilizó la densidad del aceite dieléctrico de 1.50 Kg/litro y las dimensiones del transformador para determinar el peso del aceite con la formula:

$$\rho = m/v$$

$$(\rho) \times (v) = m$$

donde

$\rho$  = densidad del aceite dieléctrico contaminado con PCB

$v$  = volumen

$m$  = masa aceite dieléctrico

Posteriormente con el peso del aceite se estimó la distribución del peso del transformador así: peso del aceite dieléctrico 30%, peso de la carcasa 10% y peso del núcleo 60% (UNEP, 2003).

Para ejemplificar esta fórmula y distribución del peso, se tomará un transformador de 5 KVA con un volumen de 0.0189 m<sup>3</sup>.

$\rho$  = densidad del aceite dieléctrico = 1.50 Kg/lts.

$v$  = 0.0189 m<sup>3</sup>

$m$  = ?

$$1.50 \text{ Kg/lts} = 1500 \text{ Kg/m}^3$$

Entonces

$$(\rho) \times (v) = m \text{ aceite dieléctrico}$$

$$m = (1500 \text{ Kg/ m}^3) * (0.0189 \text{ m}^3)$$

$$m = 28.35 \text{ Kg}$$

Al aplicar la distribución de porcentajes indicados anteriormente quedaría así: 30% equivale al aceite dieléctrico y en este caso es 28.35 Kg, entonces por regla de tres, para la carcasa equivale a 9.45 Kg y el núcleo equivale al 60% siendo un 56.7 Kg. El total del peso del transformador es de 94.5 Kg.

Se realizó un recuento de todos los valores de peso de los transformadores contaminados con PCB que fueron localizados en las centrales generadoras del INDE (Ver anexo 5).

## Cuadro 22

### Resumen del peso del aceite dieléctrico, carcasa y núcleo de transformadores contaminados con PCB

Central Generadora	Peso total transformador >500 ppm Kg	Aceite dieléctrico > 50 ppm Kg	Carcasa y Núcleo > 50 ppm Kg
Hidroeléctrica Aguacapa	5,510.00	78,472.00	952.00
Hidroeléctrica Esclavos	1,070.00	509.40	226.60
Hidroeléctrica Santa María		3,318.35	6,924.00
Hidroeléctrica El Porvenir		3,584.08	9,868.16
Hidroeléctrica El Salto		4,599.35	10,733.15
Hidroeléctrica Palín I	4,080.00		
Hidroeléctrica Chichaic	218.00		
Central Térmica Escuintla	1,800.00	14,686.65	33,966.24
Total	12,678.00	105,169.83	62,670.15

Fuente: Elaboración propia

Después de haber hecho un inventario de todas las centrales es necesario incluir los 250 toneles de aceite dieléctrico de la planta hidroeléctrica Aguacapa con un peso de 78,064 Kg, que se encuentra contaminado en concentraciones > 50 ppm de cloro. Además es necesario incluir los seis toneles de aceite dieléctrico de la fosa que se encuentra en la central térmica Escuintla con un peso de 1,873.53 Kg los cuales se incluyen en el cuadro 22.

**Cuadro 23**  
**Costos de eliminación de PCB**

Descripción	Costos
Costos de transporte y destrucción de líquidos de PCB (concentración: 50-500 ppm)	US\$ 2.50 / Kg
Costos de descontaminación de cascos de equipos Contaminados (concentración: 50-500 ppm)	US\$ 0.80/ Kg

Fuente: Elaboración propia Manual de Capacitación para la preparación de un plan nacional de manejo ambientalmente adecuado de los bifenilos policlorados (PCB) y de equipos contaminados con PCB. 2003. Convenio de Basilea.

Con base en los costos presentados anteriormente, el costo para tratar el aceite contaminado sería de US\$ 262,924.57 y para la descontaminación de cascos de transformadores US\$ 50,136.12. Además, se debe incluir la eliminación de los transformadores en concentraciones > 500 ppm de clorificación con 12,678.00 Kg, con un costo de US\$ 4.20/Kg para un total de US\$ 53,247.60 (TRECA,2007).

El total estimado por los tres servicios sería de US\$ 366,308.29. Este dato podría variar dependiendo de la empresa y dependiendo del trabajo que efectuaría.

Los servicios especializados son ofrecidos por empresas de Estados Unidos, Inglaterra, Suiza, España y Francia, incluyendo dentro de su propuesta además de la eliminación de BPC el transporte. En algunos casos se pueden

obtener propuestas en donde el transformador podría tratarse en el sitio donde se encuentra localizado.

La decisión de descontaminar transformadores in situ entre 50 y 500 ppm de cloro está en función de factores como el estado del transformador, los años de operación y la facilidad de obtenerse repuestos en el mercado local.

**5. Personal involucrado en el plan de manejo de equipos con PCB en el INDE.** Los participantes que deben estar involucrados en el plan de manejo para equipos con PCB, son: Jefatura de Capacitación, Jefatura de Seguridad Industrial, Jefaturas y Subjefaturas de centrales generadoras, personal de mantenimiento en el área de mecánica y eléctrica, Gerente de la empresa de generación energía eléctrica, personal del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales y empresas profesionales para los servicios de eliminación de PCB y brigadistas de primeros auxilios (Bomberos voluntarios)

### **C. Plan de manejo para los transformadores y recipientes del INDE representado a través de la matriz del marco lógico**

A continuación se representa el plan para el manejo de equipos y recipientes localizados durante el inventario realizado en las centrales generadoras del INDE. Se presenta el objetivo general de este trabajo, así como sus objetivos específicos; los resultados esperados y las acciones que se implementarán para alcanzar estos resultados.

## Cuadro 24

### Plan de manejo para los transformadores y recipientes con PCB del INDE

Elementos del estudio	Logica de intervención	Indicadores objetivamente verificables	Fuentes y medios de verificación	Supuestos
<b>Objetivo general</b>	Elaborar un manual como herramienta para el manejo ambientalmente racional de equipos contaminados con PCB para la empresa de generación de energía eléctrica del INDE.	Integrar información relacionada con el transporte, almacenaje y eliminación de equipos con PCB, así como medidas de seguridad para el personal; elaborado el manual por personal del INDE, de manera que sea utilizado para minimizar los riesgos en la salud	Registros de talleres impartidos por el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales y/o talleres del Centro Guatemalteco de producción más limpia, así como información electrónica de páginas de internet en sitios sobre el tema	Autorización de las autoridades competentes del Instituto Nacional de Electrificación INDE.
<b>Objetivo específico 1</b>	1. Determinar la cantidad de transformadores y recipientes con PCB en las centrales generadoras del INDE	Levantar un inventario que determine la cantidad de transformadores y recipientes de aceite dieléctrico que posee las centrales generadoras del INDE	Registros sobre las características de cada transformador y registros de pruebas químicas realizadas a transformadores y recipientes sospechosos de contener PCB en las centrales generadoras de Aguacapa, Los Esclavos, Santa María, Palín I, El Salto y la Central térmica Escuintla.	Se realizará el levantamiento del inventario con la anuencia de las autoridades del INDE
Resultado 1.1.	Identificados y localizados transformadores y recipientes que poseen PCB en las centrales generadoras del INDE	Cada jefatura de las centrales generadoras debe conocer el número de transformadores y recipientes con PCB al cabo de los 4 meses de aprobado el proyecto	Listado del inventario realizado en cada central generadora, el cual lo tiene en su poder el Departamento de Seguridad e Higiene Industrial	
<i>Actividad 1.</i>	Elaborar un formato para realizar el inventario			
<i>Actividad 2.</i>	Realizar visitas de campo para la obtención de datos y obtener el inventario de cada central generadora			
Resultado 1.2.	Identificados los transformadores con PCB con derrames y fugas y que estén presentando riesgos ambientales y a la salud de los trabajadores en las centrales generadoras del INDE	Haber identificado los transformadores con PCB y con derrames y fugas en un plazo de 3 meses, procediendo a limpiar y reparar dichas fugas en un plazo de 4 meses en las centrales generadoras	Registro del inventario de cada central generadora el cual se encuentra archivado en el Departamento de Seguridad e Higiene Industrial	
<i>Actividad 1.</i>	Inspecciones visuales durante el inventario			
<i>Actividad 2.</i>	Anotaciones adicionales sobre los riesgos ambientales y de salud a los trabajadores durante el inventario			
<i>Actividad 3.</i>	Fotografiar transformadores y sitios con derrames durante el inventario para el análisis			

### Continuación cuadro 24

Elementos del estudio	Logica de intervención	Indicadores objetivamente verificables	Fuentes y medios de verificación	Supuestos
<b>Objetivos específico 2</b>	Definir acciones para reducir los riesgos en los sitios donde se encuentran transformadores y recipientes con PCB	Establecer muros de retención de líquidos para los transformador de potencia y servicios auxiliares en cada central generadora del INDE; contar con personal capacitado en las centrales generadoras del INDE sobre el tema de PCB para minimizar riesgos en las instalaciones	Estas actividades se pueden verificar a través de inspecciones visuales sobre construcciones en las instalaciones de las centrales hidroeléctricas y registros sobre programas ejecutados de capacitación en el departamento de Capacitación del INDE	Las acciones se llevan a cabo con el consentimiento de las autoridades del INDE
Resultado 2.1	Establecidos lugares seguros para el personal de la planta, principalmente donde se encuentran localizados los transformadores y recipiente con PCB	Cada transformador de potencia y de servicios auxiliares de las centrales generadoras deben contar con muros de retención de líquidos. Las centrales de Aguacapa, Los Esclavos y Palín I, deben implementarse las acciones para mitigar los riesgos que se presentan en los sitios	Informes de actividades presentado mensualmente a la Gerencia de Generación por las jefaturas de las plantas.	
<i>Actividad 1.</i>	Construir muros de retención de líquidos en cada transformador de las centrales generadoras			
<i>Actividad 2.</i>	Ubicar los transformadores y recipientes con PCB que se encuentran en sitios inadecuados en lugares mas seguros			
<i>Actividad 3.</i>	Rotular transformadores y lugares con PCB			
<i>Actividad 4.</i>	Limpieza de derrames de aceite dieléctrico con PCB			
<i>Actividad 5.</i>	Rediseños de instalaciones existentes para almacenamiento			
Resultado 2.2	Capacitado el personal de las centrales generadoras para el manejo adecuado de equipos y recipientes que contengan PCB	Que el personal técnico electromecánico de las centrales generadoras estén capacitados para el manejo de transformadores y recipientes con PCB en las 11 centrales generadoras del INDE así como también a subjefaturas y jefaturas	Registro de programas ejecutados en el departamento de Capacitación sobre el tema de PCB.	
<i>Actividad 1.</i>	Realizar la planificación para la capacitación sobre PCB			
<i>Actividad 2.</i>	Definir lugares donde se llevará a cabo la capacitación			
<i>Actividad 3.</i>	Realizar prácticas vivenciales de la teoría impartida en la capacitación			
<i>Actividad 4.</i>	Adquirir equipo de protección adecuado para el manejo de PCB			

### Continuación cuadro 24

Elementos del estudio	Logica de intervención	Indicadores objetivamente verificables	Fuentes y medios de verificación	Supuestos
Resultado 2.3	Elaborado un manual de información para el manejo adecuado de equipos y recipientes con PCB en cada central generadora	La subjefatura y encargados de mantenimientos eléctrico y mecánico de cada central generadora debe contar con información para manejo de equipos y recipientes con PCB, en un máximo de un mes después de haberse aprobado el proyecto	Constancias de recepción de entrega de manuales a cada central generadora, por el Departamento de Seguridad Industrial	Anuencia por las autoridades del INDE
<i>Actividad 1.</i>	Investigar la información necesaria para elaborar el manual para el manejo adecuado de equipos con PCB			
<i>Actividad 2.</i>	Elaborar el manual para el manejo de equipos y recipientes con PCB, incluyendo acciones para emergencia en caso de derrames o incendios.			
<i>Actividad 3.</i>	Ubicar el manual en lugares visibles y fáciles de acceder			
Resultado 2.4	Establecido monitoreos y controles sobre los transformadores y recipientes para determinar sus condiciones de operación	Disposición de medios de control en cada central generadora, contando con un formato de control en papel para luego ser almacenados en un sistema computarizado, implementándose una vez haya finalizado el proyecto.	Archivadores de tarjetas de control impresas y sistemas computarizados instalados en las centrales generadoras del INDE.	
<i>Actividad 1.</i>	Diseñar formato para controles visuales periódicamente			
<i>Actividad 2.</i>	Diseñar sistema computarizado para el almacenamiento de las tarjetas de control de cada transformador			
<i>Actividad 3.</i>	Realizar inspecciones visuales cada cuatrimestre a los transformadores y recipientes			
<b>Objetivo específico 3</b>	Identificar los recursos a utilizar para el manejo adecuado de equipos y recipientes con PCB	Cada central generadora deberá contar el listado de los recursos económicos y humanos para el manejo de equipos y recipientes con PCB y distribuidos en una forma equitativa de tal manera que no se incremente significativamente el presupuesto de cada central.	Los requerimientos de cada central estará plasmada en el anteproyecto de presupuesto que se realizará anualmente por la jefatura de planta.	
Resultado 3.1	Cálculados los costos para la eliminación de equipos y recipientes contaminados con PCB localizados en las centrales generadoras del INDE	Considerar los 12 transformadores en concentraciones mayores de 500 ppm de cloro y 47 transformadores y 2 bobinas en concentraciones >50 y <500 ppm de cloro para el cálculo del costo para eliminación de PCB.	El cálculo del monto estimado se realizará en función de la Información del inventario de las centrales generadoras de Aguacapa, Esclavos, Santa María, El Porvenir, Palín I, El Salto y Central térmica Escuintla y costos obtenidos de empresas especializadas	
<i>Actividad 1.</i>	Contactos con empresas que eliminan desechos peligrosos en el extranjero, obteniendo información sobre costos del servicio			

### Continuación cuadro 24

Elementos del estudio	Logica de intervención	Indicadores objetivamente verificables	Fuentes y medios de verificación	Supuestos
<i>Actividad 2.</i>	Hacer un recuento del peso a eliminar de los transformadores con PCB y la cantidad de aceite dieléctrico contaminado			Anuencia por las autoridades del INDE
<i>Actividad 3.</i>	Realizar el cálculo en función de costos del servicio de descontaminación y eliminación por la cantidad de equipo y aceite a tratar			
Resultado 3.2	Establecido el monto en el presupuesto de las centrales generadoras programado anualmente para eliminar equipo o aceite con PCB.	Monto sobre la eliminación de equipos con PCB incluidos en el presupuesto vigente anual de cada central generadora	Libro de presupuesto definitivo anual elaborado por la unidad ejecutora Administrativo - Financiero del INDE que incluye todas las centrales generadoras	
<i>Actividad 1.</i>	Presentar el anteproyecto de eliminación a la Gerencia de Generación y la unidad Administrativo-Financiero para su análisis y aprobación			
<i>Actividad 2.</i>	Incluir el monto en el anteproyecto de presupuesto de la central			
<i>Actividad 3.</i>	Tramitarlo por la unidad ejecutora Administrativo-Financiero para su aprobación			
<i>Actividad 4.</i>	Aprobación del Ministerio de Finanzas			

#### D. Prioridades de acción

Para la implementación del plan de manejo de las centrales que fueron analizadas, deberán priorizarse acciones en lugares donde estén en riesgo la salud del personal y/o el ambiente. A continuación criterios de prioridades de acción con su respectiva ponderación.

**Cuadro 25**  
**Prioridades de acción**

<b>Criterio</b>	<b>Consideración</b>	<b>Ponderación de priorización</b>
Riesgo a la salud humana, por contactos a equipos, o sitios contaminados (1-10)	Personal de mantenimiento que tiene contacto con equipos en las centrales generadoras.	10
	Viviendas cercanas a equipos con aceites dieléctricos contaminados	8
Riesgos a la salud ambiental respecto al estado del equipo, toneles de aceite y sitio contaminado (1-10)	En uso con fugas	9
	En uso sin fugas	3
	Sin uso con fugas	8
	Sin uso sin fugas	3
Riesgos a la salud ambiental respecto a la localización del equipo, toneles de aceite contaminados (1-10)	Cercanía a fuentes de agua y recursos hídricos en general	8
	Localización en ambientes cerrados sin control	8
	Localización en ambientes abiertos	8
Intervención por la concentración de PCB (1-10)	< 50 ppm	2
	> 50 ppm	8
	> 500 ppm	10

Fuente: Elaboración propia

## IX. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### A. Conclusiones

1. La mayor parte de las condiciones en que se encuentran los equipos con PCB en las centrales generadoras del INDE no llenan los requisitos de seguridad para el manejo en la operación, transporte y almacenamiento. Esto se debe al desconocimiento sobre la peligrosidad de esta sustancia y su forma de manejarlo.
2. Los puntos que se consideraron como prioritarios para su intervención por el impacto al ambiente y los riesgos en las personas es el suelo de la subestación de Palín I, en donde existió un derrame de uno de los tres transformadores con PCB puro; seguido del caso de las bobinas con aceite dieléctrico en concentraciones mayores de 50 ppm a un costado de una vivienda en el área de planificación de cuencas de la planta hidroeléctrica Los Esclavos.
3. En las centrales de los Esclavos, Santa María, El Porvenir, Chichaic y la central térmica Escuintla existen varios transformadores que no pudieron identificarse el tipo de aceite que contenían, ya que se encontraban ubicados en una forma de difícil acceso para la toma de muestras por lo que deben tomarse las medidas precautorias para manejo de equipo con PCB.
4. La central generadora en donde existe el mayor número de equipos contaminados con PCB es la central hidroeléctrica Aguacapa con nueve equipos de transformación (36)%, seguida de la central térmica Escuintla con ocho transformadores (32%), Palín I con tres equipos (12%), Santa María con dos transformadores (8%). El resto le corresponde a los Esclavos, el Salto y Chichaic con tres equipos de transformación (12%).

5. La implementación del plan de manejo de PCB en el INDE representará condiciones más seguras para el personal y el ambiente en cada central generadora de esta institución. Además este estudio podrá ser útil en los siguientes casos: certificación ISO 14,000, Proyecto PCB en Guatemala y para el cumplimiento de convenios internacionales relacionados con PCB.
6. En Guatemala no existe una norma que regule exclusivamente los PCB, lo que provoca que la actitud de las empresas que contengan PCB sean muy pasivas en el manejo de esta sustancia.
7. El inventario que se realizó es preliminar y por lo tanto no debe considerarse como definitivo, pudiendo existir algunos transformadores o toneles con aceite dieléctrico que no fue analizado y contabilizado por su difícil acceso.

## **B. Recomendaciones**

1. Se recomienda la creación de la unidad de gestión ambiental dentro del Instituto Nacional de Electrificación, cuyo responsable estará a cargo de darle seguimiento a este plan de manejo de PCB, así como actividades futuras para la seguridad y protección ambiental.
2. Se recomienda que en el aspecto de capacitación se trabaje conjuntamente la sección de Gestión Ambiental y el departamento de capacitación del INDE, para que se desarrolle un programa de capacitación integral sobre el tema de PCB. Además es necesario capacitar a personal de cuerpos de socorro como los bomberos municipales y voluntarios, estudiantes universitarios de la carrera de ingeniería mecánica-eléctrica o eléctrica, estudiantes de carreras técnicas como Intecap, Kinal y otros.

3. Atender las acciones prioritarias las cuales son la descontaminación del suelo de la subestación de Palín I y las bobinas ubicadas a un costado de una vivienda en el área de planificación de cuencas de la planta hidroeléctrica Los Esclavos.
4. Para la central térmica Escuintla, se recomienda no intervenir o manipular los toneles que se encuentran soterrados hasta que el INDE tenga considerado las acciones a tomar para cualquier situación que se encuentre.
5. Al momento de contarse con el presupuesto para la eliminación de PCB, es necesario realizar pruebas de PCB por otros métodos más exactos para determinar la cantidad de concentración de cloro que posee. Estas pruebas deben hacerse a los transformadores que no indicaban su peso total y el peso del aceite dieléctrico en su placa de identificación así como también a los toneles contaminados con PCB para su disposición final.
6. Se recomienda hacer un inventario más minucioso atendiendo transformadores que se encontraban en funcionamiento y que por su difícil acceso y falta de recurso humano para la obtención de la muestra de aceite no fue posible su diagnóstico.

## X. BIBLIOGRAFÍA

1. Administrador del Mercado Mayorista. 2001. *Normas de Coordinación Comercial No. 1*. Guatemala. 33 Págs.
2. Comisión Nacional del Medio Ambiente. 2004. *Manual de Chile sobre el manejo de bifenilos policlorados (PCB, Askareles)*. Chile. 111 Págs.
3. Donald G. Fink; H. Wayne Beaty. 1998. *Manual de Ingeniería Eléctrica*. Tomo I. Decimotercera Edición. México. 127 Págs.
4. Environmental Technology Inst. Ltda. 2006. *Folletos de capacitación y talleres sobre PCB en Guatemala*. 17 Págs.
5. Environmental Technology Inst. Ltda. 2006. *Misión PCB Capacity Building*. 32 Págs.
6. Ehretsmann, Jacques. 2002. *Transformadores y condensadores con PCB: desde la gestión hasta la reclasificación y eliminación*. Chatelaine (Geneva) Switzerland. 68 Págs.
7. Fuentes Dany y Gualim Miguel. 2006. *Guía técnica para el manejo de equipos eléctricos con bifenilos policlorados (PCB)*. 50 Págs.
8. Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. 2006. *Plan de acción para el manejo ambientalmente racional de bifenilos policlorados (PCB)*. 32 Págs.
9. Ministerio de Medio Ambiente. Bogotá, Colombia. 1999. *Manual de manejo de PCB para Colombia*. Colombia. 137 Págs.
10. Pérez, Félix. 1983. "Lo que usted debe saber sobre el Askarel sus características y peligrosidad". Revista de la Alianza Internacional Ecologista, del Bravo, México: 5

11. PNUMA. 2003. *Reparación de un plan nacional de manejo ambientalmente adecuado de los bifenilos policlorados (PCB) y de equipos contaminados con PCB*. 70 pags.
12. PNUMA. 2004. *Convenios sobre productos químicos y desechos peligrosos*. 5 Págs.
13. UNEP. 2002. *Transformadores y condensadores con PCB: desde la gestión hasta la reclasificación y eliminación*. 58 Págs.
14. Visca Paola y Gainza Peralta. 2005. *Pequeños pasos para la eliminación de tóxicos peligrosos*. Punta del este, Uruguay. 35 Págs.

#### INTERNET

15. [www.basel.int](http://www.basel.int) (Consultado el 26 de abril 2006)
16. [www.earth.com](http://www.earth.com) (Consultado el 26 de octubre 2006)

## XI. GLOSARIO Y ACRÓNIMOS

### A. Glosario

**1. Bifenilos Policlorados (PCB).** Los PCB son una familia de sustancias químicas compuestas de dos anillos de benceno unidos por un enlace carbono-carbono. Los átomos de cloro se sustituyen en uno o en los diez lugares disponibles restantes. El número y la posición de los átomos de cloro determinan la clasificación y propiedades de las distintas moléculas. Forman parte de las sustancias más contaminantes del mundo debido a su alto contenido de cloro.

**2. Convenio de Estocolmo.** El Convenio de Estocolmo fue aprobado en el año 2001 y entró en vigor en el año 2004. Actualmente está ratificado por 117 partes que se han comprometido a eliminar o restringir la producción y utilización de los contaminantes orgánicos persistentes. Además propone la reducción continua y, cuando sea factible, la eliminación de las liberaciones de contaminantes orgánicos persistentes producidos involuntariamente como las dioxinas y los furanos.

**3. Convenio de Basilea.** Este convenio trata sobre el control de los movimientos transfronterizos de los desechos peligrosos y su eliminación, el cual fue aprobado en 1989 y entro en vigencia en 1992 con 166 partes.

**4. Convenio de Róterdam.** Este convenio trata sobre el procedimiento de consentimiento fundamentado previo aplicable a ciertos plaguicidas y productos químicos peligrosos objeto de comercio internacional. Fue aprobado en 1998 y entró en vigencia el 24 de febrero del 2004.

**5. INDE.** El Instituto Nacional de electrificación, es una entidad pública, que se dedica a generar energía eléctrica por medio de centrales hidroeléctricas, geotérmicas y termoeléctricas a través de la empresa de generación de energía eléctrica (EGEE). Además transporta energía eléctrica

hacia varios puntos del país a través de sus líneas de transmisión a cargo de la empresa de transporte y control de energía (ETCEE).

**6. Toxicológicos.** Relativo o perteneciente a envenenamiento. También se aplica al proceso de evolución grave y progresiva.

**7. Metabolismo.** Conjunto de reacciones químicas que tienen lugar en los seres vivos cada una de las cuales se halla bajo el control de un catalizador específico o enzima. Los productos resultantes reciben el nombre de metabolitos.

**8. Metabolitos.** Sustancias que intervienen en los procesos metabólicos como intermediarios en las vías de degradación y biosíntesis; en ocasiones establecen nexos entre diversas vías.

**9. Citogenética.** Rama de la genética que estudia los componentes de la célula implicados en la herencia biológica.

**10. Dioxinas.** Estos son subproductos resultantes de la producción de otras sustancias químicas y de la combustión a baja temperatura y procesos de incineración. No tienen de por sí utilidad alguna. Sus efectos son la toxicidad dérmica, inmunotoxicidad, efectos reproductivos, teratogenicidad, perturbaciones al sistema endocrino y efectos carcinógenos. Los grupos más sensibles a estas sustancias son los fetos y neonatos.

**11. Furanos (PCDF).** También son productos residuales de la producción de otras sustancias químicas y de la combustión a baja temperatura y procesos de incineración. Se desconoce cualquier tipo de utilidad. Sus posibles efectos son los mismos que se le atribuyen a las dioxinas. A la fecha, el efecto persistente en los seres humanos, asociado con la exposición tanto a furanos como a dioxinas es el cloracné.

**B. Acrónimos**

1. **KVAR:** Kilo Volt Amperios Reactivos (Potencia Reactiva)
2. **KVA:** Kilo Volt Amperios (Potencia Aparente)
3. **KW:** Kilo Wats (Potencia Real o Activa)
4. **MVA:** Mega volt Amperios
5. **MW:** Mega Wats
6. **µg:** Microgramo
7. **ng:** Nanogramo
8. **PCB:** Los PCB se refiere a los Bifenilos Policlorados (PCB's)

## **XII. ANEXOS**

## ANEXO 1



## Cuestionario para inventario de PCB

Primera versión

Agosto 2002

## Inventario de equipo que contenga PCB

Número de registro:	
Fecha:	03-junio-06.
Inspector:	

A	Información sobre la empresa y el sitio	
1	Nombre:	Central Térmica Escuintla INDE
2	Dirección:	Km. 61.5 Carret. Puerto San José, Escuintla.
3	Dirección del sitio: (si difiere del anterior)	IDEM
4	Teléfono:	78880486 / 78880797
	Fax:	78880285
	Correo electrónico:	malopez@inde.gob.gt
5	Nombre y cargo del interesado:	
6	Tipo de empresa/ tipo de industria /producción en este sitio:	Generación Energía Eléctrica
7	¿Empresa pública o privada?	Pública
8	Lugar:	Zona industrial <input checked="" type="checkbox"/>
		Otra zona urbana
		Zona rural
9	Número de empleados en el sitio visitado:	>50 <input checked="" type="checkbox"/>
		10-50
		<10
10	Número total de equipos en el sitio:	Transformadores 3
		Condensadores
		Otros
11	Consumo total de electricidad en el sitio	En 1985 — kWh / año
		Actualmente 264 kWh / año



## Cuestionario para inventario de PCB

Primera versión

Agosto 2002

12	¿Hay algún plan de acción para eliminar PCB? - ¿está en proyecto? - ¿actividades de eliminación anteriores? - ¿se ha previsto algún calendario?	NO NO	(en hoja aparte si es necesario) Se entrevistaron en fosa cimentada 6 toneles de metal hace 10 años.
<b>B</b>	<b>Información correspondiente al equipo que pueda contener PCB</b> Casa de Maq. (rellenar una Sección B completa por cada equipo y adjuntar) II Nivel		
1	Nombre del fabricante y país de origen	PIVI-Milano-ITALIA	
2	Tipo (transformador, condensador, etc.)	Transformador LT 3	
3	Número de serie	25335	
4	Potencia (voltaje)	450 KVA	
5	Fecha de fabricación	11-1974	
6	Peso	Equipo (peso seco, kg.)	1,420 Kgs.
		Aceite/líquido (L. o kg.)	780 Kgs.
		Peso total (kg.)	2,200 Kgs.
		Dimensiones del equipo (largo, ancho, alto, en pies o metros)	1.43 x 1.60 x 1.77 ms.
7	Nombre del líquido o aceite aislante/refrigerante, etc.	APIROLIO tipo 1488	
8	Contenido de PCB del líquido	> 10 % PCB	
		> 0.05 % PCB o 500 ppm	
		> 0.005 % o 50 ppm	
		< 0.005 % o 50 ppm	< 50 ppm POSITIVO
		El líquido no contiene PCB (según la placa)	No específica
	Contenido de PCB desconocido	SI	
	Equipo vaciado	NO	
9	Especificar si se hizo análisis de PCB, cuándo y por qué método	se desconoce	
10	Indicar la fuente de la información anterior (ej.: placa o rótulo en el equipo)		
11	Situación operativa del equipo	En uso: sí/ desde cuándo	1975
		En espera	Disponible
		Desmantelado	
12	Condiciones	¿Filtraciones?	SI



## Cuestionario para inventario de PCB

Primera versión  
Agosto 2002

	del equipo	¿Requiere intervención inmediata?	NO (son mínimas)
		Condiciones de almacenamiento (ej.: al aire libre, en recinto cerrado, etc.)	Edificio de Maquinas con ventilación (ventanas de paleta)
13	Mantenimiento del equipo	¿Rellenado?	
		¿Cuándo se rellenó por última vez?	1975
		Nombre de la compañía que efectuó el relleno	
		¿Con qué líquido o aceite aislante se rellenó?	APIROLIO tipo 1488
		Nombre del líquido o aceite aislante originales, si se saben	APIROLIO tipo 1488
14	Otras observaciones: *La muestra dió positivo mediante análisis realizado el 23-06-06 (MARN)		(en hoja aparte si es necesario) * POSITIVO

C	Información sobre desechos susceptibles de contener PCB	
1	Naturaleza de los desechos (ej.: aceite de transformador en barriles o depósitos)	Toneles de Metal
2	Cantidad estimada	6 (de 55 galones)
3	¿Están los recipientes protegidos contra filtraciones?	Estan clausurados en un estanque cimentado
4	¿Está claramente señalado el lugar de almacenamiento de modo que indique la presencia de PCB?	NO
5	¿Se ha contaminado el suelo o las edificaciones debido a filtraciones de PCB? (indique en lo posible la magnitud del problema: metros cúbicos o toneladas de suelo contaminado)	Físicamente NO
6	Breve recuento de actividades de rehabilitación: retiro de equipo y desechos con PCB para ser eliminados (fecha, empresa a cargo, destino, etc.)	No se ha verificado a realizar otro retiro de desechos.
7	Otra información pertinente (ej.: resultados de toma de muestras y análisis)	(en hoja aparte si es necesario) NO se han realizado



## Cuestionario para inventario de PCB

Primera versión  
Agosto 2002

D	Registro de la visita	
1	Representantes de la empresa Nombres, cargos, firmas y fecha	<i>Mario López - Sub. Jefe, Planta</i> <i>Rolando Olivares - Jefe Taller Electr.</i> <i>Jhon Escalante - Cond. Seg. Ind.</i>
2	Inspectores gubernamentales Nombres, cargos, firmas y fecha	

03-06-02  
*Mfo U*  
*J. A. Linares*

### Notas:

El Convenio de Estocolmo sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes, en su Anexo A y Artículo 6, dispone que las Partes deben determinar qué equipo contiene bifenilos policlorados (PCB), etiquetarlo y retirarlo de uso, así como eliminar de forma ambientalmente racional los materiales de desecho que contengan PCB.

Este formulario de inventario debería ayudar a los países en la preparación de su primer inventario nacional de PCB, que tiene como objetivos:

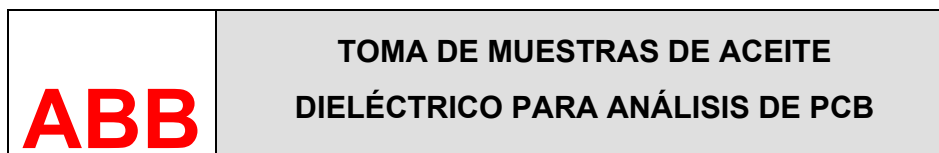
1. Determinar dónde hay equipo y desechos susceptibles de contener PCB y quiénes son sus propietarios (sección A)
2. Determinar y cuantificar el equipo susceptible de contener PCB, como transformadores, condensadores, bombas de vacío, balastras de lámparas, y cables eléctricos (sección B)
3. Determinar y cuantificar los sitios que contienen desechos con PCB o que se han contaminado con PCB (sección C).

Este cuestionario pretende ser una herramienta práctica y sencilla pero lo suficientemente detallada para que el país Parte del Convenio de Estocolmo pueda determinar cuáles son las principales fuentes de PCB y establecer una lista de prioridades de acción. Estas prioridades pueden estar en función de las concentraciones o volúmenes de PCB o de la inminencia de riesgos para el medio ambiente debido a condiciones poco seguras en el uso o almacenamiento de los equipos y desechos que contienen PCB.

El cuestionario debería usarse en las visitas de inspectores gubernamentales acompañados de uno o más empleados del propietario potencial de PCB. Por lo general se usará un formulario por sitio, pero cuando en el mismo sitio haya varios equipos, por ejemplo, transformadores, se repetirá la sección B tantas veces como equipos haya (no hace falta cuando hay muchos pequeños dispositivos del mismo tipo, como condensadores).

Este cuestionario empezará a circular en agosto de 2002 en calidad de prueba. Se agradecerán sus comentarios y sugerencias para mejorarlo.

UNEP Chemicals  
 11-13 chemin des Anémones  
 CH-1219 Châtelaine  
 Geneva Switzerland  
 Tel.: (+41 22) 917 1234  
 Fax: (+41 22) 797 3460  
 Email: chemicals@unep.ch

**ANEXO 2****1. OBJETO**

Establecer el procedimiento para determinar el contenido de PCB en aceite dieléctrico de transformadores -energizados- ó -fuera de servicio- mediante el ensayo semicuantitativo con Kit Clor- N-Oil 50 ppm.

**2. ALCANCE**

Esta instrucción técnica, presenta los diferentes pasos en que se realiza la toma de muestra y su posterior análisis para la determinación del contenido de PCB , este ensayo se determina con el método indicado en la norma EPA SW-846 Método 9079.

La toma y el manejo de la muestra pueden influir sobre las características del aceite, la presencia de pequeñas cantidades de impurezas(cloro, cloruro de sodio) que la contaminen, pueden cambiar substancialmente los resultados de los análisis, por ésto se deben tomar todas las precauciones necesarias para prevenir este tipo errores.

**3. RESPONSABILIDAD**

Es función del Técnico del Laboratorio de Aceites el cumplimiento de este procedimiento, también puede ser realizado por Ingenieros de campo u operarios calificados.

**4. PROCEDIMIENTO DE TOMA DE MUESTRA**

- 4.1 Colocarse guantes de nitrilo, bata de Laboratorio y gafas de seguridad.
- 4.2 A menos que se especifique lo contrario, las muestras de aceite se toman de la parte inferior del transformador.
- 4.3 Drene el aceite presente en la válvula y su extensión.
- 4.4 La toma de muestras en equipos energizados, debe ser realizada por personal calificado.
- 4.5 Verificar que el transformador esté con presión positiva.
- 4.6 Colocar un contenedor (balde) debajo de la válvula principal y retirar el tapón de seguridad (asegúrese de que la válvula esté completamente cerrada).

- 4.7 Limpiar dentro de la válvula y la rosca con un trozo de tela que no desprenda hilos, luego dejar drenar por lo menos  $\frac{1}{2}$  litro de aceite en el balde para concluir la limpieza de la válvula.
- 4.8 Instalar el dispositivo de muestreo (adaptadores con reducciones, terminando en un acople con su respectiva manguera).
- 4.9 Tomar la muestra para el análisis en un recipiente plástico de 50ml, limpiar y sellar.
- 4.10 Cerrar la válvula de muestreo y desconectar el dispositivo de toma de muestra.

## **5. PROCEDIMIENTO DE ANÁLISIS**

- 5.1 Una vez tomada la muestra se procede de la siguiente manera en el Laboratorio de Aceites o en campo:
- 5.2 Colocarse guantes nuevos de nitrilo, diferentes de los utilizados para recolectar la muestra.
- 5.3 Destapar el Kit teniendo cuidado de no tocar la punta de la pipeta.
- 5.4 Abrir el recipiente de la muestra de aceite dieléctrico y transferir un volumen de 5 ml con la pipeta al tubo # 1 del kit de tapa negra y cerrarlo bien.
- 5.5 Romper dentro del tubo la ampolla inferior que tiene un punto azul y agitar por 10 segundos.
- 5.6 Romper la ampolla superior de color gris y agitar 10 seg y permita que la reacción continúe por 50 seg más, mientras agita suavemente.
- 5.7 Destapar el tubo de la tapa blanca # 2 y adicionar la solución que este contiene, en el frasco de la tapa negra # 1 agitando vigorosamente durante 20 seg.
- 5.8 Destape suavemente el frasco de la tapa negra para permitir que salgan las gases generados en la reacción.
- 5.9 Una vez desgasificado agitar durante 30 seg más; vuelva a destapar para liberar los gases remanetes que hayan quedado producto de la reacción endotérmica.
- 5.10 Tapar fuertemente el tubo de la tapa negra y colocarlo boca abajo sobre la tapa y esperar 2 minutos.

- 5.11 Observar la separación de la mezcla en dos capas o fases, si la capa de aceite se encuentra en la parte inferior , parar el ensayo, debido a que se tiene PCB Puro. si la capa de aceite se encuentra en la parte superior, terminar el plazo de 2 minutos para que se termine de separar las fases.
- 5.12 Colocar la boca del tubo de la tapa negra #1 sobre el tubo # 2, destapando y adicionar la fase acuosa aproximadamente 5 ml, apretando cuidadosamente el cuerpo del tubo, teniendo cuidado de no dejar pasar parte de la fase del aceite.
- 5.13 Si por algún motivo se deja pasar parte de la fase del aceite en el paso anterior (Por Mínima cantidad que está sea) se debe parar el ensayo y repetirlo utilizando otro kit.
- 5.14 Cerrar el tubo de la tapa negra #1 y romper inmediatamente la ampolla inferior del punto blanco y agitar durante 10 seg.
- 5.15 Luego romper la ampolla superior de color amarillo claro y agitar durante 10 seg mas.
- 5.16 Observar el color resultante inmediatamente y comparar con la carta de colores del instructivo que viene con el Kit.
- 5.17 Si el color obtenido al final de ensayo es violeta de diferentes tonalidades, significa que el aceite está libre de contaminación < de 50 ppm.
- 5.18 Si el color obtenido al final de ensayo es amarillo significa que existe la posibilidad de que este contaminado con PCB con una concentración > de 50 ppm. En este caso repetir el ensayo, si nuevamente al final del ensayo el color obtenido es amarillo se debe confirmar la contaminación cuantitativamente mediante cromatografía líquida.
- 5.19 Al finalizar el ensayo se debe de romper una ampolla que viene con el kit, con el fin de acomplejar la amalgama de mercurio que contiene éste y no generar contaminación al medio ambiente.

## **6 CRITERIO DE CONTAMINACIÓN**

La legislación Americana de la EPA (Environmental Protection Agency) estableció en 1979, para fines de disposición final, tres niveles de contaminación para líquidos aislantes, a saber:

- a. Líquidos que contienen hasta 50 ppm de PCB son considerados exentos de PCB (<50ppm)
- b. Líquidos que contienen entre 50 ppm y 500 ppm de PCB son considerados contaminados y exigen cuidado especial para una disposición final adecuada a los requisitos de ley.
- c. Líquidos que contienen mas de 500 ppm de PCB son considerados como Askarel puro y exigen cuidado especial para una disposición final adecuada a los requisitos de ley.

## **RECOMENDACIONES**

- 6.1 Colocar durante la realización del ensayo las tapas de los tubos boca abajo para evitar cualquier tipo de contaminación.
- 6.2 Cuando el ensayo se realice en campo tener presente que éste se realice en un lugar adecuado y con todas las condiciones de limpieza e higiene necesarias.
- 6.3 Los resultados obtenidos como positivos indican la presencia de algún tipo de compuesto clorado en el aceite, debido a esto y a que la prueba no es exclusiva para detectar PCB sino que detecta cualquier tipo de compuesto clorado, es necesario que a estos aceites le sean realizadas pruebas específicas cuantitativas para la detección de PCB por medio de técnicas Cromatograficas.
- 6.4 Los residuos obtenidos junto con todo el material utilizado para la toma y posterior análisis, se deben de almacenar hasta su disposición final de acuerdo al procedimiento interno de la empresa de manejo de residuos sólidos especiales.

## ANEXO 3

### EQUIPO DE PROTECCIÓN PERSONAL

Los siguientes niveles son los que la OSHA recomienda dependiendo de la ubicación de los equipos a inspeccionar o en la toma de muestras:

#### Nivel A

Este es el mayor nivel de protección. Es utilizado en edificaciones con ventilación deficiente u otros espacios cerrados donde se hayan volatizado los PCB a partir de superficies grandes, una situación de limpieza de un derrame grande:

- a. Respirador proveedor de aire con presión positiva, con máscara facial completa
- b. Ropa anti-químicos totalmente encapsulada
- c. Overoles Grava Tyvec
- d. Guantes exteriores anti-químicos para trabajo pesado
- e. Guantes interiores anti-químicos para trabajo liviano
- f. Botas, anti-químicos, puntera y talón de acero
- g. Cascos



#### Nivel B

El trabajador solamente esta en un área de derrame sin ventilación natural para inspeccionar y no para participar en la operación de limpieza del derrame.

- a. Respirador de aire (Self contained Breathing Apparatus – SCBA) con presión positiva, con máscara facial completa.
- b. Ropa anti-químicos totalmente encapsulada (Overoles Braga Tyvec)
- c. Guantes exteriores anti-químicos para trabajo pesado
- d. Guantes interiores anti-químicos para trabajo liviano

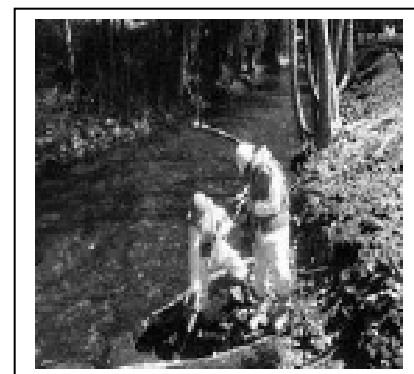


- e. Botas, anti-químicos, puntera y talón de acero
- h. Máscara facial o gafas protectoras de ser necesario

### Nivel C

Operaciones al aire libre en áreas grandes de derrame de PCB u operaciones en que se trabaje de manera estrecha y continua con equipo abierto de PCB o con tambores abiertos de material contaminado de PCB.

- a. Respirador purificador de aire, que cubre la cara totalmente o parcialmente (Es decir, el respirador tipo cartucho con el cartucho apropiado para filtrar los vapores orgánicos).
- b. Ropa anti-químicos con capucha
- c. Guantes exteriores, anti-químicos para trabajo pesado
- d. Guantes interiores anti-químicos para trabajo liviano
- e. Cubre botas exteriores, anti-químicos
- f. Mascara facial o gafas protectoras, de ser necesario



### Nivel D

El equipo de protección personal de Nivel D se emplea cuando no hay riesgo respiratorio, pero puede existir el potencial de daños menores por contacto de los PCB con la piel o la ropa. Un ejemplo de situaciones donde el nivel D se recomendaría con las tomas de muestras en transformadores PCB o en áreas pequeñas de suelos o aguas contaminadas.

- a. Overoles tipo Tyvex
- b. Guantes anti-químicos
- c. Botas con puntera y talón de acero, de ser necesario
- d. Cubre botas, anti-químicos
- e. Mascara facial o gafas de seguridad de ser necesario

## ANEXO 4

**PELIGRO  
CONTIENE PCB  
(Bifenilos Policlorados)**

Concentración: \_\_\_\_\_ppm

**Sustancia “toxica”**

**Sustancia Clase 9 (ONU)**

**REQUIERE MANEJO ESPECIAL  
No quemar, perforar, ni derramar**

**En caso de accidente o derrame  
reportarlo a:**

**Departamento de Higiene y Seguridad  
Industrial INDE al Tel. 24221925 ó al  
Ministerio de Ambiente 24230500**

## ANEXO 5

**Cuadros que incluyen el peso (Kg) estimado de aceite dieléctrico y de la estructura de los transformadores contaminados con PCB localizados en las centrales generadoras del INDE**

**Planta hidroeléctrica Aguacapa**

<b>Cantidad / Capacidad</b>	<b>Peso Total Kg</b>	<b>Peso Aceite Kg</b>	<b>Peso Carcasa y Núcleo Kg</b>
1/500	1,360.00	408.00	952.00
1/200*	930.00	325.00	605.00
1/200*	930.00	325.00	605.00
1/100*	660.00	240.00	420.00
3/100*	1980.00	720.00	1260.00
1/50*	505.00	195.00	310.00
1/50*	505.00	195.00	310.00
<b>Total</b>	<b>6,870.00</b>	<b>2,408.00</b>	<b>4,462.00</b>
* Estos transformadores contienen PCB en concentraciones >500 ppm (Clophen), los demás tienen un contenido de 50 ppm < PCB < 500 ppm de clorificación.			

Fuente: Elaboración propia

**Planta hidroeléctrica Los Esclavos**

<b>Cantidad / Capacidad KVA</b>	<b>Peso Total Kg</b>	<b>Peso Aceite Kg</b>	<b>Peso Carcasa y Núcleo Kg</b>
1/220 *	1070.00	360.00	710.00
6/5	396.70	170.10	226.60
<b>Total</b>	<b>1,466.70</b>	<b>530.10</b>	<b>936.60</b>
1 bobina		113.10	
2 bobinas		226.20	
<b>Total</b>		<b>339.30</b>	
* Transformador en concentraciones > 500 ppm (Askarel), los demás poseen concentraciones > de 50 ppm, según pruebas realizadas con el Kit Clor_on_Oil.			

Fuente: Elaboración propia

### Planta hidroeléctrica Santa María

Cantidad / Capacidad KVA	Peso Total Kg	Peso Aceite Kg	Peso Carcasa y Núcleo Kg
1/1500	8,900.00	3,290.00	5,610.00
1/250	714.42		714.42
1/5	94.50	28.35	66.15
3/5	198.45		198.45
1/10	101.24		101.24
1/10	101.24		101.24
1/11	132.30		132.30
<b>Total</b>	<b>10,242.15</b>	<b>3,318.35</b>	<b>6,924.00</b>

Fuente: Elaboración propia

En esta central solamente se encontró concentraciones de PCB >50 ppm, no existió PCB puro.

### Planta hidroeléctrica El Porvenir

Cantidad / Capacidad KVA	Peso Total Kg	Peso Aceite Kg	Peso Carcasa y Núcleo Kg
1/4.2 MVA	12,800	3,400.00	9,400.00
1/2300V-220V	310.00	70.00	240.00
1/2.5	42.51	14.17	28.34
1/2.5	42.51	14.17	28.34
1/2.5	42.51	14.17	28.34
1/17.5	214.71	71.57	143.14
<b>Total</b>	<b>13,452.24</b>	<b>3,584.08</b>	<b>9,868.16</b>

Fuente: Elaboración propia

Todos estos transformadores no fue posible identificar por placa y por pruebas de PCB la presencia de contaminación de esta sustancia por lo que se tomó el criterio de considerarlos como si tuvieran concentraciones > 50 ppm.

### Planta hidroeléctrica El Salto

Cantidad / Capacidad KVA	Peso Total Kg	Peso Aceite Kg	Peso Carcasa y Núcleo Kg
1/5000	15,238.00	4,571.00	10,667.00
1/5	94.50	28.35	66.15
<b>Total</b>	<b>15,332.50</b>	<b>4,599.35</b>	<b>10,733.15</b>

Fuente: Elaboración propia

En esta central solamente se encontró concentraciones de PCB >50 ppm.

### Planta hidroeléctrica Palín I

Cantidad / Capacidad KVA	Peso Total Kg	Peso Aceite Kg	Peso Carcasa y Núcleo Kg
1/500*	1,360.00	408.00	952.00
2/500*	2,720.00	816.00	1,904.00
<b>Total</b>	<b>4,080.00</b>	<b>1,224.00</b>	<b>2,856.00</b>

\* Estos tres transformadores se pudo detectar concentraciones > 500 ppm.

Fuente: Elaboración propia

### Planta hidroeléctrica Chichaic

Cantidad / Capacidad KVA	Peso Total Kg	Peso Aceite Kg	Peso Carcasa y Núcleo Kg
1/500*	218.00	65.40	152.60
<b>Total</b>	<b>218.00</b>	<b>65.40</b>	<b>152.60</b>

- Este transformador no se realizó prueba de PCB, pero por la fecha en que fue fabricado (1963) puede considerarse su presencia de PCB.

Fuente: Elaboración propia

**Central térmica Escuintla**

<b>Cantidad / Capacidad KVA</b>	<b>Peso Total Kg</b>	<b>Peso Aceite Kg</b>	<b>Peso Carcasa y Núcleo Kg</b>
1/1375	3,760.00	900.00	2,860.00
1/1250	2,630.00	590.00	2040.00
1/12 MVA	27,500.00	6,980.00	20,520.00
1/450	2,200.00	780.00	1,420.00
1/1150	2,400.00	800.00	1,600.00
1/1150	2,400.00	800.00	1,600.00
1/15	184.05	61.35	122.70
4/15	736.20	245.40	490.80
1/10	151.86	50.62	101.24
1/25	261.45	87.15	174.30
4/25	1045.80	348.60	697.20
1/50	585.00	195.00	390.00
5/50	2,925.00	975.00	1,950.00
<b>Total</b>	<b>46,779.36</b>	<b>12,813.12</b>	<b>33,966.24</b>
1/300*	900.00	300.00	600.00
1/300*	900.00	300.00	600.00
<b>Total</b>	<b>1800.00</b>	<b>600.00</b>	<b>1200.00</b>

\* Estos transformadores poseen una concentración > 500 ppm de cloro. Los demás transformadores, fueron analizados con el Kit Clor\_on\_oil dando una concentración > 50 ppm de cloro.

Fuente: Elaboración propia