



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica

**PROPUESTA DE NORMATIVA PARA EL MANEJO ADECUADO  
DE EQUIPOS ELÉCTRICOS CON BIFENILOS POLICLORADOS  
EN GUATEMALA**

**Carlos Fernando Fuentes Sandoval  
Kenent Hugo Francis Morales Castillo**

Asesorado por el Ing. Mario Ramón Figueroa López.

Guatemala, octubre de 2007

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**PROPUESTA DE NORMATIVA PARA EL MANEJO ADECUADO  
DE EQUIPOS ELÉCTRICOS CON BIFENILOS POLICLORADOS  
EN GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR:

**CARLOS FERNANDO FUENTES SANDOVAL  
KENENT HUGO FRANCIS MORALES CASTILLO**

ASESORADO POR EL ING. MARIO RAMÓN FIGUEROA LÓPEZ

AL CONFERÍRSELES EL TÍTULO DE  
**INGENIEROS ELECTRICISTAS**

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2007

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERÍA



### **NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Inga. Glenda Patricia García Soria
VOCAL II	Inga. Alba Maritza Guerreo de López
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

### **TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

Carlos Fernando Fuentes Sandoval

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. José Guillermo Bedoya
EXAMINADOR	Ing. Guillermo Antonio Puente Romero
EXAMINADOR	Ing. Kenneth Issur Estrada Ruiz
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERÍA



### **NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Inga. Glenda Patricia García Soria
VOCAL II	Inga. Alba Maritza Guerreo de López
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

### **TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

Kenent Hugo Francis Morales Castillo

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. José Guillermo Bedoya
EXAMINADOR	Ing. Romeo Neftalí López Orozco
EXAMINADOR	Ing. Kenneth Issur Estrada Ruiz
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

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

### **PROPUESTA DE NORMATIVA PARA EL MANEJO ADECUADO DE EQUIPOS ELÉCTRICOS CON BIFENILOS POLICLORADOS EN GUATEMALA,**

tema que me fuera aprobado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, el 04 de septiembre de 2006.

Carlos Fernando  
Fuentes Sandoval

Kenent Hugo Francis  
Morales Castillo

## **ACTO QUE DEDICO A:**

<b>Dios</b>	Por iluminar mi camino y ser esa luz que me ha dado sabiduría y fuerza de voluntad para llegar a culminar mi carrera.
<b>Mis padres</b>	Fernando Fuentes y Noemy Sandoval, por su enorme dedicación, su apoyo incondicional y esfuerzo a lo largo de estos años.
<b>Mis hermanos</b>	Bellalma, Oscar, Begonia, Sayda por todo su cariño y apoyo.
<b>Mi hermano</b>	Carlos Eugenio, por estar presente conmigo en mi mente y corazón durante el transcurso de mi vida. Lo logramos, para ti este triunfo hasta el cielo.
<b>Mis sobrinos</b>	Fernando, Eduardo, Adalí, Guadalupe, Luis Eduardo, por su cariño incondicional.
<b>A mi abuelito</b>	Eugenio Emilio, por todos sus consejos, apoyo y por las grandes muestras de cariño.
<b>Mi familia en general</b>	Por sus palabras de aliento y apoyo.
<b>Mis amigos</b>	Los de un inicio, los del final, por todos los momentos compartidos, tristezas, alegrías, gracias por su amistad sincera.

**Los Ingenieros**

Guillermina Cortéz, Mario Figueroa, por su apoyo y por el tiempo dedicado a la realización de este trabajo de graduación.

**La Universidad**

Por todas las enseñanzas que obtuve a lo largo de mi carrera.

Carlos Fernando Fuentes Sandoval.

## **ACTO QUE DEDICO A:**

<b>Dios</b>	Por concederme la sabiduría, el conocimiento, la inteligencia y la gracia. Por coronarme de amor y misericordia. Te exaltaré mi Dios, mi Rey y bendeciré tu nombre eternamente y para siempre.
<b>Mi Madre</b>	Aura Marina, por su apoyo, instrucción y amor incondicional, ya que es a ella a quien debo la realización de mi carrera profesional.
<b>Mi Abuelo</b>	Horacio, músico incomparable, hombre honorable. Su memoria quedará perdurablemente en mis recuerdos.
<b>Mi Familia</b>	Por apoyarme en todo momento y sostenerme en los momentos difíciles.
<b>Mis Amigos</b>	Por estar a mi lado en el transcurrir de mi vida.
<b>Instituto Técnico Industrial</b>	Forjador de hombres y mujeres de bien y de trabajo para nuestro país.
<b>Facultad de Ingeniería</b>	Forjadora de Profesionales de calidad que impulsan el futuro y desarrollo de nuestro país.
<b>Universidad de San Carlos</b>	Por ser mi segundo hogar, y darnos la oportunidad de desarrollarnos como Profesionales para enfrentar los retos de un mundo globalizado.

**Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales** Por su apoyo en la realización de este trabajo.

**Mi País Guatemala** La hermosa tierra que me ha visto nacer, llena de la presencia de Dios, verdes bosques y gente que trabaja duro día a día.

Kenent Hugo Francis Morales Castillo.

# ÍNDICE GENERAL

<b>ÍNDICE DE ILUSTRACIONES</b>	<b>IX</b>
<b>LISTA DE SÍMBOLOS</b>	<b>XIII</b>
<b>GLOSARIO</b>	<b>XV</b>
<b>RESUMEN</b>	<b>XVII</b>
<b>OBJETIVOS</b>	<b>XIX</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>XXI</b>
<b>1 LOS BIFENILOS POLICLORADOS (PCB), EQUIPOS ELÉCTRICOS QUE LOS CONTIENEN Y SITUACIÓN DE CONTAMINACIÓN NACIONAL</b>	
1.1 Estructura química de los PCB	1
1.1.1 Los Fenilos	1
1.1.2 Los Bifenilos Policlorados	4
1.1.2.1 Características	7
1.1.2.2 Aplicaciones	8
1.1.2.3 Riesgos	8
1.2 Equipos eléctricos que pueden contener PCB	9
1.2.1 Transformadores	9
1.2.1.1 Clasificación de los transformadores	10
1.2.1.1.1 Transformadores de potencia	11
1.2.1.1.2 Transformadores de distribución	11
1.2.2 Mantenimiento de transformadores de potencia	12
1.2.2.1 Mantenimiento predictivo	12
1.2.2.2 Mantenimiento preventivo	12
1.2.2.3 Mantenimiento correctivo	13
1.2.2.4 Inspección de transformadores	14

1.2.2.4.1	Indicadores de nivel	15
1.2.2.4.2	Relé de presión súbita	16
1.2.2.4.3	Válvulas de sobrepresión	16
1.2.2.4.4	Relé Buchholz	16
1.2.2.4.5	Cuba principal	16
1.2.2.4.6	Aisladores	17
1.2.2.4.7	Termómetro de aceite y termómetro de devanados	17
1.2.2.5	Sistema aislante del transformador	17
1.2.2.5.1	Funciones del aislante sólido	18
1.2.2.5.2	Funciones del aislante líquido	18
1.2.2.5.3	Formas de transferencia de calor en el aislante líquido	18
1.2.2.6	Análisis del aceite dieléctrico	19
1.2.2.6.1	Rigidez dieléctrica	19
1.2.2.6.2	Contenido de humedad	19
1.2.2.6.3	Tensión interfacial	19
1.2.2.6.4	Índice de neutralización	19
1.2.2.6.5	Color	20
1.2.2.6.6	Densidad	20
1.2.2.6.7	Viscosidad	21
1.2.2.6.8	Factor de potencia	21
1.2.2.6.9	Impulso eléctrico	21
1.2.2.6.10	Gravedad específica	21
1.2.2.7	Análisis de gases disueltos	22
1.2.2.7.1	Objetivos del AGD	22
1.2.2.7.2	Generación de gases en los transformadores	23
1.2.2.7.3	Descomposición de aislamientos	23

1.2.2.7.4	Fallas en transformadores	23
1.2.2.7.4.1	Fallas térmicas	24
1.2.2.7.4.2	Descargas parciales	24
1.2.2.7.4.3	Arcos eléctricos	24
1.2.2.8	Análisis de contenido de furanos	25
1.2.2.9	Análisis del grado de polimerización	25
1.2.3	Interruptores eléctricos de potencia	26
1.2.4	Capacitores	27
1.3	Contexto y análisis del problema: contaminación de PCB en el país	28
1.3.1	Vista general del manejo de PCB en Guatemala y la Problemática identificada	28
1.3.2	Descripción breve del contexto legal nacional, regional e internacional en el manejo de PCB en Guatemala	32
1.3.3	Resumen de los usos, almacenamiento, desechos y sitios contaminados con PCB	35
1.3.4	Usos	36
1.3.5	Almacenamiento	37
1.3.6	Desechos	40
1.3.7	Sitios contaminados	40
1.3.8	Situación ambiental sanitaria relacionada con PCB	41
1.3.8.1	Análisis de la situación en salud y ambiente del país	41
1.3.8.2	Seguridad en ambientes laborales y medidas de protección de los trabajadores	44
1.3.9	Opciones de gestión nacional	45

1.3.9.1	Medidas jurídicas y administrativas, dirigidas al control del uso, identificación, etiquetado, remoción, almacenamiento, eliminación y productos o equipos que contienen PCB	46
1.3.9.2	Infraestructura técnica y tecnologías existentes para la eliminación, transporte, almacenamiento, exportación, etc.	47
1.3.9.3	Medidas voluntarias desarrolladas por el (los) sector(es) industrial(es) o por grupos de industrias	48
1.3.9.4	Medidas para combatir el comercio ilegal	49
1.3.9.5	Necesidades de asistencia técnica y tecnológica regional e internacional	50
1.3.10	Definición de las prioridades de acción	50
1.3.11	Estrategia nacional de acción	52
1.3.12	Resultados globales del inventario nacional	61

## **2 LINEAMIENTOS TÉCNICOS NECESARIOS PARA SUSTENTAR TÉCNICAMENTE UNA REGULACIÓN NACIONAL**

2.1	Manipulación de equipos con PCB	63
2.1.1	Medidas generales de precaución	63
2.1.2	Utilizar el equipo de protección personal (EPP)	64
2.1.3	Preparación y respuesta ante emergencias	67
2.2	Mantenimiento de equipo con PCB	71
2.3	Almacenamiento de equipo con PCB	73
2.3.1	Ubicación de los locales	74
2.3.2	Características de las instalaciones	74
2.3.3	Características de los recipientes	75
2.3.4	Medidas de seguridad	76

2.3.5	Registro de datos	76
2.3.6	Almacenamiento inmediato	77
2.3.7	Áreas de almacenamiento transitorio para los PCB	78
2.3.8	Métodos de almacenamiento	78
2.4	Transporte de equipo con PCB	80
2.4.1	Condiciones técnicas de los medios de transporte	80
2.4.2	Condiciones de empaque y embalaje	81
2.4.3	Medidas de seguridad y medios de protección	81
2.4.4	conocimientos e informaciones que deben poseer los conductores de los medios de transporte	82
2.4.5	Documentación y permisos y/o certificaciones necesarios	82
2.5	Tratamiento y eliminación de PCB	83
2.5.1	Descontaminación	84
2.5.2	Métodos de eliminación	86
2.5.2.1	Incineración	86
2.5.2.1.1	Hornos de cemento	88
2.5.2.2	Biodegradación	88
<b>3</b>	<b>PROYECTO DE NORMATIVA RELATIVA A BIFENILOS POLICLORADOS (PCB)</b>	
3.1	Análisis de la legislación nacional vigente	91
3.2	Marco legal e institucional para la gestión de los Bifenilos Policlorados (PCB)	93
3.3	Propuesta de un modelo de normativa nacional sobre el manejo adecuado de equipos eléctricos con PCB	96
<b>4</b>	<b>ESTIMACIÓN GENERAL DE COSTOS INCURRIDOS EN EL MANEJO DE EQUIPOS CON PCB</b>	
4.1	Identificación de equipos	113

4.1.1	Prueba de la densidad	113
4.1.2	Prueba de presencia de cloro	113
4.1.3	Prueba de olor	114
4.1.4	Método de screening para PCB en aceite de transformador: kit Clor-N-Oil 50	114
4.1.4.1	Algunas de las sugerencias mas importantes para el uso del kit Clor-N-Oil son	115
4.1.5	Analizador L2000 DX	116
4.1.6	Cromatografía de gases	118
4.1.7	Espectrometría de masas	120
4.1.7.1	Aplicaciones	121
4.2	Reemplazo de transformadores	124
4.3	Almacenamiento	124
4.4	Exportación	125
4.5	Eliminación	126
4.6	Estudio de caso 1	127
4.6.1	Situación	127
4.6.2	Costos de identificación	127
4.6.3	Escenario 1	128
4.6.3.1	Costos de reemplazo	128
4.6.3.2	Costos de almacenamiento	129
4.6.3.3	Costos de exportación	129
4.6.3.4	Costos de eliminación	129
4.6.4	Escenario 2	130
4.6.5	Escenario 3	130
4.6.6	Escenario 4	130
4.7	Costos de la estrategia nacional de acción	132

<b>5</b>	<b>LABORATORIO NACIONAL DE SALUD: UNA OPCIÓN PARA ANALIZAR CONTENIDO DE PCB</b>	
5.1	Ubicación	139
5.2	Misión	139
5.3	Visión	140
5.4	Funciones	140
5.5	Capacidad tecnológica para analizar PCB	140
5.5.1	Procedimiento para iniciar el análisis	141
5.5.1.1	Obtener la metodología de análisis	141
5.5.1.2	Obtener el estándar de referencia certificado	142
5.5.1.3	Calcular la demanda de análisis de PCB	142
5.5.1.4	Estimado del costo de análisis	142
5.5.2	Equipo electrónico para realizar cromatografía de gases y espectrometría de masas	143
5.5.2.1	Cromatografía de gases	144
5.5.2.2	Espectrometría de masas	145
	<b>CONCLUSIONES</b>	<b>147</b>
	<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>149</b>
	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>153</b>
	<b>APÉNDICE: TABLA DE RESULTADOS DE EQUIPOS ELÉCTRICOS DE LA EMPRESA ELÉCTRICA MUNICIPAL DE SAN MARCOS</b>	<b>155</b>
	<b>ANEXOS</b>	<b>159</b>
	<b>ANEXO 1: INSTRUCCIONES DE USO PARA EL KIT CLOR-N-OIL 50</b>	<b>161</b>
	<b>ANEXO 2: INTRODUCCIÓN A LOS CONVENIOS</b>	<b>171</b>



# ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

## FIGURAS

1	Molécula del benceno	2
2	Efecto de resonancia en la molécula de benceno	3
3	Molécula del fenilo	4
4	Estructura Molecular de los Bifenilos Policlorados	5
5	Esquema simple de un transformador	10
6	Transformador de Potencia, utilizado en Subestaciones eléctricas	11
7	Transformadores de Distribución Convencionales	12
8	Relación existente entre las tres clases de mantenimiento	13
9	El mantenimiento es necesario para el buen funcionamiento del transformador	14
10	Personal dando mantenimiento a un transformador de potencia	15
11	Comparación de colores en una muestra de aceite	20
12	Análisis de una muestra de aceite en el laboratorio	25
13	Interruptores de Potencia de Gran volumen de aceite	26
14	Capacitores conectados a un sistema eléctrico	28
15	Transformador con derrames en la válvula de muestreo	36
16	Transformador con fugas	37
17	Bodega de una Empresa Eléctrica Municipal	38
18	Transformadores en el corredor de una Municipalidad	39
19	Cementerio de Transformadores	40
20	Transformadores con derrames	41
21	Contaminación de un ecosistema	43
22	Trabajadores destapando un transformador de distribución	44

23	Trabajadores tomando muestras de aceite sin ninguna protección	45
24	Ciclo de Manejo Integral de Sustancias Peligrosas	52
25	Gráfica que muestra los resultados globales del Inventario	61
26	Etiquetas para identificar el contenido de PCB en equipos analizados	111
27	Registro de Inspección implementado por el MARN	111
28	Analizador L2000DX	116
29	El Analizador dentro de su equipo de transporte y demás elementos	117
30	Cromatógrafo de gases	119
31	Resultado de la espectrometría de masas	121
32	Detector de espectro de masas acoplado aun cromatógrafo de gases	122
33	Transformadores con PCB en la Empresa Eléctrica de San Marcos	127
34	Metodología de análisis	143
35	Cromatógrafo de gases acoplado a un detector de captura de electrones	144
36	Cromatógrafo de gases acoplado a un detector de espectro de masas y a un detector de captura de electrones	145

## TABLAS

I	Distintos congéneres de PCB que se pueden obtener	6
II	Comparación de algunos análisis practicados al aceite dieléctrico	22
III	Gases producidos por fallas en el transformador	24
IV	Características límites del aceite dieléctrico	47
V	Prioridades de acción	51
VI	Planificación de actividades a corto, mediano y largo plazo	56
VII	Nombres comerciales y sinónimos de PCB	110
VIII	Resumen y comparación de métodos de identificación de PCB	123
IX	Costos según PNUMA	126
X	Resumen de los costos totales de la Gestión de los PCB en la Empresa Eléctrica Municipal de San Marcos	131
XI	Costos de la Estrategia Nacional de Acción	132
XII	Normas de Análisis para PCB	141



## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>A</b>	Amperio
<b>CA</b>	Corriente alterna
<b>CC</b>	Corriente continua
<b>COP</b>	Contaminante Orgánico Persistente
<b>CSP</b>	Siglas en inglés de completamente autoprotegido (completely self-protected)
<b>CT</b>	Siglas en inglés de Transformador de Corriente (current transformer)
<b>EPA</b>	Environment Protecction Agency
<b>EPP</b>	Equipo de protección personal
<b>ISO</b>	International Standard Organization
<b>Kg</b>	Kilogramo
<b>KV</b>	Kilovoltio
<b>KVA</b>	Kilovoltamperio

<b>KVAR</b>	Kilovoltamperio reactivo
<b>MARN</b>	Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales
<b>ml</b>	Mililitro
<b>mV</b>	Milivoltio
<b>OSHA</b>	Occupation Safety & Health Administration
<b>ONU</b>	Organización de Las Naciones Unidas
<b>PCB</b>	Siglas en inglés de Bifenilos Policlorados (Polychorinated Biphenyl)
<b>PPM</b>	Partes por millón
<b>PT</b>	Siglas en inglés de Transformador de Potencial (potencial trasnformer)
<b>US \$</b>	Dólares de Los Estados Unidos
<b>V</b>	Voltio

## **GLOSARIO**

<b>BOBINA</b>	Arrollamiento de alambre conductor aislado utilizado para generar un campo magnético
<b>BUSHING</b>	Dispositivo de conexión de las bobinas de un transformador aislado especialmente para evitar una descarga eléctrica
<b>CARCAZA</b>	Toda la parte exterior metálica de un transformador donde se encuentran alojados la bobina y el núcleo
<b>CARGA</b>	Es el dispositivo que se conecta en la salida de un transformador, el cual debe ser alimentado con energía eléctrica para producir determinado trabajo
<b>CLORADO O CLORINADO</b>	Sustancia con contenido de Cloro
<b>CONTAMINACIÓN CRUZADA</b>	Es la contaminación que tiene lugar por la utilización de equipos contaminados que entran en contacto con componentes de equipos libres de contaminación.

<b>DEVANADO PRIMARIO</b>	El devanado o bobina de un transformador que se usa como entrada
<b>DEVANADO SECUNDARIO</b>	El devanado o bobina de un transformador que se usa como salida
<b>DIELÉCTRICO</b>	Material o sustancia aislante
<b>FALSO-NEGATIVO</b>	Resultado negativo obtenido de una prueba que en realidad no lo es
<b>FALSO-POSITIVO</b>	Resultado positivo obtenido de una prueba que en realidad no lo es
<b>FERROMAGNÉTICO</b>	Material que es capaz de transportar un flujo magnético. Es decir que se puede magnetizar.
<b>FLUIDIZADO</b>	Sustancia que presentaba con anterioridad un estado sólido, y que ha llegado al punto de parecer un fluido
<b>TACITO</b>	Es algo que no se oye o dice formalmente, sino que se supone
<b>TAXATIVO</b>	Es algo que limita y reduce un caso a determinadas circunstancias
<b>TERMOTRATAMIENTO</b>	Tratamiento realizado a base de temperatura

## RESUMEN

Los Bifenilos Policlorados son una familia de sustancias químicas orgánicas compuestas de dos fenilos unidos por un enlace carbono-carbono. Los átomos de cloro se sustituyen en uno o en los diez lugares disponibles restantes.

Fueron utilizados desde los años treinta principalmente en la fabricación de equipos eléctricos como transformadores, capacitores y balastos. También como aceites lubricantes y fluidos para aire acondicionado. Su uso industrializado se prohibió en Estados Unidos hasta en 1986 por sus características contaminantes, su persistencia en el medio ambiente y los daños a la salud humana. Pueden durar hasta treinta años en un equipo eléctrico sin perder sus características aislantes; de ahí la preferencia de utilizarlos para la fabricación de dichos equipos.

En Guatemala nunca se había tratado el tema de Bifenilos Policlorados. Se puede afirmar que el mayor problema relacionado con esta sustancia es el desconocimiento de su existencia y los problemas que genera, tanto para la salud humana como para el medio ambiente.

Es necesaria una regulación y legislación adecuada, que involucre a cada uno de los sectores que posean o puedan poseer Bifenilos Policlorados.

La Normativa Nacional sobre el Manejo Adecuado de Equipos Eléctricos con PCB ha sido propuesta en base a la situación actual de nuestro país y busca llenar el vacío que existe referente a este tema.



## OBJETIVOS

### ➤ **General**

Elaborar una propuesta de normativa nacional sobre el manejo adecuado de equipos eléctricos con PCB en Guatemala.

### ➤ **Específicos**

1. Investigar los insumos técnicos, institucionales y legales sobre los que se basará la propuesta de normativa y confrontarlo con el diagnóstico desarrollado por el MARN para establecer los lineamientos y principios sobre los cuales se base la propuesta de normativa a elaborar.
2. Definir los costos implicados en el manejo adecuado de equipos con PCB de manera que los poseedores de equipos puedan usar como insumo para la planificación de las etapas de mantenimiento, almacenamiento, y eliminación de los equipos contaminados.
3. Dar a conocer la propuesta de normativa y recibir la retroalimentación debida para poder entregar una propuesta viable y consensuada que pueda seguir un proceso de aprobación oficial.



## INTRODUCCIÓN

Los Contaminantes Orgánicos Persistentes (COP) son sustancias químicas altamente contaminantes. Se denominan persistentes, porque no se destruyen de una forma natural como la biodegradación.

Dentro de este grupo se encuentran los Bifenilos Policlorados, los cuales poseen un alto contenido de Cloro. Estas sustancias se utilizaron desde los años treinta hasta 1986 en la fabricación de equipos eléctricos como transformadores, capacitores y balastos.

Por la naturaleza de los equipos que se encuentran contaminados, se ha requerido la participación de estudiantes de Ingeniería Eléctrica dentro del Proyecto Nacional PCB Guatemala, proyecto que impulsa el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. En el trabajo de campo realizado se ha podido observar la situación y el grado de contaminación presente en nuestro país. No existe actualmente ninguna ley, reglamento o normativa específica que regule el uso, manejo y eliminación de los Bifenilos Policlorados, por lo que en este trabajo se propone un modelo en base al trabajo de campo efectuado.

En este trabajo se describe la situación actual de nuestro país y el grado de contaminación que presenta. También se dan los Lineamientos Técnicos necesarios para el manejo adecuado de dichas sustancias, así como los costos que implicados en el manejo y la eliminación. Por último, se describe el Laboratorio Nacional de Salud, el cual posee el equipo necesario para realizar pruebas de PCB.

# **1. LOS BIFENILOS POLICLORADOS (PCB), EQUIPOS ELÉCTRICOS QUE LOS CONTIENEN Y SITUACIÓN DE CONTAMINACIÓN NACIONAL**

## **1.1 Estructura Química de los PCB**

A continuación se detalla la estructura química de los PCB.

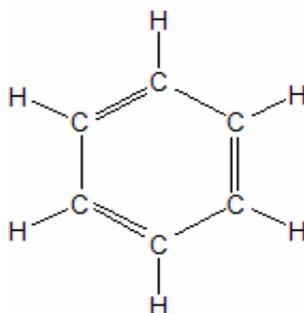
### **1.1.1 Los Fenilos**

El benceno es un líquido incoloro con olor dulce. Se evapora al aire rápidamente y es poco soluble en agua. Es altamente inflamable y se forma tanto de procesos naturales como de actividades humanas. Hay una gran estabilidad química asociada a la estructura del benceno y en general a todos los compuestos aromáticos.

La molécula de benceno consiste en un anillo cerrado de seis átomos de carbono unidos por enlaces químicos simples y dobles. Cada átomo de carbono está a su vez unido a un átomo de hidrógeno. El benceno tiene la fórmula molecular  $C_6H_6$ .

August Friederich Kekule, en 1865, observó que el benceno y sus derivados, denominados compuestos aromáticos poseían una estabilidad molecular muy superior a lo esperado en un compuesto orgánico con dobles enlaces.

Figura 1. Molécula del benceno.



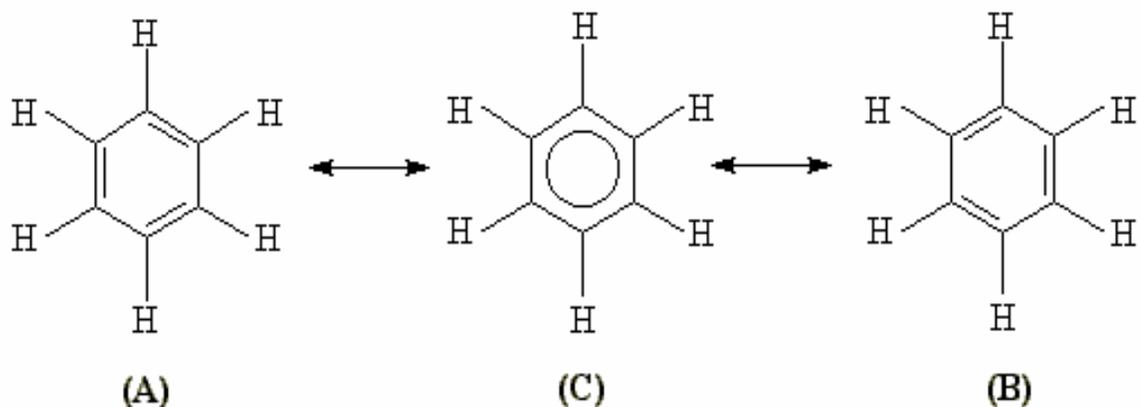
Fuente: Facultad de Ciencias Químicas y Farmacéuticas. Universidad de Chile.

La explicación a este fenómeno vino de la mano de la llamada **Teoría de resonancia**, que explica que en moléculas simétricas, como es el caso del anillo de benceno, cada átomo de carbono puede formar un doble enlace con cualquiera de los dos átomos de carbono adyacentes dando lugar a dos posibles estructuras resonantes que en la práctica se mantienen en equilibrio continuo.

Esto es debido a que son estructuras químicas cíclicas, planas que poseen un número máximo de dobles enlaces conjugados permitiendo así una amplia deslocalización electrónica en su sistema. Su estudio ha demostrado que los enlaces entre los átomos de carbono sucesivos son semejantes, es decir, no se puede distinguir entre enlace simple y enlace doble. De esta manera, la estructura del benceno, es un híbrido de resonancia entre las estructuras contribuyentes (A) y (C).

La estructura (C) no es una mezcla de (A) y (B), sino que es una estructura que tiene características físicas y químicas ponderadas tanto de (A) como de (B):

Figura 2. Efecto de resonancia en la molécula de benceno.



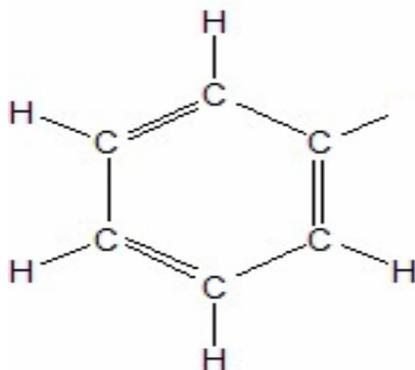
Fuente: Facultad de Ciencias Químicas y Farmacéuticas. Universidad de Chile.

El descubrimiento de la resonancia en este tipo de moléculas permitió explicar el motivo por el cual los compuestos así formados presentaban una estabilidad superior a lo que cabría esperar del calculo de su energía de formación. Al estar alternados los enlaces dobles, esto es, uno sí y uno no, proporcionan a la molécula sus características tan especiales.

A partir de este anillo de benceno se puede formar un grupo de moléculas denominados fenilos, el cual presenta las mismas características de estabilidad.

Un fenilo es una molécula formada por seis átomos de carbono y cinco átomos de hidrógeno. Formalmente se trata de un anillo de benceno donde un hidrógeno es sustituido por el resto de una molécula. Su fórmula molecular es  $C_6H_5$ .

Figura 3. Molécula del fenilo.



Fuente: Facultad de Ciencias Químicas y Farmacéuticas. Universidad de Chile.

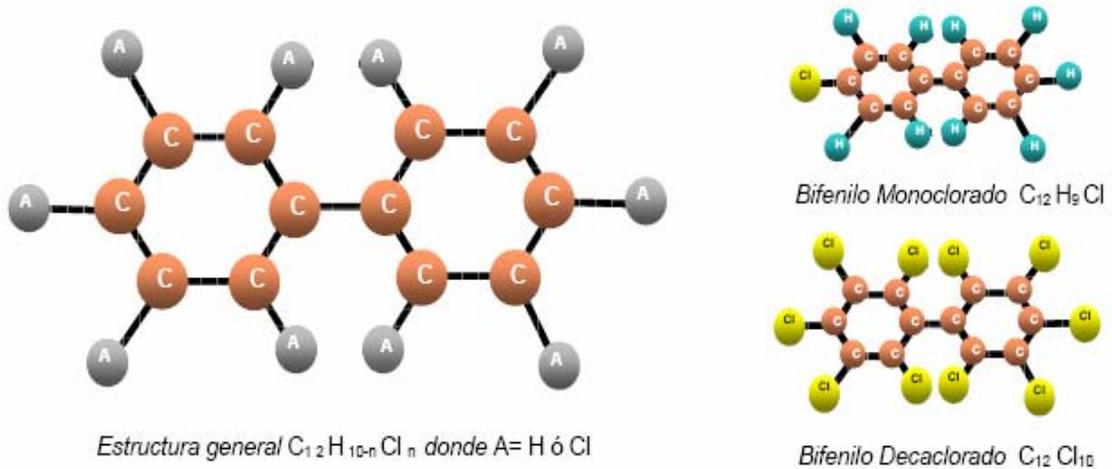
### 1.1.2 Los Bifenilos Policlorados

Los Bifenilos Policlorados (abreviados PCB) son una familia de sustancias químicas orgánicas compuestas de dos anillos de benceno (fenilos) unidos por un enlace carbono-carbono. Los restantes átomos de carbono se encuentran unidos a átomos de hidrógeno o cloro.

En cada uno de los dos anillos existen cinco hidrógenos que pueden ser sustituidos por cloros, por lo que los PCB van desde los monocloro bifenilo (MCB), con tres isómeros posibles, hasta el único decacloro bifenilo (DeCB). 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. En total, existen 209 posibles congéneres.

Figura 4. Estructura Molecular de los Bifenilos Policlorados.



Fuente: Guía para el Manejo de Bifenilos Policlorados (PCB) de Cuba.

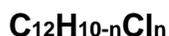
Al grupo de compuestos de cada tipo se les denomina congéneres y está en función de todas las posibles combinaciones entre átomos de cloro e hidrógeno que se pueden encontrar.

La volatilidad de las distintas moléculas varía según el grado de cloración. En general, los congéneres con bajo contenido de cloro son líquidos que fluyen libremente y se hacen más viscosos y menos volátiles al aumentar el contenido de cloro.

Las preparaciones comerciales generalmente contienen una mezcla de congéneres y se clasifican según su contenido de cloro.

En las abreviaturas C significa cloro, B significa bifenilo y en el lugar que ocupa la P debe figurar la inicial indicativa del número de átomos de cloro que integran cada molécula: mono (M), di (D), tri (Tr), tetra (T), etc.

La fórmula molecular de los bifenilos policlorados es:



Donde n =1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 según el número de cloros que posea la molécula.

Tabla I. Distintos congéneres de PCB que se pueden obtener.

Número de cloros	Isómeros PCDD	Isómeros PCDF	Isómeros PCB
1	2	4	3
2	10	16	12
3	14	28	24
4	22	38	42
5	14	28	46
6	10	16	42
7	2	4	24
8	1	1	12
9	-	-	3
10	-	-	1
<b>Total congéneres =</b>	<b>75</b>	<b>135</b>	<b>209</b>

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

Debido a las características de estabilidad molecular que presenta el anillo de benceno, la idea de unir dos de éstos a través de un enlace de carbono-carbono, representaba la creación de una nueva sustancia química con características sin precedentes, ideal para aplicaciones industriales. Su producción inició en 1929, por la empresa Monsanto (USA).

El PCB es considerado un "contaminante orgánico persistente", es decir que permanece en el medio ambiente por largos períodos y está incluido en la "docena sucia", un listado de los doce contaminantes más peligrosos del planeta.

Cabe señalar que, además de utilizarse en transformadores y condensadores eléctricos, los PCB están presentes en muchos otros productos: barnices, parafinas, resinas sintéticas, pinturas epóxicas y marinas, recubrimientos, lubricantes para corte, fluidos para intercambiador de calor, fluidos hidráulicos, etc<sup>1</sup>.

#### **1.1.2.1 Características**

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. En resumen, éstas son las características de los PCB:

- Constante dieléctrica alta
- Baja volatilidad
- Resistentes al fuego
- Baja solubilidad en agua
- Alta solubilidad en solventes orgánicos
- Alta resistencia al envejecimiento, no se deterioran durante el uso

---

<sup>1</sup> Transformadores y Condensadores con PCB: desde la gestión hasta la reclasificación y eliminación. PNUMA.

### **1.1.2.2 Aplicaciones**

Debido a su considerable potencial dieléctrico, su alta capacidad de absorción de calor y sus propiedades de resistencia al fuego, se utilizan como:

- Fluidos dieléctricos (resistentes al fuego) en transformadores y, por lo tanto, mezclas con clorobenzenos, en condensadores, interruptores, etc
- Refrigerantes en lugares donde no es admisible el riesgo de incendio como en el transporte en barco de productos inflamables
- Fluidos hidráulicos por razones de seguridad donde hay consideraciones de calor, por ejemplo, en algunas instalaciones mineras

### **1.1.2.3 Riesgos**

Algunas de las características de los PCB, como las siguientes, se consideran significativamente negativas y peligrosas:

- No son biodegradables
- Son persistentes en el medio ambiente
- Pueden acumularse en los tejidos adiposos del cuerpo
- Son posibles carcinógenos
- Pueden causar insuficiencia renal y de otros órganos humanos
- Si son inhalados, pueden producir dolor de cabeza, mareo, etc.
- Si se absorben por la piel pueden causar cloroacné

## **1.2 Equipos eléctricos que pueden contener PCB**

A continuación se detallan los principales equipos eléctricos que pueden contener PCB.

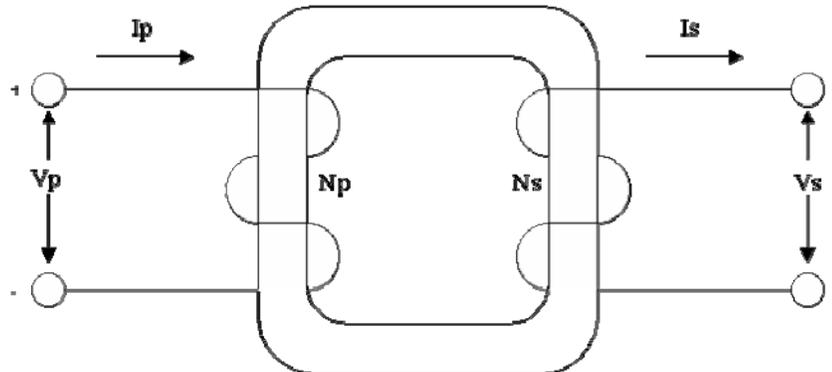
### **1.2.1 Transformadores**

Un transformador es un dispositivo que cambia la energía eléctrica de CA de un nivel de voltaje en energía eléctrica de CA de otro nivel de voltaje, mediante la acción de un campo magnético. Consiste en una bobina de entrada llamada devanado primario, o simplemente primario, y una bobina de salida llamada devanado secundario, o simplemente secundario. Estas bobinas se encuentran enrolladas alrededor del núcleo, el cual es de un material ferromagnético y no están conectadas directamente. La única conexión entre las bobinas es el flujo magnético común presente dentro del núcleo. En el primario se conecta la fuente de alimentación y en el secundario se conecta la carga que alimentará el transformador. Si se conecta una fuente en el primario, se produce en sus terminales el voltaje primario. Con lo anterior circulará una corriente eléctrica por el devanado primario llamada corriente primaria, la que generará un flujo magnético. Este flujo circula por el núcleo, de tal forma que al atravesar el devanado secundario genera una corriente llamada corriente secundaria y en sus terminales aparece el voltaje secundario. La corriente secundaria alimenta directamente a la carga conectada en sus terminales<sup>2</sup>.

---

<sup>2</sup> Máquinas Eléctricas. Stephen Chapman. Segunda Edición.

Figura 5. Esquema simple de un transformador.



Fuente: Chapman Stephen. Maquinas Eléctricas. Segunda Edición. México. Editorial Mc Graw Hill, 1990.

### 1.2.1.1 Clasificación de los transformadores

Los transformadores se clasifican por el número de fases en:

- Monofásicos
- Trifásicos

Por la forma de refrigeración en:

- Secos
- Sumergidos en aceite dieléctrico

Por su utilización en:

- Transformadores de Potencia
- Transformadores de Distribución
- Transformadores de Medición o instrumentos

### **1.2.1.1.1 Transformadores de potencia**

Se utilizan tanto en las salidas de los generadores, elevando el voltaje producido por éste para enviar la energía a través de las líneas de transmisión, como en las subestaciones conectados a diferentes puntos de las líneas de transmisión para reducir el voltaje a niveles requeridos por la red eléctrica (subtransmisión). Poseen capacidad superior a 500 KVA y voltajes hasta 400 KV.

Figura 6. Transformador de Potencia, utilizado en Subestaciones eléctricas.



Fuente: Proyecto PCB Guatemala.

### **1.2.1.1.2 Transformadores de distribución**

Estos reducen el voltaje de subtransmisión a valores utilizables en zonas de consumo comercial y doméstico. Poseen capacidad desde 3 KVA hasta 500 KVA y voltajes hasta 34.5 KV. Se dividen en 3 grupos:

- Convencionales
- Completamente autoprotegidos (CSP)
- Subterráneos

Figura 7. Transformadores de Distribución Convencionales.



Fuente: Proyecto PCB Guatemala.

## **1.2.2 Mantenimiento de transformadores de potencia**

El mantenimiento es necesario para garantizar la continuidad y la confiabilidad en la operación de un transformador en un sistema eléctrico. Se divide en tres clases:

### **1.2.2.1 Mantenimiento predictivo**

Tiene como finalidad lograr el máximo tiempo de operación del equipo y eliminar el trabajo innecesario. Exige técnicas de revisión y pruebas más avanzadas para determinar con certeza la condición del equipo y un control más riguroso para lograr la planeación correcta y efectuar las revisiones verdaderamente necesarias.

### **1.2.2.2 Mantenimiento preventivo**

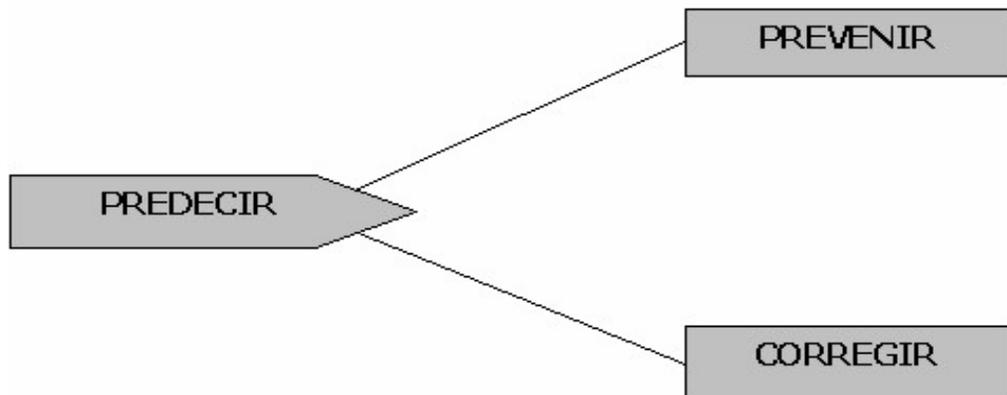
Este tipo de mantenimiento tiene como objetivo prevenir las interrupciones y fallas, al mismo tiempo que prolongar los tiempos de operación por medio de inspecciones programadas y revisiones periódicas del equipo.

### 1.2.2.3 Mantenimiento correctivo

Requiere poca planeación y control, pero sus desventajas lo hacen inaceptable en grandes instalaciones, ya que todo el trabajo es hecho sobre una base de emergencia, la cual resulta en un ineficiente empleo de la mano de obra y en excesivas interrupciones.

Un buen mantenimiento del transformador debe caer en los tipos de mantenimiento que se han mencionado anteriormente.

Figura 8. Relación existente entre las tres clases de mantenimiento.



Fuente: ABB - Mantenimiento de Transformadores de Potencia.

Un transformador está diseñado para durar más de 25 años en operación. Sin embargo, para que esto ocurra es necesario efectuar un control periódico que demanda tiempo y costos, pero que son ampliamente compensados con la disminución en las perturbaciones del servicio y la prolongación de su vida útil.

Figura 9. El mantenimiento es necesario para el buen funcionamiento del transformador.



Fuente: ABB - Mantenimiento de Transformadores de Potencia.

#### **1.2.2.4 Inspección de transformadores (análisis de aceite)**

Es recomendable realizar inspecciones de rutina, las que deben ser complementarias a las inspecciones semanales de temperaturas y niveles de aceite.

Cada tres años se deben inspeccionar los siguientes elementos del transformador:

- Indicadores de nivel
- Relé de presión súbita
- Válvulas de sobrepresión
- Relé Buchholz

Una vez al año se deben inspeccionar los siguientes elementos y realizar los análisis correspondientes:

- Cuba principal
- Aisladores
- Termómetros de aceite
- Termómetros de devanados
- Análisis de Aceites

#### **1.2.2.4.1 Indicadores de nivel**

Cuando los transformadores poseen tanque conservador, permiten instalar en este último el indicador de nivel de aceite. Sin embargo, cuando el transformador no cuenta con el tanque conservador, el indicador de nivel de aceite se monta sobre la pared frontal de los transformadores.

Se debe verificar si existen fugas por los empaques. También se debe tomar la temperatura del termómetro de aceite, después mirar el nivel de aceite, el cual debe corresponder a un nivel razonable de acuerdo a la temperatura del termómetro.

Figura 10. Personal dando mantenimiento a un transformador de potencia.



Fuente: ABB - Mantenimiento de Transformadores de Potencia.

#### **1.2.2.4.2 Relé de presión súbita**

Son equipos diseñados para detectar los incrementos súbitos de presión causados por arcos. Están diseñados para operar antes que las válvulas de sobrepresión. Si el relé opera, no se debe energizar el equipo nuevamente hasta que sea determinada la causa exacta del problema.

#### **1.2.2.4.3 Válvulas de sobrepresión**

Indican sobrepresiones internas. Verificar presencia de fugas por los empaques. Las válvulas de sobrepresión jamás deben ser pintadas, por que pueden evitar el correcto accionamiento de las mismas.

#### **1.2.2.4.4 Rele Buchholz**

Son equipos diseñados para detectar la formación de gases dentro del transformador causados por sobrecalentamientos, descargas parciales, etc.

El chequeo se puede hacer con una bomba de mano hasta observar la activación de la alarma. Si se activa, no energizar el equipo hasta determinar la causa exacta.

#### **1.2.2.4.5 Cuba principal**

Se debe inspeccionar en busca de corrosión, fugas de aceite por los empaques de válvulas, radiadores y bujes. Los puntos de corrosión severos deben ser reparados.

#### **1.2.2.4.6 Aisladores**

Chequear la porcelana externa de rompimientos o contaminación. Verificar su nivel de aceite (si poseen fugas). Se les debe practicar pruebas de factor de potencia cada tres años.

#### **1.2.2.4.7 Termómetro de aceite y termómetro de devanados**

Los aislantes sólidos y líquidos se deterioran con más rapidez si su temperatura sobrepasa constantemente el límite admisible. Por esta razón es necesario evitar los calentamientos excesivos de los conductores que transfieren ese calor a los aislamientos. Verificar bien el capilar para ver si existen fugas. Verificar que los punteros no estén pegados.

#### **1.2.2.5 Sistema aislante del transformador (papel - aceite)**

La energía convertida en calor en el circuito magnético por histéresis, corrientes parásitas y pérdidas en el cobre, deberá ser transmitida a algún medio refrigerante y disipada antes de permitir que los aislamientos lleguen a una temperatura excesiva que provoque su degradación acelerada.

Los siguientes elementos del transformador presentan una vida útil muy larga:

- Acero Silicio - Núcleo
- Cobre - Conductores
- Estructura de Acero - Cuba
- Maderos - Calzos, cuadros de conexiones
- Cerámica - Aisladores

El sistema aislante presenta una vida útil corta. Se utiliza para aislar los devanados y también es un medio de transferencia de calor entre los devanados y el aceite. Se compone de dos elementos:

- Aislante Sólido: Papel (Celulosa), cartón comprimido
- Aislante Líquido: Aceite Mineral, aceite a base de silicona, askareles, gas SF<sub>6</sub>

#### **1.2.2.5.1 Funciones del aislante sólido**

- Aislar entre sí las espiras de una misma bobina
- Aislar entre sí a los devanados
- Soportar sin daño los esfuerzos eléctricos, térmicos y mecánicos a que son sometidos los devanados

#### **1.2.2.5.2 Funciones del aislante líquido**

- Transferencia térmica (refrigerante)
- Aislante dieléctrico
- Protege los aislamientos sólidos contra la humedad y el aire
- Portador de Información para los análisis

#### **1.2.2.5.3 Formas de transferencia de calor en el aislante líquido**

El calor puede ser transferido a través del líquido refrigerante por tres formas:

- Convección
- Radiación
- Conducción

## **1.2.2.6 Análisis del aceite dieléctrico**

### **1.2.2.6.1 Rigidez dieléctrica**

Indica la capacidad aislante de un aceite, que es su principal función. Es especialmente importante tener un estricto control sobre éste parámetro. Depende del contenido de agua y partículas del aceite. Valores bajos de rigidez aumentan el riesgo de falla del equipo.

### **1.2.2.6.2 Contenido de humedad**

Proporciona una indicación sobre el contenido de agua en la celulosa (papel). Un bajo contenido de agua es necesario para alcanzar una rigidez dieléctrica alta y maximizar la vida del sistema aislante.

### **1.2.2.6.3 Tensión interfacial**

Esta prueba es muy sensible a la formación de compuestos polares y contaminación. Es usada como una indicación del grado de deterioro de los aceites en servicio. Un valor alto en aceites nuevos indica la ausencia de contaminantes polares.

### **1.2.2.6.4 Índice de neutralización**

Es la prueba química más importante y conocida. Se le llama también índice de acidez o simplemente acidez.

Es una medida de los constituyentes o agentes contaminantes ácidos en el aceite. Su valor aumenta como consecuencia del envejecimiento.

#### 1.2.2.6.5 Color

El color y la apariencia proporcionan información rápida y valiosa (empírica). Si el aceite presenta un color oscuro es indicativo de posible deterioro. Este debe ser limpio, transparente y libre de sedimentos.

Figura 11. Comparación de colores en una muestra de aceite.



Fuente: ABB - Mantenimiento de Transformadores de Potencia.

#### 1.2.2.6.6 Densidad

La densidad varía con la temperatura de modo que se debe corregir cuando se mida a una temperatura que no sea la de referencia. La prueba consiste en utilizar un aparato de vidrio que se hace flotar en el líquido, llamado densímetro el cual tiene una graduación interna en la que se lee el valor que coincida con la superficie del líquido.

#### **1.2.2.6.7 Viscosidad**

Al efectuar esta prueba se mide la fluidez del aceite. Se lleva a cabo usualmente en un aparato llamado viscosímetro Saybolt que contiene un orificio capilar estandarizado por el que se hace pasar una cantidad volumétrica de aceite determinada. El tiempo requerido es la viscosidad del aceite a la temperatura de prueba y se reporta como segundos Saybolt universales. La viscosidad es una característica necesaria para conducir el calor generado en el equipo eléctrico y así actuar como refrigerante.

#### **1.2.2.6.8 Factor de potencia**

El factor de potencia indica las perdidas dieléctricas del aceite (fugas de corriente). Un alto factor de potencia (F.P.) indica deterioro y/o contaminación por productos como el agua, carbón u otras partículas.

#### **1.2.2.6.9 Impulso eléctrico**

El valor de impulso eléctrico en aceites aislantes es una propiedad dieléctrica especial. Es la habilidad de un aceite aislante para soportar sobrevoltajes transitorios. El valor aceptable de esta prueba aún no se ha establecido, pero se ha propuesto un valor de 145 KV mínimo.

#### **1.2.2.6.10 Gravedad específica**

Da una indicación del tipo de aceite: nafténico o parafínico.

Tabla II. Comparación de algunos análisis practicados al aceite dieléctrico.

ENSAYOS	UNIDAD	Referencias tomadas de IEEE std C57.106-2002		
		EQUIPOS EN USO		EQUIPOS NUEVOS
		≤ 69 KV	>69 ≤ 230 KV	>69 ≤ 230 KV
COLOR (ASTM D 1500)		N.A.	N.A.	1.0 max
GRAVEDAD ESPECIFICA (ASTM D 1298)		N.A.	N.A.	0.890 max
NUMERO DE NEUTRALIZACION (ASTM D 974)	mg KOH/g Aceite	0.2 max	0.15 max	0.015 max
TENSION INTERFACIAL (ASTM D 971)	Dinas/cm	25 min	30 min	38 min
CONTENIDO DE HUMEDAD (ASTM D 1500)	ppm	35 max	20 max	10 max
RIGIDEZ DIELECTRICA (ASTM D 877___ / ASTM D 1816___)	KV	23 min	28 min	30 min
FACTOR DE POTENCIA (ASTM D 924 25°C)	%	0.5 max	0.5 max	0.05 max
FACTOR DE POTENCIA (ASTM D 924 100 °C)	%	5.0 max	5.0 max	0.40 max

Fuente: ABB - Mantenimiento de Transformadores de Potencia.

### 1.2.2.7 Análisis de gases disueltos

El AGD es considerado la más importante herramienta para la determinación del estado de los transformadores. El AGD de un transformador en servicio, es frecuentemente la primera indicación de un mal funcionamiento, que puede eventualmente producir una falla. Permite la detección de pequeñas cantidades de determinado compuesto (ppm).

#### 1.2.2.7.1 Objetivos del AGD

- Detectar fallas incipientes en equipos en operación
- Evitar los costos relacionados con fallas de transformadores en garantía

- Prevenir cortes en el suministro eléctrico

#### **1.2.2.7.2 Generación de gases en los transformadores**

Todos los transformadores generan gases. La generación de gases anormal ocurre cuando el equipo presenta calentamiento general, problemas dieléctricos o la combinación de estos.

#### **1.2.2.7.3 Descomposición de aislamientos**

Si ocurre una descomposición del aceite, se produce una ruptura de moléculas de hidrocarburos produciendo gases como Hidrogeno, Acetileno, Etileno, Etano y Metano. El Hidrógeno también es producido cuando el equipo tiene alto contenido de humedad.

Si ocurre una descomposición térmica de la celulosa se produce Monóxido de Carbono y Dióxido de Carbono.

#### **1.2.2.7.4 Fallas en transformadores**

Las fallas generan gases en el interior del transformador, los cuales deben se encuentran en un estado semidisuelto en el aceite dieléctrico (emulsión). Existen tres clases de fallas que pueden producirse:

- Fallas térmicas
- Descargas parciales
- Arcos eléctricos

#### 1.2.2.7.4.1 Fallas térmicas (sobrecalentamiento)

Se producen cuando la temperatura alcanza niveles desde 150 hasta 500°C y se producen gases como el Etileno y Metano, con un pequeño porcentaje de Hidrógeno.

#### 1.2.2.7.4.2 Descargas parciales

Prácticamente el único gas producido por descargas parciales en el aceite es el Hidrogeno, con pequeñas cantidades de Metano y trazas de Acetileno.

#### 1.2.2.7.4.3 Arcos eléctricos

El rompimiento del aceite aislante ocasionado por un arco está caracterizado por la producción de Acetileno e Hidrógeno como los gases predominantes. Pueden también estar acompañados por alguna cantidad de Etileno y otros compuestos de la descomposición térmica, dependiendo de la intensidad del arco.

Durante la producción de arcos se generan temperaturas entre 700 hasta 1800°C.

Tabla III. Gases producidos por fallas en el transformador.

ELEMENTO AISLANTE	FALLA	GASES GENERADOS
ACEITE	ARCO	ACETILENO, HIDROGENO
	DESCARGA PARCIAL	HIDRÓGENO, METANO
	SOBRECALENTAMIENTO	ETILENO, METANO, HIDROGENO
PAPEL	SOBRECALENTAMIENTO	MONÓXIDO DE CARBONO
		DIÓXIDO DE CARBONO

Fuente: ABB - Mantenimiento de Transformadores de Potencia.

### 1.2.2.8 Análisis de contenido de furanos

Los compuestos de furanos son generados exclusivamente durante el proceso de descomposición del papel aislante, por esto es utilizado como una técnica predictiva para evaluación preliminar del grado de envejecimiento del transformador.

### 1.2.2.9 Análisis del grado de polimerización

El envejecimiento del transformador depende directamente del envejecimiento del papel aislante. El método más confiable para evaluar el grado de envejecimiento del papel es el grado de polimerización (GP), pues está directamente relacionado con su resistencia mecánica.

Figura 12. Análisis de una muestra de aceite en el laboratorio.



Fuente: ABB - Mantenimiento de Transformadores de Potencia.

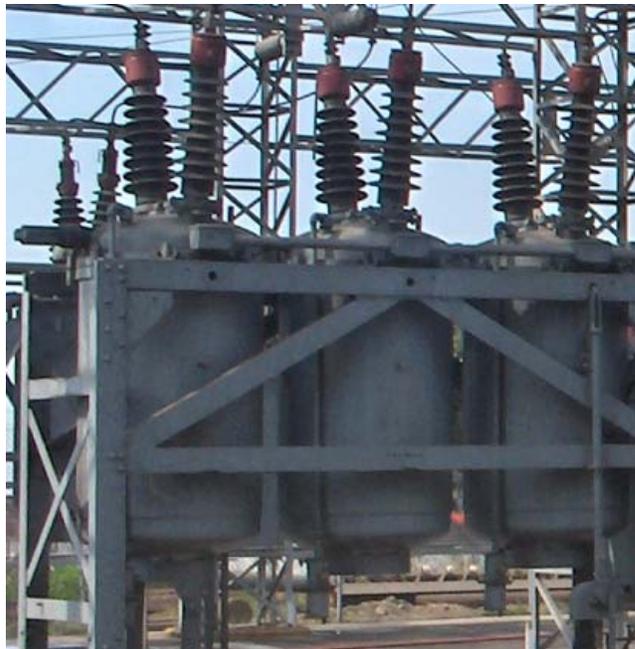
### 1.2.3 Interruptores eléctricos de potencia

El interruptor es un dispositivo destinado al cierre y apertura de la continuidad de un circuito eléctrico bajo carga, en condiciones normales, así como, y ésta es su función principal, bajo condiciones de cortocircuito.

Sirve para insertar o retirar de cualquier circuito energizado máquinas, aparatos, líneas aéreas o cables.

El interruptor es, junto con el transformador, el dispositivo más importante de una subestación. Su comportamiento determina el nivel de confiabilidad que se puede tener en un sistema eléctrico de potencia.

Figura 13. Interruptores de Potencia de Gran volumen de aceite.



Fuente: ABB - Mantenimiento de Transformadores de Potencia.

#### **1.2.4 Capacitores**

Son dispositivos eléctricos formados por dos láminas conductoras, separadas por una lámina dieléctrica y que al aplicar una diferencia de tensión almacenan carga eléctrica.

Los capacitores de alta tensión están sumergidos, por lo general, en líquidos dieléctricos y todo el conjunto está dentro de un tanque pequeño, herméticamente cerrado. Sus dos terminales salen al exterior a través de dos boquillas de porcelana cuyo tamaño dependerá del nivel de tensión del sistema al que se conectarán.

Se fabrican en unidades monofásicas de 50, 100, 150, 200, 300 y 400 KVAR y en unidades trifásicas de 300 KVAR. Las unidades de uso más común son las de 100 y 150 KVAR. Una de sus aplicaciones más importantes es la de corregir el factor de potencia en líneas de distribución y en instalaciones industriales, aumentado la capacidad de transmisión de las líneas, el aprovechamiento de la capacidad de los transformadores y la regulación del voltaje en los lugares de consumo.

Los primeros capacitores de potencia se fabricaron en 1914, utilizando un aislamiento de papel impregnado en aceite mineral. En 1932 se utilizó como impregnante el askarel y se obtuvo una reducción en tamaño, peso y costo. Últimamente la introducción de los dieléctricos de plástico en los capacitores de alta tensión ha reducido aún más los tamaños, teniéndose menores problemas con las descargas parciales y menores pérdidas.

Figura 14. Capacitores conectados a un sistema eléctrico.



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

### 1.3 Contexto y análisis del problema: contaminación de PCB en el país

#### 1.3.1 Vista general del manejo de PCB en Guatemala y la problemática identificada

En 1884 se inicia en Guatemala la generación de energía eléctrica, iniciándose también la demanda de equipos utilizados para la generación, transporte y distribución de este fluido. El uso de transformadores en el país, probablemente data de alrededor de los años 20, lo que corresponde a una década antes del inicio de la producción industrial de bifenilos policlorados en el mundo. Aunque no se cuenta con información histórica detallada sobre el ingreso de transformadores y capacitores al país, se estima que desde la primera mitad del siglo pasado pudo comenzar a ingresar equipos con PCB.

Asimismo, hasta la fecha, en Guatemala nunca se había investigado formalmente sobre el uso de PCB, y mucho menos se había trabajado en la elaboración de un “Inventario de Equipos Contaminados con PCB”, a pesar que dentro de las empresas del sector eléctrico si se ha tenido algún conocimiento de la problemática que rodea el tema. En consecuencia, el desconocimiento e inconciencia sobre los peligros y riesgos que involucra el manejo de estos contaminantes ha sido la primera barrera por vencer.

Los transformadores con PCB más antiguos encontrados durante la realización del Inventario Nacional de estas sustancias, fueron fabricados en la primera década del siglo pasado, y a pesar de que ya no se encuentran en funcionamiento, el personal encargado de la mantención de éstos equipos, desconocen la peligrosidad de las sustancias que contienen los equipos que tienen a su cargo.

Esto, probablemente, sea la base de la problemática que rodea el manejo de bifenilos policlorados (PCB) en aplicaciones cerradas en Guatemala: el poco conocimiento del tema en el medio que lo maneja, es decir los trabajadores del sector asociado a la generación y mantención de equipos eléctricos, lo cual en algunos casos se traduce en desconocimiento total, acompañado siempre de una ausencia general de concientización en cuanto al manejo responsable de sustancias o desechos peligrosos.

En su mayoría, sin considerar el hecho de que los equipos estén o no en uso, o que contengan o no PCB, se han encontrado muchos de ellos con fugas y en malas condiciones de almacenamiento o ubicación dentro de las instalaciones en donde se utilizan.

Asimismo, cabe señalar que en el país, los equipos con PCB se han manejado indistintamente junto a los equipos sin PCB, extendiendo así la posibilidad de encontrar estas sustancias en equipos que inicialmente no fueron fabricados con ella, pero que en algún procedimiento de mantenimiento, por ejemplo, estuvieron en contacto con medios contaminados, dando lugar a una contaminación cruzada. Esto ha ampliado el universo de los equipos de interés, ya que no solamente se deben identificar los transformadores y capacitores fabricados con PCB, sino también todos aquellos a los que se les ha hecho al menos un mantenimiento y por ende han corrido el riesgo de contaminarse. Por lo tanto, obtener el inventario definitivo de equipos con PCB en el país, tomará tiempo contado en décadas durante las cuales se identifiquen y analicen todos aquellos equipos de distribución o de potencia que tengan probabilidad de haber sido contaminados con la sustancia, ya que a pesar que al inicio se creía que los equipos grandes (de potencia) eran prioritarios atendiendo a la cantidad volumétrica de aceite con PCB que podían contener, ahora se sabe que considerando el riesgo no solo por cantidad de volumen, sino considerando además el riesgo por la concentración, ubicación, dispersión de los equipos, condiciones y estado actual y futuro, etc. se necesita incluir los transformadores de distribución colocados en la red eléctrica nacional y que no pueden ser revisados y analizados sino solo al momento de bajarse de la red por fallas o mantenimiento.

En cuanto a la gestión institucional de los PCB, si bien se identifican varias instituciones involucradas en el control de su manejo, existe un vacío legal que limita estas acciones, *puesto que no existe una regulación específica para el manejo de sustancias o desechos peligrosos y menos para el caso específico de los PCB.*

Cabe señalar que esta problemática se hace compleja en la medida en que además se reconoce la existencia de un mercado de aceites y chatarra de transformadores, que no considera el manejo adecuado de PCB. En virtud de esto, se hace necesario implementar medidas de regulación que permitan el manejo ambientalmente racional de los PCB en el país, entendiéndose por esto, el control desde la utilización de estas sustancias en los equipos eléctricos, hasta generación de sus desechos, incluyendo su eliminación o disposición. Esto a su vez implica que para poder garantizar el adecuado manejo de estas sustancias, se debe iniciar un proceso de organización participativo en el que se incluya a diversos actores, tales como los dueños de los equipos y materiales que contienen PCB y las empresas que les prestan el servicio de mantenimiento, así como a aquellas empresas o personas que compran aceite y chatarra de transformador, que a su vez venden para que sea re-usado con distintos fines.

De acuerdo con la información proporcionada por las empresas del sector eléctrico y algunos propietarios individuales, se ha detectado que prácticamente no existen bodegas con chatarra de equipos eléctricos, debido a que hay empresas pequeñas que se dedican a la compra tanto de la chatarra metálica como del aceite de los transformadores, lo cual hasta ahora es considerado por los propietarios como una buena alternativa para limpiar bodegas y deshacerse de los equipos que ya no tienen utilidad, sin embargo, con ello se está incrementando la dispersión y el descontrol de los equipos contaminados con PCB. Esta dinámica de compra-venta no considera el riesgo de manejo de equipos que potencialmente contengan PCB y necesitándose de medios ya sea coercitivos o de incentivos, para poder re-orientar este punto de vista considerando la protección y el mejoramiento de la salud ambiental, mediante un control real de la chatarra y aceites contaminados.

Finalmente, la problemática incluye la contaminación de sitios donde han sido enterrados equipos o contenedores con PCB, alternativa utilizada en el pasado por algunos dueños de equipos que, advertidos de la peligrosidad de la sustancia que contenían los transformadores y buscando proteger su salud, decidieron enterrarlos en vez de destruirlos de otra manera.

A pesar de la intención de este tipo de medidas, no se documentó ninguno de los casos, ni se establecieron mecanismos de control, de manera que actualmente no se conocen registros históricos que los identifiquen y localicen con exactitud. Es por esto que queda pendiente la tarea de localizar estos sitios e implementar las acciones adecuadas para que sean tratados.

Como resultado del inventario nacional, se constató la existencia de transformadores con PCB a lo largo y ancho del país, tanto en las empresas del sector eléctrico como en poder de dueños o usuarios individuales.

Sin embargo, cabe señalar que en ningún caso se reportó la existencia de un plan para su manejo adecuado, a pesar de haber identificado casos altamente críticos en términos de riesgo a la salud y al medio ambiente.

### **1.3.2 Descripción breve del contexto legal nacional, regional e internacional en el manejo de PCB en Guatemala**

A la fecha no se ha desarrollado ninguna regulación para el manejo de sustancias o residuos peligrosos en Guatemala, por lo que en ausencia de reglamentación nacional, los procesos se auxilian de lo establecido en las convenciones internacionales relacionadas con el tema.

Guatemala suscribió el Convenio de Basilea sobre el Control de los Movimientos Transfronterizos de Desechos Peligrosos y su disposición final, el 22 de Marzo de 1989, ratificándolo el 14 de Febrero de 1995 a través del Decreto No. 3-95 del Organismo Legislativo. Adicionalmente, firmó el Acuerdo Regional para Centro América enmarcado en la Convención de Basilea en 1998. En consecuencia, el país ha adoptado lo establecido en el Convenio de Basilea, en cuanto a la gestión de desechos peligrosos, incluyendo las definiciones y clasificaciones, en virtud de lo cual los PCB deben ser considerados sustancias y/o desechos peligrosos en todo el territorio nacional, aun y cuando no exista una regulación específica sobre el tema.

Siempre en el contexto internacional, el Convenio de Estocolmo fue firmado por Guatemala el 29 de Enero del 2002, estando pendiente aún la ratificación del mismo. El Convenio de Róterdam, al igual que el de Estocolmo, a la fecha está firmado pero no ratificado.

En el ámbito nacional, la Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente (Decreto Legislativo No. 68-86) en congruencia con la Constitución Política de la República, establece que el Estado, las Municipalidades y los habitantes del territorio nacional, propiciarán el desarrollo social, económico, científico y tecnológico, que prevenga la contaminación del medio ambiente y mantenga el equilibrio ecológico. En relación a sustancias y/o desechos peligrosos, la misma ley en su Artículo 7, dice entre otras cosas que los desechos tóxicos provenientes de procesos industriales, que contengan sustancias peligrosas pueden infectar, contaminar y/o degradar el medio ambiente y poner en peligro la vida y la salud de los habitantes, incluyendo mezclas o combinaciones químicas, restos de metales pesados, residuos de materiales radiactivos, ácidos y alcalinos no determinados, bacterias, virus, huevos, larvas, esporas y hongos zoo y fitopatógenos.

Esta ley debe ser instrumentalizada a través del dictamen de regulaciones específicas según se desarrollen en temas específicos, incluyendo las sustancias peligrosas y más específicamente los bifenilos policlorados (PCB). Sin embargo, se ha podido verificar que a la fecha actual, no existe ninguna disposición taxativa para estas sustancias (sustancias peligrosas), a pesar de que, con este marco de observancia general, se cuenta con las bases jurídicas para poder controlar las acciones concernientes a las sustancias químicas en Guatemala. No obstante que a pesar de las debilidades señaladas, existe una gran oportunidad para regular el manejo de los PCB, lo que cada vez se hace más necesario y urgente. Debido a esto se sabe que es necesario tener claro los siguientes objetivos:

- Identificar y planificar las principales acciones que deben ser implementadas en Guatemala para dar un manejo ambientalmente racional a las existencias de bifenilos policlorados identificadas en el país, aplicando lo establecido en los Convenios de Basilea, Estocolmo y Róterdam.
- Establecer criterios para identificar situaciones y casos que deben ser priorizados para implementar acciones que corrijan o prevengan deterioro de la salud humana/ambiental debido a un inadecuado manejo de bifenilos policlorados.
- Identificar las necesidades y promover los mecanismos de coordinación que permitan desarrollar la capacidad nacional para el manejo ambientalmente racional de los PCB, fortaleciendo la implementación de los Convenios de Estocolmo, Basilea y Róterdam en Guatemala.

- Identificar y planificar las acciones para establecer un sistema permanente de recolección, recepción y procesamiento de información sobre existencias de PCB en Guatemala por medio del cual se complete el Inventario Nacional de PCB en el país.
- Identificar y planificar las acciones necesarias para superar el vacío legal existente sobre el manejo ambientalmente racional de PCB en el país.
- Identificar actores, tiempos, requerimientos y procedimientos para implementar las acciones necesarias por medio de las cuales se logre una gestión ambientalmente racional de PCB que contemple todas las etapas de manejo: etiquetado, transporte, almacenamiento, descontaminación, eliminación y disposición final.
- Identificar y planificar las acciones necesarias para establecer mecanismos de asesoría, capacitación y concientización sobre el manejo ambientalmente racional de PCB en Guatemala, de acuerdo a una diferenciación de niveles de responsabilidad y participación en el manejo de estas sustancias.

### **1.3.3 Resumen de los usos, almacenamiento, desechos y sitios contaminados con PCB**

A continuación se detallan de forma resumida los usos, almacenamiento, desechos y sitios contaminados con PCB en Guatemala.

### 1.3.4 Usos

A través del Inventario fue posible determinar el uso actual de equipos no sólo fabricados con PCB sino también contaminados con esta sustancia.

Los equipos fabricados con PCB, generalmente de potencia, están funcionando desde hace más de 25 años, generalmente en instalaciones cerradas y manteniendo actualmente un buen funcionamiento, de manera que sus propietarios consideran que el cambio se hará en los próximos 5 años como una medida preventiva ante cualquier mal funcionamiento futuro. Los equipos contaminados o con resultado de análisis como No PCB incluyen transformadores de potencia y distribución.

Figura 15. Transformador con derrames en la válvula de muestreo.



Fuente: Proyecto PCB Guatemala.

También se encontró PCB en bobinas de repuesto para un transformador de potencia, así como en capacitores antiguos. Sin embargo, en este último caso, solamente se identificaron los condensadores que tenían indicación en su placa.

Fig. 16. Transformador con fugas.



Fuente: Proyecto PCB Guatemala.

Se encontraron contenedores sellados con dieléctrico PCB, comprados y almacenados para darles mantenimiento a los equipos eléctricos. Sin embargo, a la fecha no se habían utilizado.

### **1.3.5 Almacenamiento**

En ninguno de los casos identificados, se poseen sitios de almacenamiento específicos para equipos con PCB, lo cual no es extraño, dado que se desconocía la existencia de los mismos. En los lugares en donde se han encontrado áreas de almacenamiento de transformadores u otros equipos que pudieran tener PCB, no se hace distinción o separación considerando dicho aspecto.

En las empresas del sector donde existen equipos en desuso, los sitios de almacenamiento se localizan en las mismas instalaciones institucionales, las cuales están distribuidas alrededor de la república.

Sin embargo, las bodegas donde se almacenan estos equipos no están acondicionadas para contener derrames, evitar fugas, permitir ventilación adecuada, etc., y mucho menos cuentan con la identificación respectiva.

El caso más crítico es el de las Empresas Eléctricas Municipales, donde los sitios de almacenamiento se localizan en predios contiguos a lugares públicos, incluyendo escuelas y en algunos casos ocupando el parque público de la localidad.

Es más, dado que no se tiene una práctica adecuada para almacenamiento ni tampoco conciencia del peligro que representan los equipos que pueden contener PCB, existen transformadores derramados, enterrados entre la vegetación de los lugares, a la intemperie recibiendo la lluvia, etc., representando un inmenso riesgo ambiental y sanitario para las comunidades.

Figura 17. Bodega de una Empresa Eléctrica Municipal.



Fuente: Proyecto PCB Guatemala.

En el caso de los usuarios individuales, no existen áreas de almacenamiento, ni temporal, ni definitivo para los equipos.

El único espacio que se dispone es aquel donde se ubican los equipos ya instalados y cuando estos se sustituyen, prácticamente no queda espacio donde disponer otros.

Para el usuario individual el equipo en desuso representa un estorbo, no obstante que para otros estos equipos todavía tienen un valor comercial (aun al venderse como chatarra).

Esta situación ha generado que los equipos sustituidos muchas veces hayan sido removidos por las empresas vendedoras del nuevo equipo, o por las empresas de mantenimiento, o por cualquier otra que ofrezca retirar el equipo del sitio de instalación, dándose como resultado que en la mayoría de los casos, estos equipos hayan sido dispuestos de cualquier manera en cualquier sitio, sin documentar el hecho y sin ningún registro.

Figura 18. Transformadores en el corredor de una Municipalidad.



Fuente: Proyecto PCB Guatemala.

### 1.3.6 Desechos

Se encontraron varias carcasas de transformadores que en su momento contenían PCB, lo cual se consideró como desecho peligroso (contaminado con PCB).

Figura 19. Cementerio de Transformadores.



Fuente: Proyecto PCB Guatemala.

### 1.3.7 Sitios contaminados

Durante el Marco de Inventario Nacional de equipos que contengan PCB en Guatemala se determinó que alrededor de un 80 % de los equipos (166) identificados con PCB tienen fugas. Algunos casos más graves que otros, pero siempre provocando algún grado de exposición dado el entorno humano.

Dentro de los casos más graves están las Empresas Eléctricas Municipales, en donde los sitios de almacenamiento de los equipos en desuso son predios sin ningún tipo de acondicionamiento para este fin, y en muchos casos, los transformadores están destapados y derramados en el suelo.

De igual forma se identificaron algunos casos en el sector privado, donde existen áreas de suelo donde se ha derramado el aceite de transformadores con fugas, así como drenajes pluviales cercanos a las válvulas de fondo de los equipos o de los puntos con fuga de los equipos, y que directamente reciben el aceite dieléctrico y en consecuencia es arrastrado por el agua de lluvia.

Figura 20. Transformadores con derrames.



Fuente: Proyecto PCB Guatemala.

### **1.3.8 Situación ambiental sanitaria relacionada con PCB**

#### **1.3.8.1 Análisis de la situación en salud y ambiente del país**

En Guatemala, la institución rectora y encargada de velar por la protección del ambiente es el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales – MARN-. Actualmente, existen pocas regulaciones relacionadas con los residuos peligrosos, entre las que cabe mencionar los reglamentos para el manejo de desechos sólidos hospitalarios y desechos radioactivos.

Debido a factores como el crecimiento acelerado de la población y la falta de un ordenamiento territorial, más del 20% de la población total del país se encuentra sin cubrir y satisfacer sus necesidades sanitarias básicas, lo cual no indica que el 80% restante tenga acceso a servicios de calidad que lo coloquen en una posición altamente ventajosa.

Para el caso específico de los PCB, no se cuenta con una ley que regule el uso y disposición final de los mismos. Por lo tanto, las Empresas que brindan el servicio de mantenimiento a los poseedores de equipo tratan indistintamente el equipo con PCB y el equipo sin PCB, por tal motivo se ha dado la contaminación cruzada, es decir, equipo que originalmente no ha sido fabricado con PCB, se contamina ya que éstas Empresas no tienen ningún control y limpieza entre mantenimientos.

Además algunas de estas Empresas también optan por reciclar el aceite que recuperan utilizándolo para nivelar otros equipos que han sufrido pérdida del mismo, ya sea por fugas o fallas de funcionamiento.

Se ha observado como práctica común que las personas a cargo de estas actividades o de los equipos mismos, no consideran ningún tipo de protección personal ni barreras que eviten la contaminación del suelo o el agua, por lo que de manera generalizada existe un cierto grado de exposición a los PCB, que afortunadamente no hace crisis debido a que los equipos que los contienen operan solos y por lo tanto no se manipulan con frecuencia.

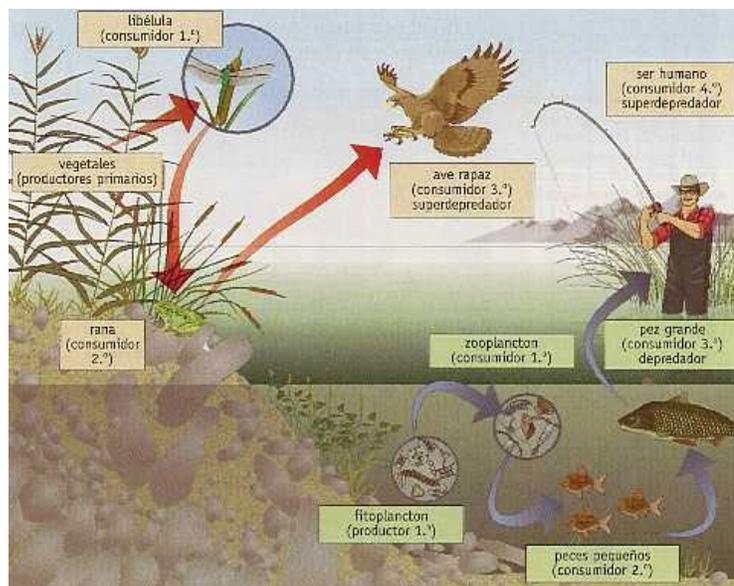
De igual forma sucede con las personas que se dedican a recolectar la chatarra. Se sabe que, hasta hoy, en algunos casos se mantiene la práctica de incinerar a temperaturas inadecuadas los equipos con PCB, con el fin de obtener únicamente la chatarra para posteriormente reciclarla.

Sin embargo, este tipo de práctica es altamente contaminante ya que según la literatura internacional genera Dioxinas y Furanos, los cuales son subproductos formados de la mala o inadecuada combustión de los PCB.

Los suelos y el agua tanto superficial como subterránea, también han sido contaminados principalmente por medio de derrames del aceite dieléctrico, ya sea este de forma intencional o no, o por medio de la inadecuada disposición del mismo. También se tiene conocimiento que una práctica común en el pasado, era enterrar los transformadores, provocando así una contaminación severa del suelo y de las aguas profundas por filtración, pero de lo que no existe registros dificultando así el control.

Este análisis debe ser objeto de investigación específica, ya que si existe evidencia de contaminación del suelo, del agua y de la atmósfera debida al inadecuado manejo de PCB en el país, pero lamentablemente no se tiene documentado nada respecto de lo cual se pueda concluir certeramente.

Figura 21. Contaminación de un ecosistema.



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

### 1.3.8.2 Seguridad en ambientes laborales y medidas de protección de los trabajadores

Debido a que en Guatemala no existe regulación específica sobre los desechos peligrosos, y menos específicamente para los PCB, con dificultad existirán en las empresas los equipos necesarios para proteger a los trabajadores que se encuentran en contacto con dicha sustancia.

Figura 22. Trabajadores destapando un transformador de distribución.



Fuente: Proyecto PCB Guatemala.

Sin embargo, como seguimiento a la fase de Inventario, el MARN está preparando los informes individuales de las inspecciones realizadas, identificando la necesidad de lineamientos técnicos para el manejo de los equipos o sitios contaminados con PCB que se hayan encontrado. Esto es entregado a los propietarios de los equipos a manera de asesoría e iniciando la señalización de control pertinentes.

Esto incluye los aspectos sobre la señalización en los ambientes laborales y de las medidas de protección que se deben tomar al momento de manipular el equipo, tales como:

- Tratamiento de fugas
- Almacenamiento adecuado de equipos y desechos
- Transporte adecuado de equipos y desechos
- Equipos de señalización
- Planes y equipos de respuesta a emergencias y limpieza de derrames
- Señalización del área de trabajo y almacenamiento

Figura 23. Trabajadores tomando muestras de aceite sin ninguna protección.



Fuente: Proyecto PCB Guatemala.

### **1.3.9 Opciones de gestión nacional**

A continuación se detalla todo lo referente a la gestión sobre Bifenilos Policlorados, es decir a las capacidades existentes en el país sobre identificación, etiquetado, remoción, almacenamiento y eliminación de PCB.

### **1.3.9.1 Medidas jurídicas y administrativas, dirigidas al control del uso, identificación, etiquetado, remoción, almacenamiento y eliminación de PCB y productos o equipos que contienen PCB**

Las medidas jurídicas y administrativas dirigidas específicamente al tema de los PCB como tal no existen. Sin embargo, desde el punto de vista que Guatemala es parte del Convenio de Basilea y signatario de el Convenio de Estocolmo (en trámite su adhesión), estos Convenios automáticamente se convierten en Leyes de observancia general, por lo que las disposiciones técnicas y jurídicas que en ellos se enmarcan sobre uso, manejo y eliminación de los PCB, deben ser cumplidos.

Se ha mencionado anteriormente que no existe una normativa específica en cuanto a esta sustancia, aunque sí existe una normativa que la contempla, la cual fue emitida por la Comisión Nacional de Energía Eléctrica el 31 de mayo de 2000.

Esta norma se denomina: NORMA DE TRANSFORMADORES MONOFASICOS SUMERGIDOS EN ACEITE PARA DISTRIBUCION EN BAJA TENSION: CONVENCIONALES Y AUTOPROTEGIDOS (Resolución 31-2000), la cual fue impulsada por Empresa Eléctrica de Guatemala, a quien se le atribuye su contenido, revisión periódica y aplicación. Indica en relación a los PCB lo siguiente:

#### *“4.1 Definiciones*

*BPC (PBC): siglas de Bifenilos Policlorados que son compuestos organoclorados de fórmula condensada  $C_{12}H_{10-n}Cl_n$  donde  $n=1, 2, 3, \dots, 10$ . En inglés se conocen como PCB (Polychlorinated Biphenyls).*

## 5.2 Clases

5.2.3 *Clase de aceite dieléctrico: Aceite mineral con inhibidor sintético de oxidación con menos de dos partes por millón (2 ppm) de Bifenilos Policlorados.*

## 7.3 Aceite

7.3.1 *El aceite del transformador deberá cumplir con los requisitos que se dan en la siguiente tabla IV.*

*Tabla IV. Características límites del aceite dieléctrico\*/*

<b>Propiedad</b>	<b>Magnitud o calidad</b>
<i>Tensión de ruptura del dieléctrico</i>	<i>30kV mínimo</i>
<i>Condición visual</i>	<i>Claro (valor 0.5)</i>
<i>Contenido de agua</i>	<i>15 ppm máximo</i>
<i>Contenido de BPC (PCB) **/</i>	<i>Menos de 2 ppm</i>
<i>Factor de potencia a 100 °C</i>	<i>1.0% máximo</i>

*\*/ Datos tomados de la norma C57-106-1977*

*\*\*/ Tomado de IIE, Sept./Oct. 1997"*

### **1.3.9.2 Infraestructura técnica y tecnologías existentes para la eliminación, transporte, almacenamiento, exportación, etc**

En el país no se cuenta con infraestructura técnica aceptada para el manejo ambientalmente racional de los PCB, de acuerdo con las disposiciones y lineamientos de la Secretaría del Convenio de Basilea.

Podría existir capacidad de análisis en laboratorio en el Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social, específicamente en el laboratorio nacional de salud, ya que cuentan con el equipo técnico necesario.

Para el caso del almacenamiento, transporte y eliminación de equipos o sitios contaminados con PCB no se cuenta con regulación que sancione estas etapas del manejo y tampoco alternativas disponibles para realizarlas de acuerdo a lo establecido en el convenio de Basilea.

En cuanto a la descontaminación de equipos, algunas empresas de mantenimiento ofrecen este servicio durante el mantenimiento o cambio de aceite de los transformadores. Sin embargo, no se ha estudiado el grado de efectividad de esta práctica en equipos fabricados o contaminados con PCB.

Hasta ahora en el país, se cuenta con la experiencia de la empresa cementera que utiliza materiales de desecho como combustibles alternativos, tal es el caso de aceite lubricante usado, llantas y plástico. Sin embargo, nada se ha trabajado sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes, en cuyo caso, de existir la iniciativa, se deberá considerar la complejidad de las operaciones para que se realicen los estudios y evaluaciones preventivas pertinentes.

### **1.3.9.3 Medidas voluntarias desarrolladas por el(los) sector(es) industrial(es) o por grupos de industrias**

Conforme se ha establecido contacto con diferentes poseedores de equipos eléctricos, algunos de ellos han ido estableciendo sus propias medidas de control y manejo de PCB. Tal es el caso del establecimiento de restricciones en las especificaciones de los transformadores para el contenido de PCB. Asimismo, otras medidas tomadas en cuanto a aquellos equipos de los cuales se conoce contienen PCB y entonces que sean reemplazados una vez que estos fallen y no efectuar acciones de mantenimiento a los mismos.

Además, existen otras medidas en cuanto a la prohibición interna de la venta de los transformadores a compradores de chatarra, con el fin de no diseminar los aceites y evitar la contaminación ambiental.

Otra de las medidas que se han tomado en algunas Empresas es el establecimiento de sitios de almacenamiento temporal, tratando de acondicionarlos con una serie de requerimientos técnicos (piso, protección, drenaje, seguridad, etc) a fin de evitar la posible contaminación al ambiente. Además cabe mencionar, los cambios en los Manuales de Procedimientos en cuanto al manejo de equipos y las medidas de protección personal para los trabajadores.

#### **1.3.9.4 Medidas para combatir el comercio ilegal**

Se debe coordinar con la Superintendencia de Administración Tributaria –SAT-, por medio de la capacitación de los agentes aduaneros, un Procedimiento o Mecanismo para la correcta identificación y control de PCB, especialmente en forma de chatarra para reciclaje.

Asimismo, es necesario controlar el comercio de la chatarra y de aceite de transformadores que existe internamente, ya que esto contribuye a expandir la contaminación y pone en riesgo la salud ambiental. Se considera que este tema debe ser objeto de una investigación que permita establecer cuales son los usos que se le dan al aceite con el objetivo de controlar estas prácticas y prevenir daños.

### **1.3.9.5 Necesidades de asistencia técnica y tecnológica regional e internacional**

Se identifican las siguientes necesidades de asistencia técnica y tecnológica:

- Manejo ambientalmente racional de los equipos, aceites y sitios contaminados con PCB
- Descontaminación de sitios y equipos contaminados con PCB
- Destrucción de pequeñas cantidades de residuos contaminados con PCB
- Análisis fisicoquímico y caracterización de niveles de concentración de PCB
  - Implementación de Laboratorio específico de PCB en el Ministerio de Salud Pública y Asistencia social
- Elaboración y presentación de propuestas de proyectos de seguimiento
  - El Centro Guatemalteco de Producción más Limpia, se encuentra actualmente realizando talleres de concientización y capacitación sobre el manejo de PCB en el país

### **1.3.10 Definición de las prioridades de acción**

A continuación se presentan los criterios sugeridos para la priorización de las situaciones y actuaciones que se encaminen a implementar el manejo ambientalmente racional de los equipos identificados con PCB:

Tabla V. Prioridades de acción

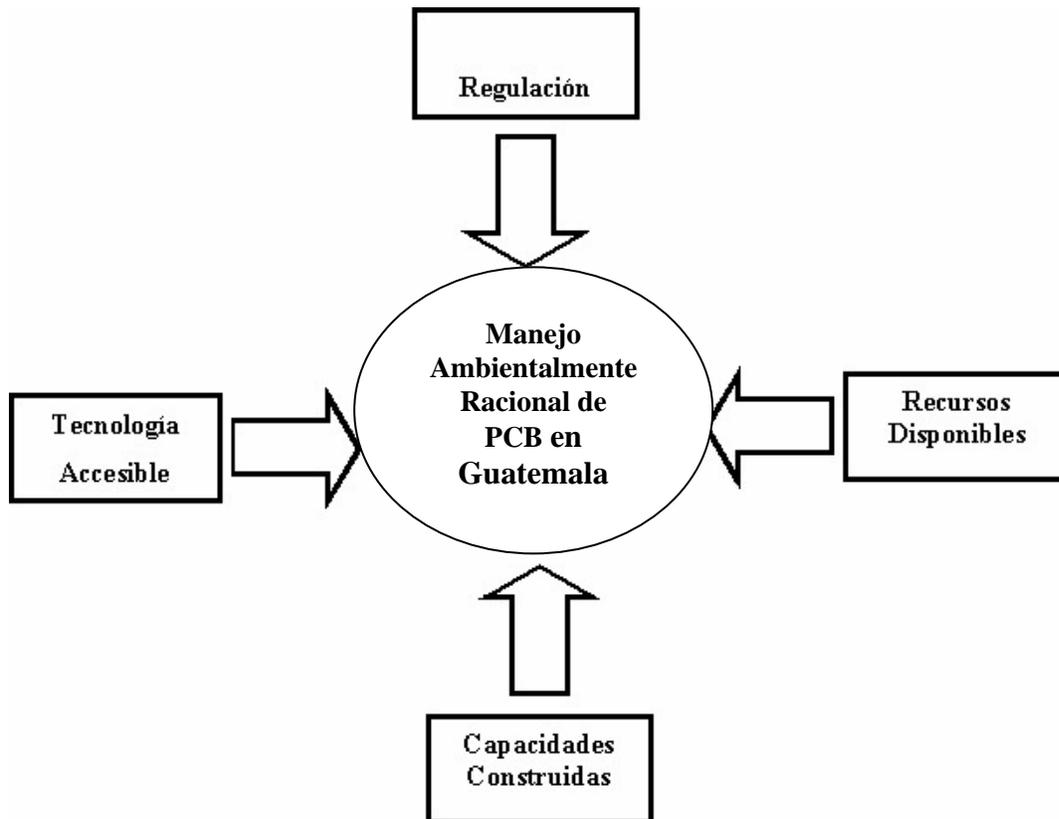
<b>Criterio</b>	<b>Consideración</b>	<b>Ponderación de Priorización</b>
Riesgo a la salud ambiental respecto a la localización del equipo, desecho o sitio contaminado (1-10)	Cercanía a conglomerados de poblaciones vulnerables (niños, ancianos, enfermos y mujeres embarazadas)	10
	Cercanía a fuentes de agua y recursos hídricos en general	10
	Localización en ambientes cerrados y controlados	2
	Localización en ambientes cerrados sin control	6
	Localización en ambientes abiertos controlados	4
	Localización en ambientes abiertos sin control	8
Riesgo a la salud ambiental respecto al estado del equipo, desecho o sitio contaminado (1-10)	En uso con fugas	8
	En uso sin fugas	2
	Sin uso con fugas	10
	Sin uso sin fugas	4
	PCB puro	10
	Contaminado con PCB	8
	Antiguo (> 30 años)	10
	Edad intermedia (15> pero < 30 años)	8
Reciente (<15 años)	6	
Riesgo a la salud ambiental respecto a la capacidad de intervención inmediata por parte del poseedor del equipo, desecho o sitio contaminado (1-10)	En instituciones con posibilidad inmediata de asignación presupuestaria	4
	En instituciones sin posibilidad inmediata de asignación presupuestaria	10
Costo de la gestión requerida(1-10)	Eliminación y Reposición	8

Fuente: Plan Nacional de Acción.

### 1.3.11 Estrategia nacional de acción

En esta sección se desarrollan las actividades consideradas necesarias e importantes a realizar, respecto de líneas de acción definidas, a corto, mediano y largo plazo, en base a las necesidades identificadas durante la realización del inventario preliminar de PCB en Guatemala. Para ello, se toma como referencia el ciclo de manejo integral de las sustancias peligrosas: identificación, transporte, almacenamiento, tratamiento y/o eliminación, incluyendo la descontaminación de sitios y equipos contaminados, y se definen cuatro líneas de acción prioritarias de la siguiente manera:

Figura 24. Ciclo de Manejo Integral de Sustancias Peligrosas.



.Fuente: Plan Nacional de Acción.

Tabla VI. Planificación de actividades a corto, mediano y largo plazo.

LÍNEA DE TRABAJO	META	ACTIVIDADES	ACTORES	TIEMPO
1. Regulación	1.1 Contar con una regulatoria clara, viable y adecuada a las necesidades del país para el manejo ambientalmente racional de PCB	1.1 Elaborar y/o revisar y entregar para su aprobación una propuesta de regulación para el manejo ambientalmente racional de PCB en Guatemala, estableciendo los lineamientos técnicos y legales para cada una de las etapas del ciclo de vida de los aceites dieléctricos, equipos y desechos que los contengan	MARN CNC	8 meses
		1.2 Consensuar y adaptar la propuesta de regulación	MARN CNC	10 meses
		1.3 Planificar y ejecutar un programa de divulgación de la propuesta regulatoria y capacitación para su implementación	CNC	24 meses
		1.4 Elaborar, revisar e implementar los instrumentos necesarios para la operativización de la regulación	MARN CNC	30 meses

<p>2. Ciclo de vida de los PCB: 2.1 Identificación</p>	<p>2.1.1 Identificar el 90% de los equipos, aceites, desechos y sitios contaminados con PCB en Guatemala</p> <p>2.1.2 Etiquetar el 100% de los equipos, aceites, desechos y sitios contaminados con PCB identificados en Guatemala</p>	<p>2.1.1 Establecer la obligatoriedad de identificación y declaración de posesión de equipos, aceites o sitios contaminados con PCB, estableciendo un mecanismo de declaración física y electrónica y la integración de este requisito en la presentación de cualquier instrumento de evaluación ambiental al MARN</p>	<p>MARN CNC</p>	<p>4 meses</p>
		<p>2.1.2 Implantar la base de datos del Inventario Nacional de PCB en el Sistema de Información Ambiental del MARN, estableciendo un mecanismo de actualización semestral</p>	<p>MARN CNC</p>	<p>1 mes</p>
		<p>2.1.3 Establecer, implementar y controlar el cumplimiento de la obligatoriedad de realizar análisis para determinación de Cloro (Clor-n-Oil) como primer indicador de presencia de PCB, antes de cualquier practica de mantenimiento o intervención de transformadores o condensadores en donde se manipule el aceite dieléctrico que contengan</p>	<p>MARN CNC Empresas de Mantenimiento Poseedores</p>	<p>4 meses</p>

		2.1.4 Fortalecer la capacidad desarrollada en el MARN y el CNC en el análisis e identificación de equipos, aceites, desechos y sitios contaminados con PCB, estableciendo un mecanismo autofinanciable específico para: realizar análisis que verifique o complemente la identificación así como para etiquetar equipos, aceites, desechos o sitios contaminados	MARN CNC Poseedores	8 meses
		2.1.5 Promover y apoyar el desarrollo de capacidad instalada para análisis de PCB en el país	MARN CNC Poseedores Otros interesados	Permanente e indefinido
		2.1.6 Realizar una investigación para determinar uso de la chatarra, aceites dieléctricos, desechos y otros contaminados o no con PCB por parte de quienes lo recolectan y comercializan en el país	MARN CNC	12 meses

<p>2. Ciclo de vida de los PCB: 2.2 Almacenamiento</p>	<p>2.2.1 Tener el 100% de equipos, desechos y aceites contaminados con PCB en desuso almacenado en condiciones ambientalmente racionales</p>	<p>2.2.1 Definir la localización y el diseño de los sitios para el almacenamiento ambientalmente racional de PCB, bajo las siguientes condiciones: <b>INDE:</b> un almacenamiento o varios para concentrar sus propias existencias, de acuerdo a su necesidad y conveniencia <b>UNION FENOSA:</b> un almacenamiento o varios (Centro de Manejo de Residuos), para sus propias existencias, localizados según su necesidad y conveniencia <b>EEGSA:</b> pendiente porque aparentemente no tiene nada que almacenar <b>EEM:</b> un sitio en cada empresa dentro de instalaciones propias reacondicionadas <b>Usuarios Individuales:</b> un sitio por cada usuario dentro de su propiedad</p>	<p>MARN CNC Poseedores</p>	<p>14 meses</p>
		<p>2.2.2 Apoyar y controlar la construcción y operación de los sitios de almacenamiento definidos</p>	<p>MARN CNC Poseedores</p>	<p>Permanente e indefinido</p>

2. Ciclo de vida de los PCB: 2.3 Transporte	2.3.1 Transportar de forma ambientalmente racional el 100% los equipos, desechos y aceites contaminados con PCB identificados, hacia los sitios de almacenamiento definidos	2.3.1 Realizar una evaluación sobre la capacidad nacional para el transporte ambientalmente racional de PCB	MARN CNC Sector Privado Otros interesados	5 meses
		2.3.2 Establecer un registro de empresas prestadoras de servicio de transporte con capacidad de transportar PCB	MARN	7 meses
		2.3.2 Promover el desarrollo de capacidad instalada y especializada para el transporte de PCB en el país	MARN CNC	Permanente e indefinido
		2.3.4 Establecer, implementar y vigilar mecanismos de control para el transporte ambientalmente racional de PCB	MARN CNC	Permanente e indefinido

<p>2. Ciclo de vida de los PCB: 2.4 Eliminación</p>	<p>2.4.1 Eliminar de forma ambientalmente racional el 100% de los equipos, desechos y aceites contaminados con PCB identificados</p>	<p>2.4.1 Realizar una evaluación sobre la capacidad nacional e internacional disponible y accesible para la eliminación ambientalmente racional de los PCB identificados</p>	<p>MARN</p>	<p>5 meses</p>
		<p>2.4.2 Establecer, institucionalizar e implementar los procedimientos nacionales e internacionales para la eliminación ambientalmente racional de los PCB identificados</p>	<p>MARN CNC</p>	<p>12 meses</p>
		<p>2.4.3 Elaborar una planificación para la eliminación de los PCB identificados</p>	<p>MARN CNC Poseedores</p>	<p>5 meses</p>
		<p>2.4.4 Gestionar recursos económicos para apoyar la eliminación ambientalmente racional de los PCB identificados</p>	<p>MARN CNC</p>	<p>Permanente e indefinido</p>
		<p>2.4.5 Ejecutar y controlar la eliminación planificada</p>	<p>MARN CNC Poseedores</p>	<p>Permanente e indefinido</p>

2. Ciclo de vida de los PCB: 2.5 Descontaminación de sitios contaminados	2.5.1 Realizar la descontaminación (total o parcial dependiendo del caso) del 100% de los sitios contaminados con PCB identificados	2.5.1 Realizar una evaluación sobre la capacidad nacional para la descontaminación ambiental racional de PCB	MARN	5 meses
		2.5.2 Identificar, geoposicionar y dimensionar los sitios contaminados que deben ser atendidos	MARN CNC Poseedores	36 meses
		2.5.3 Elaborar una planificación para la descontaminación de los sitios contaminados con PCB identificados	MARN CNC Poseedores	6 meses
		2.5.4 Gestionar recursos económicos para apoyar la descontaminación ambiental racional de sitios contaminados con PCB	MARN CNC	Permanente e indefinido
		2.5.5 Ejecutar y controlar la descontaminación de sitios planificada	MARN CNC Poseedores	Permanente e indefinido

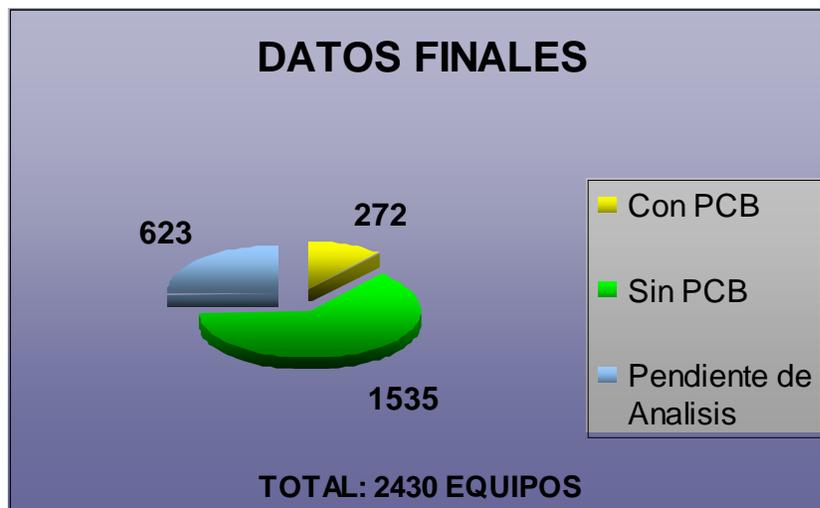
3. Construcción de capacidades nacionales	3.1 Que el país cuente con instituciones fortalecidas, coordinadas y con recursos humanos capacitados en el manejo ambientalmente racional de PCB	3.1 Crear, instrumentalizar y operativizar un Comité Nacional de Coordinación (CNC) para el Manejo Ambientalmente Racional de PCB en Guatemala a partir del Comité de Coordinación del Proyecto de Inventario de PCB	MARN CNC Gabinete Ambiental de Guatemala	6 meses
		3.2 Diseñar, elaborar, planificar, instrumentalizar, poner en marcha y controlar un(unos) programa(s) de capacitación y concienciación permanente y periódico sobre el manejo ambientalmente racional de PCB para los sectores público, privado, municipal y académico, de acuerdo a las necesidades identificadas	MARN CNC	60 meses
		3.3 Diseñar, ejecutar y controlar un programa de capacitación para personal de vigilancia para el cumplimiento de la legislación y otros instrumentos sobre el manejo ambientalmente racional de PCB	MARN CNC	72 meses
		3.4 Realizar una investigación de riesgo en salud por el manejo inadecuado de aceites dieléctricos con PCB	MARN CNC	24 meses

Fuente: Plan Nacional de Acción.

### 1.3.12 Resultados globales del inventario nacional

Los siguientes resultados se obtuvieron de las pruebas realizadas en los diferentes sectores del país. Estos resultados se han obtenido a través del kit Clor-N-Oil, el Analizador L2000DX y Cromatografía de Gases (GC) practicada al equipo. También se obtuvieron datos de las placas de características técnicas. Los equipos que quedan pendientes no se han podido analizar, ya sea porque se encuentran conectados a la red eléctrica o porque el lugar donde se encuentran es inaccesible:

Figura 25. Gráfica que muestra los resultados globales del Inventario.



Fuente: Proyecto PCB Guatemala.

De un total de 2430 equipos analizados, 272 están contaminados, 1535 no están contaminados, y los restantes 623 quedan pendientes de análisis. En porcentajes se pueden expresar los resultados finales así:

- Con PCB: 11%
- Sin PCB: 63%
- Pendientes de Análisis: 26%



## **2. LINEAMIENTOS TÉCNICOS NECESARIOS PARA SUSTENTAR TÉCNICAMENTE UNA REGULACIÓN NACIONAL**

### **2.1. Manipulación de equipos con PCB**

Dada las características de peligrosidad de los PCB, su manipulación entraña riesgos para la salud y la seguridad de las personas, por lo que durante la misma deben tomarse una serie de medidas de protección que involucran procedimientos de operación, condiciones de los locales de trabajo, medios de protección y otras en correspondencia con lo que se estipule por las autoridades correspondientes.

A continuación se relacionan una serie de lineamientos generales que deben tenerse en consideración a los efectos de proteger la salud de las personas encargadas de manipular los PCB. Estas medidas se refieren al caso de las operaciones normales con las sustancias y equipos conteniendo PCB, sin considerar las situaciones de emergencia.

#### **2.1.1. Medidas generales de precaución**

Durante la realización de operaciones de manipulación, tanto de PCB líquidos como de materiales o equipos que contienen o están contaminados con PCB, o equipos no analizados deben tomarse las precauciones siguientes:

- Asegurar una adecuada ventilación en el área de trabajo, a fin de garantizar que no existan elevados niveles de vapores o aerosoles de PCB en el aire. En general en un local dado, la ventilación se puede considerar adecuada en aquellos casos en que el aire se suministre a un nivel más alto que el nivel de extracción del mismo, para que se propicie una corriente descendente. Los vapores y aerosoles de PCB son ligeramente más pesados que el aire y por tanto una ventilación de este tipo permite un control más fácil.
  
- Cuando sea necesario emplear ventilación mecánica, debe asegurarse que el equipo disponga de un adecuado filtro de aire. Para evitar la contaminación ambiental es posible que se requiera un sistema de filtrado en dos etapas, como puede ser, por ejemplo un filtro electrostático para remover los aerosoles y un filtro de carbón activado para los vapores.
  
- En el caso de subestaciones cerradas deben emplearse ventiladores portátiles colocados a nivel del suelo.

### **2.1.2. Utilizar el equipo de protección personal (EPP)**

Según la OSHA<sup>3</sup>, se tienen 4 niveles distintos de protección (Nivel A, Nivel B, Nivel C, Nivel D) que se resumen al equipo mínimo de protección: overoles o batas, guantes, equipos de protección respiratoria, botas y protecciones oculares.

---

<sup>3</sup> OSHA: Occupation Safety & Health Administration

Debido a que una de las características fundamentales de los PCB es la absorción por la piel, se debe ser muy cuidadoso a la hora de seleccionar los materiales de que estén compuestos los medios de protección a emplear para la manipulación de los PCB ya que esta sustancia penetra a través de muchos materiales e incluso hay algunos como la goma que son particularmente permeables a los PCB, por lo que no pueden en ningún caso emplearse en los medios de protección. Una mejor protección a los PCB la ofrecen gomas fluorinadas resistentes a los productos químicos y materiales laminados.

No existen materiales totalmente inmunes a los PCB, por lo que es necesario analizar cada situación en particular. Los suministradores de equipos y medios de protección generalmente deben ser capaces de ofrecer información sobre la velocidad a la cual los PCB pueden penetrar los materiales empleados y a partir de ello se puede establecer la frecuencia y duración del contacto.

Es importante tener presente que las ropas y otros medios de protección empleados en la manipulación de los PCB, cuando se desechan, pasan a ser residuos contaminados y deben disponerse como tales.

Con respecto al **uso de equipos respiratorios de protección** se debe tener presente que los mismos deben emplearse siempre que se presente alguno de los casos siguientes:

- Cuando exista una mala ventilación
- Cuando se trabaje con los tipos de PCB más volátiles
- Cuando se realicen trabajos propensos a la formación de aerosoles
- Cuando la temperatura sea anormalmente alta

Asegurar una adecuada preparación del personal en lo relativo a los riesgos de contaminación que pueden sufrir durante la manipulación de los PCB, así como lo relativo al entrenamiento en el uso y manipulación adecuados de los medios de protección individual.

En las áreas de trabajo donde se manipulan PCB es necesario monitorear los niveles de solventes clorinados. En la práctica, tales solventes clorinados no serán los PCB en sí ya que estos son muy poco volátiles a temperatura ambiente, sino que se trata de otros solventes similares (hidrocarburos clorinados) que se utilizan frecuentemente en conjunto con los PCB y son los que le dan el olor característico.

Lo más adecuado es el mantener un monitoreo continuo con una alarma que accione a partir de un nivel de concentración límite establecido para la atmósfera de trabajo, aunque también pueden utilizarse dispositivos para la toma de muestras y análisis posterior en un laboratorio.

En el caso específico de las áreas de trabajo destinadas a la manipulación y desmantelamiento de equipos que contengan PCB es recomendable establecer determinadas medidas organizativas internas que faciliten la manipulación, como es el caso de definir separadamente “áreas limpias” y “áreas sucias” con una zona de cambio intermedia. Las áreas “sucias” serían destinadas al desmantelamiento de los equipos y las mismas deberán construirse de forma que tanto los pisos como las mesas de trabajo queden protegidos ante cualquier posible derrame y se evite su propagación. Igualmente, no deben tener sistemas de drenaje que conecten a las redes de alcantarillado. El acceso de personal a estas áreas deberá hacerse a través de la zona de cambio intermedia la cual es recomendable que disponga a su vez de un lado limpio y otro sucio separado.

### **2.1.3. Preparación y respuesta ante emergencias**

En cualquiera de las etapas del ciclo de vida de los PCB que han sido consideradas en el presente documento existe la posibilidad de que ocurran accidentes o situaciones de emergencia de diversa índole que traigan consigo peligros para las personas o el medio ambiente en general.

Esta posibilidad latente hace necesario que se establezcan y tomen un conjunto de medidas que aseguren una adecuada respuesta ante situaciones de este tipo.

En general, se establece que una emergencia con PCB se considera como tal, cuando cualquier cantidad de este producto queda expuesto al ambiente en un momento dado.

Las medidas para la preparación y respuesta ante posibles situaciones de emergencia vinculadas con los PCB, al igual que en el caso de cualquier sustancia tóxica o peligrosa, son las siguientes:

- La identificación de situaciones y accidentes potenciales que puedan ocurrir y las medidas necesarias
- Las acciones de respuesta en caso de ocurrencia
- La preparación y el entrenamiento necesarios del personal vinculado

Las principales situaciones de emergencia que se pueden presentar con los PCB están vinculadas a:

- Fugas
- Derrames
- Explosión o Incendio de equipos

Las fugas se asocian fundamentalmente a los equipos que se encuentran en uso o a los que están almacenados manteniendo el PCB líquido en su interior, así como a los recipientes o bidones que contengan PCB líquido y se presentan cuando hay rupturas y deterioro de las superficies contenedoras. Los derrames se asocian fundamentalmente a las operaciones de manipulación, tanto de los PCB líquidos como de los equipos que lo contienen.

Las fugas se previenen fundamentalmente con el establecimiento de un buen sistema de chequeo y revisión de los equipos que se encuentran en uso, la extracción de los aceites de los equipos que son retirados previamente a su transportación, la utilización de recipientes adecuados para almacenar los PCB, el establecimiento y cumplimiento para el almacenamiento en condiciones adecuadas que eviten el deterioro o daño a los recipientes o contenedores de PCB líquidos, etc.

Los derrames se previenen fundamentalmente mediante el establecimiento y cumplimiento de disposiciones y procedimientos para manipular los PCB en forma segura y responsable.

Las consecuencias de la ocurrencia de fugas y derrames se pueden minimizar a partir de la introducción de soluciones constructivas, sistemas de contención y de drenajes y otras medidas en las áreas y locales en los cuales se ubican los PCB, así como en los vehículos destinados a la transportación de estas sustancias, que aseguren la retención de cualquier derrame, impidiendo que los mismos se incorporen al medio ambiente y especialmente a cualquier curso de agua o red de alcantarillado y mediante es establecimiento de medidas de protección del personal y disponibilidad de los medios requeridos de protección individual.

Los incendios por su parte pueden prevenirse, en primer lugar no sometiendo los equipos en uso a condiciones de operación riesgosas, manteniéndolos alejados de otros posibles focos de incendios y almacenando, tanto los PCB líquidos como los equipos que los contienen y otros desechos, siguiendo todas las disposiciones de prevención contra incendios.

En el caso de los incendios, se pueden producir fugas de PCB por deterioro de los envases y se generarán emisiones de gases como resultado de la combustión, los cuales pueden presentar altas concentraciones de dioxinas y furanos, producidos por la descomposición de los PCB. Esta última situación hace muy importante que, para minimizar los posibles efectos de un incendio, se garantice que en cualquier emergencia que involucre un evento de este tipo se pueda disponer de equipos respiratorios de protección para el personal involucrado en su extinción, así como que se tengan bien especificadas las disposiciones para ubicar a las personas en la dirección del viento y nunca en contra.

Igualmente debe establecerse la conveniencia de evitar, siempre que sea posible, el uso de agua para la extinción de un incendio cuando no existan muros o barreras que impidan la contención de los residuos o si su empleo es imprescindible, tratar de usarla racionalmente (el empleo de agua a alta presión puede esparcir aún más los PCB que se hayan derramado).

Una vez que haya ocurrido algún accidente con PCB, lo fundamental es actuar de la forma más rápida y efectiva posible a fin de minimizar las posibles afectaciones a las personas o al medio ambiente. Para lograr esto, es preciso que todo el personal que esté o pueda estar relacionado con la situación de emergencia esté debidamente entrenado sobre cómo actuar en cada caso y que se disponga de planes de emergencia para cada tipo de accidente, los cuales deberán contener, como mínimo, las siguientes especificaciones:

- Identificación de la persona que responde por la emergencia en cada caso específico, así como de los participantes en las acciones de respuestas y establecimiento de sus roles.
- Especificación de las operaciones a seguir en casos de emergencia en dependencia de su magnitud (planes de aviso, delimitación de las zonas afectadas, acciones para descontaminar, medidas para evitar la propagación de la contaminación, medios de protección a utilizar, gestión de los residuos que se generen, etc.).
- Definición de los planes y programas de capacitación y entrenamiento del personal involucrado en las situaciones de emergencia (entrenamiento sobre el uso adecuado de los planes de Emergencias, ejecución de ejercicios de simulacros, comprobaciones periódicas).

- Detalles sobre la infraestructura, instalaciones, materiales, vehículos y equipos disponibles para el manejo de la emergencia o accidente.
- Medidas de mitigación de los efectos de la emergencia y mecanismos de evaluación de los impactos directos o indirectos sobre la población y el medio ambiente en general ocasionados.

## **2.2. Mantenimiento de equipo con PCB**

El mantenimiento debe realizarlo personal capacitado y con EPP. Las personas que realicen el mantenimiento deben evitar el contacto directo con el dieléctrico. Al equipo eléctrico que no se le ha realizado prueba alguna, ni se tiene información de su contenido de PCB, debe tratarse como contaminado.

Antes de cualquier cambio de aceite, se debe hacer la prueba de PCB al transformador. Si el transformador está contaminado, no debe realizarle cambio de aceite, para evitar la contaminación cruzada.

En general, el mantenimiento se refiere a que el equipo se mantenga en buenas condiciones y sin fugas. Se pueden señalar varios riesgos derivados de la operación de equipo que contiene PCB:

- Riesgos ocasionados por la fuga de aceites con PCB
- Riesgos por incendio
- Riesgos que surgen al final de la vida útil del equipo, cuando tiene que ser clasificado

Estos riesgos pueden evitarse si se realizan algunas pruebas e inspecciones simples al equipo. Los capacitores vienen sellados de fábrica, por tanto se deben inspeccionar en busca de:

- Sobrecalentamiento
- Fallas eléctricas
- Arcos eléctricos
- Fisuras o roturas
- Corrosión

Los transformadores se deben inspeccionar en busca de:

- Descargas parciales
- Fisuras o roturas
- Corrosión
- Fugas de aceite

También se les deben realizar pruebas de mantenimiento como:

- Pruebas de funcionamiento eléctrico
- Pruebas al aceite dieléctrico

Si se detectan fallas luego de las pruebas y las inspecciones, el equipo debe retirarse de funcionamiento. Se debe tomar en cuenta que el equipo usado para mantenimiento en equipos con PCB o no analizados (bombas, mangueras, baldes, pipetas, guantes, etc.) ha sido contaminado y debe tratarse con las medidas de seguridad respectivas. Este equipo no deberá reusarse para otros mantenimientos.

Si se utilizan bombas que previamente se contaminaron con PCB para rellenar transformadores, se producirá la contaminación cruzada. Si un transformador que contuvo PCB es rellenado con aceite mineral, también debe ser considerado como contaminado.

### **2.3. Almacenamiento de equipo con PCB**

Los PCB, los equipos que los contienen, así como cualquier otro residuo contaminado, deberán permanecer almacenados de forma conveniente hasta tanto se proceda a su posterior tratamiento, destrucción o disposición final. Este almacenamiento, por tanto, constituye una operación necesaria en el manejo de los PCB pero debe considerarse como transitoria, independientemente de que por determinadas condiciones específicas, el tiempo de almacenamiento pueda ser relativamente largo.

Del trabajo realizado en campo se sabe que muchas empresas e instituciones no tienen sus equipos contaminados almacenados adecuadamente. Los transformadores se encuentran a la intemperie y en lugares no restringidos, donde cualquier trabajador de la empresa e inclusive peatones tienen contacto con el equipo.

El almacenamiento de los residuos de PCB y de los equipos contaminados se realizará teniendo en cuenta las medidas de protección necesarias para evitar los riesgos de derrames o de incendios. Estas medidas contemplarán tanto las reglas o disposiciones para el almacenamiento como las condiciones técnicas o constructivas de las instalaciones empleadas como almacenes, y entre ellas se destacan las siguientes:

### **2.3.1. Ubicación de los locales**

- Deben situarse lejos de zonas sensibles como son cuerpos de agua, áreas de almacenamiento o preparación de alimentos, escuelas, hospitales, etc.
- Ubicarlos alejados de áreas de congestión de tráfico, zonas peatonales y áreas de inundación.
- Mantenerlos alejados de zonas de almacenamiento de productos explosivos o inflamables, sustancias oxidantes o corrosivas o con peligro de incendio.
- Ubicarlos en zonas frescas y a la sombra para garantizar una temperatura que reduzca al mínimo la volatilización.

### **2.3.2. Características de las instalaciones**

- Deben estar en buenas condiciones y ser preferentemente de plástico rígido o metal, no de madera, tableros de fibra, paneles de yeso o similares.
- Deben erigirse sobre asfalto, hormigón o material plástico duradero.
- Tanto las cubiertas como el terreno deben tener pendientes que garanticen el drenaje.

- Disponer de suelos estancos, capaces de soportar cargas y de retener cualquier posible fuga. El pavimento debe ser de hormigón recubierto con epoxi o de láminas de material plástico duradero.
- Disponer de un sistema de recogida de cualquier líquido contaminado, incluyendo el agua proveniente de la extinción de incendios, si se empleara.
- Estar debidamente protegidos contra eventos meteorológicos extremos
- Colocar los equipos en plataformas que puedan ser transportadas, no estibarlos para evitar que puedan caerse o asegurar las estibas y fijarlos a dichas plataformas antes de cualquier movimiento
- Disponer de una adecuada ventilación.

### **2.3.3. Características de los recipientes**

- Mantener los líquidos en envases impermeables y seguros.
- Las piezas pequeñas deben colocarse en recipientes impermeables y seguros.
- Colocar todos los equipos y recipientes susceptibles de presentar fugas, dentro de dispositivos de contención (bandejas o contención secundaria).
- Mantener todos los equipos, recipientes y materiales debidamente etiquetados.

#### **2.3.4. Medidas de seguridad**

- Dotar los almacenes de todas las medidas de protección contra incendios así como de los medios necesarios para la limpieza de derrames (ropa, materiales absorbentes, medios de protección y herramientas).
- Rodear las áreas con muros o cercas convenientemente altas y con puertas aseguradas.
- Colocar avisos de prevención en cercas perimetrales y puertas.
- Disponer de planes de emergencias.
- Asegurar la adecuada preparación del personal sobre los temas relativos a las características de los PCB, los requisitos para su manejo y la respuesta ante situaciones de emergencia.

#### **2.3.5. Registro de datos**

- Disponer de procedimientos para el registro y control de inventarios y movimientos, así como para la realización de inspecciones periódicas, mantenimiento y entrenamiento del personal.

Resulta claro que acondicionar un local con las características anteriormente señaladas requiere de recursos importantes y puede precisar de un tiempo para su puesta en funcionamiento.

### **2.3.6. Almacenamiento inmediato**

Lo anterior significa que una entidad determinada puede necesitar emplear provisionalmente un determinado local o área para mantener equipos, recipientes o residuos con PCB que tenga en existencia. Es decir un almacenamiento inmediato. En este caso, se procurará garantizar lo siguiente:

- El almacenamiento debe ser bajo techo (o utilizar instalaciones apropiadas para mantenerse a la intemperie como son los contenedores de embarque marítimo con cerrojo).
- El local debe tener una buena ventilación y la misma no debe estar conectada con otra área en la que laboren o permanezcan personas.
- El piso debe cubrirse con material impermeable y deben sellarse todos los drenajes del mismo.
- Asegurar convenientemente la entrada al local y señalizarlo.

Si durante este período fuera absolutamente necesario mantener algunos equipos específicos a la intemperie, como es el caso del 90% de la Empresas Eléctricas Municipales, es necesario considerar lo siguiente:

- Seleccionar un área en terreno plano.
- Rodearla con una berma de tierra y cubrirla totalmente con varias capas de un material impermeable continuo.

- Colocar el equipo o los materiales sobre estibas de apoyo y posteriormente cubrirlo todo con material impermeable de forma que la lluvia corra hacia fuera.
- La cubierta de plástico debe asegurarse convenientemente para evitar que sea arrastrado por el viento.
- Señalizar convenientemente el área y mantener un mecanismo de inspección sistemática sobre la misma.

### **2.3.7. Áreas de almacenamiento transitorio para los PCB**

Las áreas de almacenamiento transitorio para un país como Guatemala, llevarán tiempo en concretarse, por la situación general en que fueron encontrados los equipos contaminados, pero se especifica ya que es algo que se debe de hacer.

El flujo de desechos de PCB debería terminar en algún momento entre los años 2015 y 2020. Además, los PCB no se pueden almacenar conjuntamente con desechos inflamables, lo cual significa que la creación de áreas de almacenamiento de objetivos múltiples es virtualmente imposible.

### **2.3.8. Métodos de almacenamiento**

Primero se drenan los transformadores en toneles metálicos del tipo 2001 con cierre codificado de la ONU y luego se colocan en cajas de metal para el traslado. Esta operación se puede realizar en las instalaciones del propietario para asegurar la seguridad del transporte hasta el área de almacenamiento.

Se debe de disponer de baldes de acopio con arena de filtrado debajo de los transformadores a drenar para evitar la contaminación del área en uso.

El área de almacenamiento puede hacerse con contenedores de 40 pies llamados “viaje final”. Los mismos tienen una capacidad de 20 toneladas cada uno.

El principio básico del almacenamiento transitorio es la negativa a aceptar un producto, a menos que su destino final haya sido determinado previamente, tanto en el ámbito contractual como administrativo.

Por “contractual” se entiende el contrato de destrucción convenido entre el propietario y el centro de destrucción y por “administrativo”, el procedimiento de destrucción autorizado para este tipo de desecho o el permiso de exportación emitido, en el caso de movimientos transfronterizos del citado desecho. A pesar de que el almacenamiento es transitorio, se requiere igualmente la autorización correspondiente. Algunas conclusiones sobre almacenaje son:

- Almacenar solo cuando la opción de disposición es conocida
- Encontrar el o las áreas adecuadas para el almacenaje
- Diseñar el área de almacenaje específicamente para PCB
- Utilizar los mejores materiales
- Separar los desechos por categorías
- Control constante del almacenamiento
- Autorización para el almacenaje recomendada
- No aceptar el almacenaje como una solución a largo plazo

## **2.4. Transporte de equipo con PCB**

Cuando algún equipo conteniendo PCB llega al final de su vida útil, se debe proceder a su retirada, tomando las medidas de seguridad necesarias para evitar la contaminación.

El proceso de retirada de un equipo que contenga PCB constituye una operación durante la cual se incrementan los riesgos de derrames o fugas respecto a los existentes mientras el equipo está en uso.

En general, transportar de forma adecuada los PCB significa que se prevenga su liberación al medio ambiente y se proteja a las personas del contacto con dicha sustancia.

Debe tenerse en cuenta las posibles situaciones de emergencia que pudieran resultar durante el transporte, ya que en este caso, el conductor del vehículo sería el principal responsable.

De forma específica se deben destacar las disposiciones siguientes:

### **2.4.1. Condiciones técnicas de los medios de transporte**

- Los vehículos que se empleen para el transporte de equipos, recipientes o residuos que contengan PCB deben estar en perfectas condiciones técnicas.
- Deben someterse a inspección previamente a la realización de cualquier operación con PCB.

#### **2.4.2. Condiciones de empaque y embalaje**

- Los tanques de los transformadores o capacitores no pueden considerarse como embalajes apropiados para el transporte.
- Los equipos o recipientes que contengan líquidos deben disponer de contención secundaria, para lo cual se pueden emplear bandejas, recipientes dobles, u otros.
- Los equipos o recipientes deben anclarse o atarse a los vehículos para evitar que se desplacen durante el transporte.

#### **2.4.3. Medidas de seguridad y medios de protección**

- Las bandejas para derrames deben cubrirse con lonas o similares para protegerlas de la lluvia.
- Los sólidos pequeños deben protegerse del viento y la lluvia.
- La carga debe estar debidamente identificada y rotulada, en correspondencia establecida por las regulaciones vigentes.
- Los vehículos cargados con equipos o recipientes con PCB no pueden dejarse solos, a menos que estén en zonas de parqueo seguras.
- Los equipos o recipientes conteniendo PCB no deben transportarse conjuntamente con otros artículos o materiales que no los contengan.

- Si un vehículo se contamina con PCB debe ser aislado y convenientemente descontaminado antes de volver a utilizarse.

#### **2.4.4. Conocimientos e informaciones que deben poseer los conductores de los medios de transporte**

- Los vehículos que transporten PCB deben estar equipados con todos los medios necesarios para responder adecuadamente ante situaciones de emergencia.
- Los conductores de los vehículos que transportan PCB deben estar debidamente entrenados y capacitados para actuar adecuadamente ante cualquier emergencia y deben disponer de planes de emergencia con las disposiciones para actuar ante cualquier eventualidad.
- Teniendo en cuenta la posibilidad de que el conductor de un vehículo que transporte PCB quede incapacitado total o permanentemente a consecuencia de un accidente, debe preverse algún tipo de señalización o instrucción general que pueda ser seguida por cualquier persona ajena que se encuentre en el lugar.

#### **2.4.5. Documentación y permisos y/o certificaciones necesarios**

- La transportación de cualquier equipo, recipiente o residuo en general que contenga PCB tiene que estar acompañada de una autorización emitida por la autoridad competente, en correspondencia con las disposiciones establecidas en la legislación vigente.

## **2.5. Tratamiento y eliminación de PCB**

Hasta el momento se han desarrollado una gran variedad de tecnologías para la eliminación o la reducción de concentraciones de PCB que pueden aplicarse a las diferentes categorías de sustancias, equipos o residuos.

En el caso de los equipos eléctricos, se da especial atención al caso de los transformadores y capacitores ya que los mismos, bajo determinadas condiciones pueden ser descontaminados y recuperados en su totalidad o pueden aprovecharse algunas partes útiles.

En otros casos, cuando no es posible la descontaminación se procede a la destrucción de los PCB por diferentes métodos.

En general, todas las instalaciones y equipos utilizados para el procesamiento, tratamiento y eliminación de desechos peligrosos, incluidos los desechos con PCB, deben diseñarse con arreglo a prácticas adecuadas de ingeniería, y fabricarse e instalarse de conformidad con los estándares reconocidos. Los planos de ingeniería pertinentes deben estar disponibles, y referirse a todas las partes del equipo, abarcando todas las características de funcionamiento que sean necesarias.

Los planos deben mantenerse actualizados en consonancia con las alteraciones y modificaciones de que sea objeto el equipo.

A continuación se detallan los aspectos fundamentales de los principales métodos existentes para el tratamiento o destrucción de los PCB:

### **2.5.1. Descontaminación**

La descontaminación es un proceso que se aplica a los transformadores y capacitores que contienen PCB. En el caso de los transformadores la descontaminación se puede hacer con dos posibles objetivos:

- Lograr la reutilización del transformador, como un equipo libre de PCB.
- Recuperar piezas y partes componentes de los equipos para su reciclado.

La primera opción no se aplica en el caso de los capacitores, los cuales por lo general se descontaminan solamente con el objetivo de aprovechar partes del equipo.

Si se pretende la reutilización de un transformador, el tratamiento consiste en drenar el aceite de PCB y descontaminarlo para reincorporarlo, ya libre de PCB, nuevamente al transformador, o bien sustituirlo por otro aceite dieléctrico que no contenga PCB, en tanto que el aceite original se destruye. Este proceso recibe el nombre de Retroalimentación o Retrollenado. La descontaminación del aceite puede realizarse mediante la aplicación de algunas de las tecnologías de destrucción de los PCB, las cuales se describen más adelante.

Una vez extraído el aceite, el transformador puede lavarse con solvente antes de proceder a llenarlo nuevamente.

El proceso de retroalimentación presenta algunas dificultades que están relacionadas con la propia estructura de los transformadores y específicamente con la existencia de componentes porosas como pueden ser las bases de madera, las cuales al estar en contacto con el aceite se impregnan de él. Este PCB va difundiendo posteriormente en el aceite “limpio” y va incrementando su concentración de PCB, la cual en un momento determinado puede llegar a superar los límites permisibles, exigiendo un nuevo proceso de retroalimentación.

La retroalimentación puede llevarse a cabo en el lugar donde se encuentre el transformador o en talleres especializados y en general el mismo se justifica en aquellos casos en que la sustitución del equipo resulta difícil y la vida útil esperada para el mismo así lo amerita, o también cuando el propietario posee una gran cantidad de transformadores instalados.

Si no se pretende la reutilización del equipo, se puede proceder a la descontaminación del mismo, a fin de reciclar la mayor cantidad de partes y componentes posibles. En este proceso vuelve a jugar un papel importante la estructura, tanto de los transformadores como de los capacitores, ya que no todas las componentes son susceptibles de ser descontaminadas.

Las partes metálicas que conforman los transformadores pueden descontaminarse fácilmente con ayuda de un solvente. Sin embargo, el alambre de cobre revestido de barniz, por ejemplo, resulta mucho más difícil de descontaminar. Los puntales de madera y el papel, por su parte, generalmente no se pueden descontaminar y deben ser destruidos.

Algo muy similar ocurre con los capacitores, en los cuales lo que se descontamina generalmente son las cajas metálicas externas y la lámina de aluminio que se utiliza en los rollos, mientras que el resto de los materiales se destruye.

Los solventes empleados en la descontaminación pueden recuperarse por destilación pero aun quedarán residuos de PCB que es necesario destruir.

### **2.5.2. Métodos de eliminación**

Los métodos de destrucción de los PCB tienen como objetivo su eliminación de forma segura. Un caso particular lo constituye el tratamiento de los aceites de PCB con el objetivo de su reincorporación al transformador (retroalimentación) o para otros usos, ya como un aceite limpio.

La destrucción de los PCB exige que se rompan los enlaces moleculares mediante la aportación de energía térmica o química. También se han estudiado los efectos de la energía biológica y de las radiaciones, pero hasta el momento estos estudios no han tenido aplicaciones comerciales.

A continuación se resumen algunas de las principales técnicas de destrucción que se emplean en la actualidad:

#### **2.5.2.1. Incineración**

La incineración a alta temperatura constituye la tecnología más utilizada para la destrucción de los PCB. Cuando se aplica correctamente se pueden alcanzar eficiencias de eliminación cercanas al 100%.

Los principales productos de la incineración son dióxido de carbono y agua así como una ceniza inorgánica.

El cloro presente se convierte en cloruro de hidrógeno gaseoso que se extrae conjuntamente con otros subproductos de la combustión, empleando un equipo de control de la contaminación atmosférica.

La efectividad de la incineración es función del tiempo de residencia, la temperatura, la turbulencia y el contenido de oxígeno. Para mantener estos parámetros en el punto deseado y asegurar la eficacia del sistema de depuración de gases es preciso mantener un riguroso control del proceso y vigilar las emisiones a fin de reducir al mínimo los efectos ambientales.

Las cenizas producidas no constituyen un problema especial para su eliminación. Normalmente, los lodos líquidos y diluidos se introducen en el incinerador por bombeo.

Los sólidos, incluyendo los equipos, pueden requerir algún tipo de procesado previo como puede ser el despedazado, recorte, empaçado, etc.

La incineración puede realizarse en instalaciones especialmente diseñadas para los PCB y otros desechos clorados o bien pueden aprovecharse otras instalaciones industriales previstas para el termotratamiento de algunos materiales, como es el caso de los hornos de cemento, los cuales pueden ser autorizados a emplear como combustibles, una cierta proporción de desechos clorados.

#### **2.5.2.1.1. Hornos de cemento**

Constituyen un ejemplo de la eliminación de desechos en equipos utilizados para la producción de bienes industriales. La fabricación del cemento necesita de combustible que caliente la mezcla agregada y en lugar del fuel oil pesado pueden utilizarse desechos que tengan un valor calórico suficiente. Los desechos de solventes clorados pueden emplearse como en el horno como combustible suplementario.

Los materiales sólidos pueden introducirse en un punto central de la parte descendente del horno. Los hornos de cemento tienen una alta estabilidad térmica y alcanzan temperaturas superiores a 2000°C con bajos tiempos de retención para gases y materias primas.

#### **2.5.2.2. Biodegradación**

La biodegradación se ha empleado con relativo éxito para la descontaminación de suelos y sedimentos con bajo nivel de contaminación (habitualmente menos de 500 ppm). El éxito del método depende de diversos factores, como son:

- El tipo de producto que contiene PCB.
- La presencia o la inyección de los tipos apropiados de bacterias.
- La presencia o inyección de la suficiente cantidad de nutrientes, humedad, calor y oxígeno para un adecuado crecimiento de las bacterias.

- La existencia de suelos relativamente permeables, que permitan la inyección o movilización de los elementos anteriores a las áreas contaminadas.

Los mejores resultados y los menores tiempos se logran en el segundo caso, cuando se extrae el suelo y se lleva a un depósito para el tratamiento, ya que resulta más efectivo el control de los parámetros.



### **3. PROYECTO DE NORMATIVA RELATIVA A BIFENILOS POLICLORADOS (PCB)**

#### **3.1. Análisis de la legislación nacional vigente**

Durante el año 2006 y en el marco de la realización del Proyecto Nacional PCB Guatemala, la Licda. Diana Lucila Vásquez Dávila realizó un análisis de la Legislación que existe en el país, tomando en primer lugar la supremacía de la Constitución Política de la República. Todas las leyes y reglamentos estudiados son referentes a sustancias químicas peligrosas. Los documentos que se analizaron fueron:

- Constitución Política de la República
- Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente
- Ley del Organismo Ejecutivo
- Código de Salud
- Código Penal
- Reglamento para el Manejo de Desechos Sólidos Hospitalarios
- Código Municipal
- Reglamento de Manejo de Desechos Sólidos para el Municipio de Guatemala.
- Norma Técnica sobre Transformadores Monofásicos sumergidos en aceite para Distribución en Baja Tensión: Convencionales y Autoprotegidos.
- Convenio de Basilea sobre el Movimiento Transfronterizo de Desechos Peligrosos y su Eliminación.

- Acuerdo Regional sobre el Movimiento Transfronterizo de Desechos Peligrosos.

Al finalizar el estudio legal de la legislación existente en el país, la Licda. Vásquez Dávila obtuvo las siguientes conclusiones:

- La rectoría sectorial en cuanto al tema ambiental en Guatemala le ha sido asignada al Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, quien al mismo tiempo está facultado para emitir las leyes, reglamentos y normas que considere necesarias para dar cumplimiento a tal fin<sup>4</sup>.
- El Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social, es el ente encargado de velar por la salud de la población, cuya normativa resalta su importancia<sup>4</sup>.
- Luego de la revisión de la regulación nacional, se verifica que no existe ninguna disposición taxativa para los PCB, sino únicamente regulación que de manera tácita hace referencia a ellos, al ser considerados como desechos especiales, de conformidad con el Reglamento para el Manejo de Desechos Hospitalarios, por lo que se considera de importancia, regular este tema<sup>4</sup>.
- De igual o mayor importancia es el establecimiento de la normativa nacional relativa a las sustancias químicas en general<sup>4</sup>.
- A pesar que se cuenta con las bases jurídicas, para poder controlar las acciones concernientes a las sustancias químicas, la normativa específica no ha sido desarrollada, lo que permite vacíos en la legislación; y en tanto ésta no sea desarrollada esta normativa, el problema de la contaminación ambiental podría irse incrementando<sup>4</sup>.

- Guatemala es parte del Convenio de Basilea, por lo que al ratificar dicho convenio en el año 1995, éste pasó a ser una Ley de observancia general para el país, estando obligados todos los ciudadanos a acatar las disposiciones en materia de el control de los movimientos transfronterizos de desechos peligrosos y su eliminación<sup>4</sup>.
- Aunque en la actualidad el Convenio de Estocolmo y el Convenio de Róterdam se encuentran en la fase de revisión previo a ser enviados al Congreso de la República para su aprobación, considerando la sinergia entre ellos y el Convenio de Basilea, y aunque aún no han sido ratificados, éstos complementan las disposiciones y forma del manejo ambientalmente racional de los PCB, por lo que deben ser tomados en cuenta para la realización del Plan Nacional de Acción, así mismo, sus lineamientos utilizados como base para la elaboración de la regulación en materia del manejo ambientalmente racional de los PCB en Guatemala<sup>4</sup>.
- La jerarquía normativa guatemalteca, establece por medio de las disposiciones de la Constitución Política, el otorgamiento de preeminencia sobre el derecho interno a los tratados internacionales ratificados por el Estado. Y en caso de negarse esta disposición, la parte afectada puede interponer Recurso de Inconstitucionalidad ante la Corte de Constitucionalidad, respectivamente<sup>4</sup>.

### **3.2.Marco legal e institucional para la gestión de los bifenilos policlorados (PCB)**

El marco institucional está relacionado con la función pública de las diferentes instituciones y la sujeción a la ley que deben presentar.

---

<sup>4</sup> Licda. Diana Lucila Vásquez Dávila. Análisis de la Normativa Nacional existente relacionada con los Bifenilos Policlorados (PCB). Guatemala, Febrero 2006.

Los funcionarios y empleados públicos solo pueden hacer lo que la ley les manda. La desobediencia y trasgresión de la misma deberá ser penalizada. Las instituciones encargadas de velar por el cumplimiento de la ley son:

➤ **Ministerio de ambiente y recursos naturales**

El mismo posee la rectoría sectorial en materia ambiental. El congreso de la república creó anteriormente la Comisión Nacional del Medio Ambiente, el cual fue reemplazado por el MARN.

➤ **Ministerio de salud pública y asistencia social**

La salud es un derecho de todos los habitantes de la república sin discriminación alguna. El encargado de que lo anterior se cumpla es el Ministerio de Salud, a través del Código de Salud.

➤ **Municipalidades**

A través del Código Municipal deben desarrollar los principios constitucionales referentes a la organización, gobierno, administración y funcionamiento de los municipios y demás locales determinados en este Código.

➤ **Organismo judicial**

El Código Penal tipifica los delitos ambientales de contaminación, resaltando aspectos relacionados a emanaciones tóxicas, sustancias peligrosas, desechos, productos perjudiciales a la salud humana, animales, bosques, plantaciones, estableciendo sanciones económicas y prisión para los responsables.

➤ **Ministerio de energía y minas**

La Ley General de Electricidad hace cumplir la ley o sus reglamentos, en materia de su competencia, e impone sanciones a los infractores.

➤ **Superintendencia de Administración Tributaria (SAT)**

Es una entidad estatal descentralizada, con competencia y jurisdicción en todo el territorio nacional. Entre sus funciones se le asigna administrar el sistema aduanero de la república.

### **3.3. Propuesta de un modelo de normativa nacional sobre el manejo adecuado de equipos eléctricos con PCB**

#### **CONSIDERANDO**

El Artículo 97 referente a Medio Ambiente y equilibrio ecológico, que literalmente dice así: El Estado, las Municipalidades y los habitantes del territorio nacional están obligados a propiciar el desarrollo social, económico y tecnológico que prevenga el impacto adverso del ambiente y mantenga el equilibrio ecológico. Se dictaran todas las normas necesarias para garantizar que la utilización y el aprovechamiento de la fauna, de la flora, de la tierra y del agua, se realicen racionalmente evitando su depredación.

#### **CONSIDERANDO**

Que el Decreto Número 68-86 del Congreso de la República, Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente, regula el mantenimiento del equilibrio ecológico y la calidad del ambiente de los habitantes, y establece que todo proyecto, obra, industria o cualquier actividad similar, según sus características, puede producir deterioro a los recursos naturales, al ambiente o introducir modificaciones nocivas o notorias al paisaje y a los recursos culturales del patrimonio nacional.

### **CONSIDERANDO**

El Reglamento de evaluación, control y seguimiento ambiental, Acuerdo Gubernativo No. 23-2003 que norma la evaluación, control y seguimiento ambiental, estableciendo los procedimientos de carácter técnico, aplicables a ese propósito, definiendo y desarrollando las acciones necesarias para el cumplimiento de la ley.

### **CONSIDERANDO**

Que no existe en el país ningún normativo que regule adecuadamente lo concerniente a los PCB y equipos que los contengan, ni tampoco el control sobre sitios que han sido contaminados.

### **CONSIDERANDO**

Que es necesaria la debida identificación, etiquetado de equipos que se encuentran contaminados con esta sustancia y que es necesaria la prohibición sobre comercialización de PCB en cualquier forma, dentro del territorio nacional.

### **POR TANTO:**

En ejercicio de las atribuciones que le confieren el Artículo 97, de la Constitución Política de la República de Guatemala, lo establecido en la Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente, Decreto 68-86 del Congreso de la República y lo establecido en el reglamento de evaluación, control y seguimiento ambiental, Acuerdo Gubernativo No. 23-2003,

## ACUERDA,

Emitir la siguiente: “**NORMATIVA NACIONAL SOBRE EL MANEJO ADECUADO DE EQUIPOS ELÉCTRICOS CON PCB**”.

### CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN

**Artículo 1. Introducción:** La existencia de Bifenilos Policlorados (PCB) dentro de nuestro país es un problema ecológico. Por ello se deben tomar las medidas necesarias para manejar estas sustancias peligrosas de una manera adecuada, estableciendo normas y lineamientos.

### CAPÍTULO II OBJETIVO

**Artículo 2. Objetivo:** Esta Norma contempla las especificaciones necesarias para el adecuado manejo, mantenimiento, identificación, almacenamiento, transporte y eliminación de equipos que contengan PCB.

### CAPÍTULO III DEFINICIONES

**Artículo 3.** Para la interpretación y aplicación de esta normativa, se entiende por:

- a. **PCB:** Siglas en inglés de Bifenilos Policlorados (Polychlorinated Biphenyl).

- b. **Poseedores:** Toda persona individual o jurídica que sea propietaria de equipos eléctricos, residuos o materiales contaminados.
- c. **PPM:** Partes por millón. Se refiere a la proporción de una sustancia contenida en otra.
- d. **Suelo natural:** Porción de terreno donde la tierra se encuentra completamente expuesta a cualquier derrame de sustancias.
- e. **MARN:** Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales.
- f. **Desincorporación:** Se produce cuando un equipo eléctrico es retirado de funcionamiento, ya sea porque ha llegado al final de su vida útil, por accidente o por falla.
- g. **Equipo de protección personal:** El equipo mínimo de protección que necesita una persona que manipula sustancias peligrosas. Esto incluye: guantes, mascarilla, gafas, casco, botas impermeables, traje o bata.
- h. **Transportista:** La persona individual o jurídica que se encargará de transportar PCB con todos los requerimientos necesarios de seguridad.
- i. **Empresa exportadora:** La empresa encargada de la eliminación de PCB del territorio nacional. Esta empresa se contrata para transportar el PCB hacia los países que lo destruyen de forma segura.

## **CAPÍTULO IV CLASIFICACIÓN**

**Artículo 4.** Todo equipo que contenga una concentración menor de 50 ppm de PCB se considera libre de contaminación, mientras que el equipo que contenga una concentración igual o mayor a 50 ppm de PCB se considera como un equipo contaminado.

**Artículo 5.** Todo equipo que haya sido fabricado con alguno de los dieléctricos listado en la tabla de nombres comerciales de PCB, debe ser considerado como un equipo contaminado. Este dato podrá ser obtenido de la placa de datos técnicos del mismo.

**Artículo 6.** Todo equipo del cual se ignore su contenido de PCB, deberá ser considerado como un equipo susceptible y se manejará como contaminado. Este convenio se mantendrá hasta comprobar con seguridad si el equipo se encuentra contaminado o no a través de la realización de una prueba de PCB exacta y confiable.

## **CAPÍTULO V USO DE EQUIPO CON PCB**

**Artículo 7.** Todos los equipos que contengan concentraciones iguales o mayores a 50 ppm deben reclasificarse e inventariarse con anotaciones que indiquen su peligrosidad.

**Artículo 8.** Todo equipo con una concentración igual o mayor a 50 ppm podrá mantenerse en funcionamiento hasta el final de su vida útil y posteriormente se desincorporará para su almacenamiento y eliminación final.

Esto se realizará siempre y cuando se tenga una evaluación del mismo y se le de el mantenimiento adecuado.

**Artículo 9.** Los poseedores deberán elaborar un plan de contingencia en caso de que ocurra una emergencia por derrames o accidentes ocurridos al equipo.

## **CAPÍTULO VI MANIPULACIÓN Y MANTENIMIENTO**

**Artículo 10.** Todo el personal que tenga a su cargo la manipulación de equipos con PCB deberá haber recibido previamente la capacitación y el entrenamiento necesario para dicha labor.

**Artículo 11.** Todo el personal encargado de la manipulación de dichos equipos deberá contar con equipo de protección adecuada.

**Artículo 12.** El personal a cargo deberá estar preparado con un plan especial de contingencia en caso de emergencias durante la manipulación de estos equipos.

**Artículo 13.** En cualquier caso, el personal debe evitar hasta lo posible el contacto directo con el aceite dieléctrico.

**Artículo 14.** Los equipos con PCB deberán ser inspeccionados y evaluados durante determinados períodos de tiempo que serán establecidos por los poseedores.

**Artículo 15.** Se deberán realizar estas inspecciones y evaluaciones en busca de fallas en el equipo como fugas, goteos, filtraciones o derrames de fluidos y también roturas, fisuras o componentes flojos. Si se detectan fallas, el equipo debe retirarse de funcionamiento.

**Artículo 16.** Cuando se realicen adiciones de aceite dieléctrico a equipos con PCB, se deben utilizar dieléctricos con concentraciones menores a 50 ppm de PCB.

**Artículo 17.** Todo el equipo y materiales utilizados durante la realización de mantenimientos que entren en contacto directo con equipos con PCB deben considerarse como contaminados.

**Artículo 18.** Los sitios que hayan sido contaminados deberán ser registrados en un informe de control y evaluación que incluya la forma en que se contaminó, el equipo contaminante, fecha, localización tanto del equipo contaminante como del contaminado, magnitud aproximada del derrame, materiales y lugares adyacentes contaminados. Estos lugares deberán rotularse con avisos de peligro fácilmente visibles.

**Artículo 19.** Toda superficie que haya sido contaminada deberá limpiarse hasta una concentración menor a 50 ppm. En caso de suelo natural deberá extraerse toda la tierra contaminada hasta dejarla libre de derrames. Deberá verificarse a través de una prueba de suelo si se ha eliminado la contaminación hasta una concentración menor a 50 ppm. La tierra contaminada deberá ser tratada con las medidas necesarias para su manejo. Deberá depositarse en recipientes apropiados a prueba de golpes y corrosión, como los toneles aprobados por las Naciones Unidas. Estos depósitos deberán rotularse con avisos de peligro fácilmente visibles.

**Artículo 20.** Todo aceite dieléctrico extraído que se encuentre contaminado con PCB deberá depositarse en recipientes apropiados, a prueba de golpes y corrosión, como los toneles aprobados por las Naciones Unidas. Estos depósitos deberán rotularse con avisos de peligro fácilmente visibles.

**Artículo 21.** Los residuos y materiales contaminados por mantenimiento deberán depositarse de la misma forma en recipientes adecuados.

**Artículo 22.** Antes de la realización del mantenimiento programado al equipo, deberá realizarse una prueba de PCB exacta y confiable. Si se obtuviere resultado positivo, no podrá realizarse el mantenimiento. Si se obtuviere resultado negativo, puede procederse con toda seguridad a la realización de dicho mantenimiento.

## **CAPÍTULO VII ETIQUETADO E INVENTARIOS**

**Artículo 22.** Todos los equipos que contengan una concentración igual o mayor a 50 ppm de PCB deberán ser etiquetados debidamente.

**Artículo 23.** Las etiquetas, rótulos y letreros que indiquen el contenido de PCB deberán ser clara y fácilmente visibles. Las etiquetas deberán colocarse en un lugar del equipo que sea accesible y fácil de leer.

**Artículo 24.** Los accesos a lugares donde se encuentren equipos contaminados con PCB deberán poseer rótulos y letreros que indiquen la peligrosidad de los mismos.

**Artículo 25.** Los equipos con una concentración igual o mayor a 50 ppm de PCB deberán ser registrados e inventariados por los poseedores. Estos deberán presentar anualmente un informe ante el MARN que indique su estado actual, así como de nuevos hallazgos de equipos contaminados. Igualmente deberán entregar un informe sobre los mantenimientos realizados a los mismos. Se deberá informar sobre su desincorporación y los residuos manejados durante este proceso. El informe también deberá indicar la forma y el lugar en que han sido almacenados.

**Artículo 26.** El MARN actualizará cada año, con dichos informes, su Base de Datos de equipos con PCB en el país, por tanto los poseedores están obligados a cumplir con lo anterior. De lo contrario serán sancionados.

**Artículo 27.** Se podrá utilizar el modelo de etiquetas mostrado en el Anexo de esta normativa.

## **CAPÍTULO VIII ALMACENAMIENTO**

**Artículo 28.** Todo equipo con PCB al llegar al final de su vida útil deberá ser desincorporado y almacenado de forma adecuada y bajo las condiciones pertinentes.

**Artículo 29.** El lugar de almacenamiento deberá encontrarse lejos de productos inflamables. Los poseedores deberán adoptar todas las medidas necesarias para evitar los riesgos de incendio.

**Artículo 30.** El lugar de almacenamiento deberá estar provisto de un colector de derrames capaz de soportar cualquier fuga.

El colector de derrames de ninguna manera deberá tener conexión con drenajes, ni deberá enviar su contenido hacia exteriores como suelo natural. El volumen de contención de este colector deberá ser superior al volumen total de PCB contenido en los equipos y depósitos de almacenamiento.

**Artículo 31.** El suelo y las paredes del lugar de almacenamiento deberán ser impermeables, capaces de soportar fugas y derrames. Este lugar deberá contar con ventilación apropiada.

**Artículo 32.** El lugar de almacenamiento deberá encontrarse debidamente techado, con materiales especiales para la intemperie. Deberá verificarse periódicamente que no se produzcan goteos ni filtraciones de lluvia en el local. En caso de producirse algo de lo mencionado, deberá remediarse inmediatamente.

**Artículo 33.** El acceso al lugar de almacenamiento deberá ser restringido y solo deberá permitirse el ingreso a personal capacitado y con el debido equipo de protección personal.

**Artículo 34.** El lugar de almacenamiento y su respectivo acceso deberá rotularse con avisos de peligro fácilmente visibles.

**Artículo 35.** En el lugar de almacenamiento deberán guardarse los equipos contaminados, depósitos con aceite contaminado y residuos igualmente contaminados. También se deberán guardar aquí los materiales que entren en contacto directo con PCB durante el mantenimiento.

**Artículo 36.** Los depósitos que contengan aceite contaminado, residuos o materiales contaminados por mantenimiento deberán cerrarse perfectamente y almacenarse de una forma ordenada, evitando que puedan destaparse por caídas accidentales.

## **CAPÍTULO IX TRANSPORTE**

**Artículo 37.** El transporte utilizado para equipos con PCB deberá contar con todos los requerimientos necesarios en caso de que ocurra un derrame. Asimismo deberá contar con lo necesario para ofrecer estabilidad y seguridad a los equipos transportados, depósitos con aceite contaminado, residuos y materiales contaminados.

**Artículo 38.** El transporte utilizado deberá someterse a inspecciones previo a realizar cualquier operación con PCB.

**Artículo 39.** El transporte deberá contar con los medios necesarios en caso de emergencias o accidentes. Además deberá contar con avisos de peligro fácilmente visibles y con colores que reflejen la luz.

**Artículo 40.** Los conductores deberán ser entrenados y capacitados adecuadamente. Deberán contar con planes de emergencia para responder ante cualquier eventualidad.

**Artículo 41.** Los transportistas deberán contar con la debida autorización emitida por el MARN, luego de aprobar la inspección requerida.

**Artículo 42.** Los transportistas deberán contar con seguros especiales en caso de accidentes o daños al ambiente.

## **CAPÍTULO X ELIMINACIÓN**

**Artículo 43.** Las empresas que se dediquen a la exportación de PCB, serán las encargadas de su eliminación del territorio nacional y transporte hacia países donde se destruye sin ningún riesgo para el Ambiente.

**Artículo 44.** Toda empresa que realice la exportación de equipos con PCB, depósitos con aceite contaminado, residuos o materiales contaminados, con el fin de eliminarlos del país deberá ser autorizada por el MARN y deberá cumplir con todos los requerimientos técnicos para la realización de esta operación.

**Artículo 45.** Tanto el poseedor como la empresa de exportación deberán presentar ante el MARN un informe de lo acordado para la eliminación de PCB donde se detalle las causas, el proceso y los costos de esta operación, así como el lugar donde el transporte entregará todo el contenido de PCB a la empresa de exportación. En dicho lugar deberá encontrarse un Inspector en representación del MARN, el cual observará que la operación cumpla con las normas establecidas.

**Artículo 46.** Al momento de recibir todo el contenido de PCB, la empresa exportadora queda responsable del mismo, así como de las posibles eventualidades que pudieran ocurrir.

## **CAPÍTULO XI**

### **PROHIBICIÓN DE INGRESO**

**Artículo 47.** Se prohíbe el ingreso de PCB, ya sea en equipos eléctricos, materiales que lo contengan, o incluso en depósitos herméticos al territorio nacional, a través de cualquier medio, ya sea terrestre, aéreo o marítimo.

**Artículo 48.** Cualquier persona individual o jurídica que intente el ingreso de PCB de forma ilegal al territorio nacional será sancionada conforme a las leyes del país.

**Artículo 49.** Las Aduanas, Puertos Marítimos y Terminales Aéreas deberán establecer un estricto control que impida el ingreso de PCB al territorio nacional.

**Artículo 50.** Cualquier mercancía que sea susceptible de contener PCB deberá ser retenida y aislada. Se solicitará la presencia de un Inspector especializado por parte del MARN, el cual se encargará de determinar si dicha mercancía realmente se encuentra contaminada. Si se confirma la contaminación, se procederá a realizar los trámites legales correspondientes. Si se confirma que la mercancía se encuentra libre de contaminación, podrá ingresar libremente al territorio nacional.

## **CAPÍTULO XII**

### **CAMPO DE APLICACIÓN**

**Artículo 51.** Esta Normativa Nacional es de observancia obligatoria para todas las personas individuales o jurídicas que posean equipos eléctricos, líquidos, residuos y materiales que estén o puedan estar contaminados con PCB, así como las empresas que se dediquen al manejo de los mismos o realicen reconstrucciones y mantenimientos.

**Artículo 52. Observancia de esta norma:** El encargado de la Legislación Ambiental dentro del territorio nacional es el MARN y es la entidad designada, por parte del Gobierno de Guatemala, para proteger el Ambiente y los Recursos Naturales del país.

**Artículo 53. Plan Nacional de Acción:** Actualmente el MARN impulsa el Plan Nacional de Acción, que busca la estrategia adecuada para identificar y eliminar el PCB del territorio nacional. El MARN propiciará por todos los medios posibles la participación de los sectores involucrados. Todas las personas individuales o jurídicas mencionadas en el Campo de Aplicación de esta Norma Nacional están obligadas a participar dentro de dicho plan.

## **CAPÍTULO XIII**

### **TRANSITORIOS**

**Artículo 54. Primero:** La presente Normativa Nacional entrara en vigor a los sesenta días posteriores al de su publicación en el Diario Oficial.

**Artículo 55. Segundo:** Provéase la publicación de esta Normativa Nacional en el diario oficial.

**CAPÍTULO XIV**  
**ANEXOS**

**ANEXO 1**

Nombres comerciales y sinónimos para PCB<sup>5</sup>

Aceclor	Clophen Apirorio	Nepolin
Adkarel	Cloresil	Niren
ALC	Clorphen Delor (Czech Rep.)	No-Famol
Apirolio	Diactor	No-Flamol (USA)
Aroclor (USA)	Dk	NoFlamol
Aroclor 1016	Ducanol	Nonflammable liquid
Aroclor 1221	Dykanol (USA)	Pheneclor
Aroclor 1232	Dyknol	Phenoclor (France)
Aroclor 1242	EEC-18	Phenochlor
Aroclor 1254	Electrophenyl T-60	Phenochlor DP6
Aroclor 1260	Elemex	Plastivar
Aroclor 1262	Eucarel	Pydraul (USA)
Aroclor 1268	Fenchlor (Italy)	Pyralene (France)
Areclor	Hexol (Russian Federation)	Pyraleno
Abestol	Hydol	Pyranol (USA)
Arubren	Hydrol	Pyrochlor
Asbestol	Hyvol	Pyroclo (USA)
ASK	Inclor	Saf-T-Kuhl
Askarela (USA)	Inerteen	Saft-Kuhl
Bakola	Kanechlor (KC) (Japan)	Santotherm (Japan)
Bakola 131	Kaneclor	Santotherm FR
Chlorextol	Kaneclor 400	Santoterm
Chlorinated Diphenyl	Kaneclor 500	Santovac
Chlorinol (USA)	Keneclor	Santovac 1
Chlorobiphenyl	Kennechlor	Santovac2
Clophen (Germany)	Leromoll	Solvol (Russian Federation)
Clophen-A30	Magvar	Sovol
Clophen-A50		

Tabla VII. Nombres comerciales y sinónimos de PCB.

<sup>5</sup> UNEP CHEMICALS: Compilation of PCB Transformer Manufacturers. Enero 2006.

## ANEXO 2

### Formato de Etiquetas utilizado por el MARN

Figura 26. Etiquetas para identificar el contenido de PCB en equipos analizados.



Fuente: Proyecto PCB Guatemala

## ANEXO 3

### Registro de Inspección utilizado por el MARN

Figura 27. Registro de Inspección implementado por el MARN.

The image shows a registration form for the National Inventory of Polychlorinated Biphenyls (PCB) and equipment containing them in Guatemala. The form includes logos for MARN, UNEP, and the PCB Project. It contains a title, a description of the project, and a section for recording inspection details such as equipment type, distribution, power, capacitors, and analysis results.

Fuente: Proyecto PCB Guatemala



## **4. ESTIMACIÓN GENERAL DE COSTOS INCURRIDOS EN EL MANEJO DE EQUIPOS CON PCB**

Dentro del rubro de costos deben considerarse todos aquellos que son ocasionados directamente por la gestión, es decir, desde la etapa de identificación, reemplazo, almacenamiento, exportación hasta llegar a los costos de eliminación.

### **4.1. Identificación de equipos**

La identificación de los equipos se hará por medio de análisis al aceite dieléctrico, el cual se puede hacer por diferentes métodos cualitativos y cuantitativos. Dentro de las pruebas cualitativas se encuentran:

#### **4.1.1. Prueba de la densidad**

Esta sencilla prueba consiste en la comparación de la densidad del aceite a comprobar y el agua. Teniendo en cuenta que la densidad de los aceites con PCB es mayor que la del agua, se vierte una gota del aceite en agua. Si la gota se hunde estamos en presencia de un PCB, si flota puede considerarse aceite mineral, ya que estos son más ligeros.

#### **4.1.2. Prueba de presencia de cloro**

Esta se determina observando el color de una llama tras el calentamiento o la incineración del aceite sobre un alambre de cobre, puesto en llama de gas.

Si el aceite es PCB, la llama se colorea de verde, no así en el caso de aceites minerales.

#### **4.1.3. Prueba de olor**

Un índice de la presencia de PCB, lo constituye el olor a cloro que puede desprenderse de una mezcla de aceites. Para determinar la presencia de PCB en las aplicaciones inventariadas, solo se utilizará la prueba de la densidad.

Estos métodos carecen de importancia ya que no son confiables y el precio de ellos en comparación con los Métodos Cuantitativos no es significativo.

#### **4.1.4. Método de Screening para PCB en aceite de transformador: Kit Clor-N-Oil 50**

Este método utiliza el estuche de ensayo colorimétrico Clor-N-Oil y se utiliza para identificar Bifenilos Policlorados (PCB) en fluidos aislantes eléctricos en base a hidrocarburos de 20, 50, 100 o 500 mg/g. El método provee datos preliminares fuera de un ambiente de laboratorio en menos de 10 minutos, proporcionando una indicación colorimétrica para la concentración de PCB sobre o bajo el punto final establecido<sup>6</sup>. Entre sus ventajas están: Ahorran tiempo, son de bajo precio, no existe resultado falso-negativo, y entre sus desventajas está que puede dar resultado falso-positivo. El Método Oficial del Clor-N-oil es: US EPA SW 846 Método 9079.

---

<sup>6</sup> Manual de Chile sobre el manejo de Bifenilos Policlorados

**4.1.4.1. Algunas de las sugerencias mas importantes para el uso del Kit Clor-N-Oil son:**

- La prueba trabaja bajo el principio de la detección de Clorinio. Por tanto, la contaminación por sal (Cloridio de Sodio), agua de mar, transpiración (sudor), etc., podrá generar un falso positivo como resultado y será necesaria una prueba de laboratorio.
- Nunca tocar las ampollas, los sostenes adentro de los tubos, o las boquillas de las pipetas, ya que esto puede contaminar la prueba.
- La prueba de Clor-N-Oil no deberá hacerse para muestras que contengan agua.
- Realizar la prueba en área tibia y seca con luz adecuada. En climas fríos, una cabina de auto es suficiente.
- Siempre quiebre las ampollas incoloras en cada uno de los tubos primero. Si esta secuencia no es seguida, detener la prueba inmediatamente y empezar nuevamente usando otro kit completo. Cuando una secuencia de prueba incorrecta es seguida, puede resultar en un falso negativo, el cual puede permitir el paso de una muestra contaminada sin detección.
- Esta prueba es especificada para uso exclusivo con transformadores de aceite a base de petróleo, y no es especificada para probar otro tipo de fluidos.

Su costo promedio en el mercado es de US \$ 9.00.

#### 4.1.5. Analizador L2000 DX

Se utiliza para analizar PCB. Está diseñado para medir el contenido total de cloruro orgánico de los siguientes elementos:

- Aceite de transformador
- Suelo
- Agua

Figura 28. Analizador L2000DX.



Fuente: ETI Environmental Technology International Ltd.  
Instrucciones de Uso del Analizador L2000DX.

Como el aceite no tiene ninguna otra fuente de cloruro orgánico total, se asume que proviene del PCB. En el caso de los otros elementos, se requiere que la muestra sea preparada para aislar el contenido de cloruro orgánico en el cual se desea analizar la presencia de PCB.

Se deben seguir tres pasos para que el Analizador L2000DX determine el contenido total de cloruro orgánico en la muestra a ser analizada:

- Preparación de la muestra
- Conversión a Cloruro Inorgánico
- Cuantificación

La preparación de la muestra se lleva a cabo para convertir el cloruro orgánico en cloruro inorgánico. Por tanto, deben tomarse las medidas apropiadas para evitar toda fuente externa de cloruro inorgánico. Así por ejemplo, para evitar el sudor, se debe utilizar guantes. La conversión a cloruro inorgánico es la misma para todos los elementos.

La muestra reacciona con sodio metálico y luego es extraída y colocada en una solución tampón acuosa. Un electrodo específico para cloruro se usa para cuantificar el cloruro.

Figura 29. El Analizador dentro de su equipo de transporte y demás elementos.



Fuente: ETI Environmental Technology International Ltd.  
Instrucciones de Uso del Analizador L2000DX.

Algunas de sus ventajas son:

- Muestra una lectura mas exacta que el Clor-N-Oil, es decir un número por arriba y por debajo de 50 ppm
- Imprime el resultado
- Puede ser usado para realizar otros análisis

Entre sus desventajas se mencionan las siguientes:

- Puede ser que el aparato no encuentre las mejores condiciones para operar, como por ejemplo la temperatura ambiente.
- Puede dar un resultado falso-positivo, dependiendo de la manipulación de la muestra.

El analizador tiene un costo promedio en el mercado de US \$ 3,800.00.

#### **4.1.6. Cromatografía de gases**

La Cromatografía de Gases (GC) separa los componentes de una mezcla y permite que un detector de captura de electrones detecte cualquier compuesto de cloro, incluyendo PCB. Debido a su tiempo único de retención, los PCB pueden ser seleccionados generalmente de otros compuestos tratados con cloro usando esta técnica.

Figura 30. Cromatógrafo de gases.



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

La descomposición química del aceite no solo se debe a la presencia de oxígeno y agua o a la temperatura, los fenómenos electromagnéticos propios del principio de operación del circuito electromagnético del transformador también proporcionan información. Esta información puede ser de bastante interés ya que la cromatografía nos sirve para saber en realidad el estado del transformador en estudio.

Se recomienda realizar estas pruebas con la frecuencia indicada o aún mayor, en el caso de que se detecten condiciones anormales en el transformador:

- Distribución en Media Tensión (300 a 5000 KVA) - Anual
- Potencia > 5 MVA o Tensión > 34.5 KV - Semestral
- Hornos de Arco Eléctrico - Trimestral
- Tensión > 230 KV - Trimestral o menor

- Puesta en servicio - Al energizarse, 30 a 60 días posteriores a su puesta en servicio y a los 10 meses de puesto en servicio.

La vigilancia constante del comportamiento y tendencias de los gases combustibles, permite anticiparse a posibles condiciones de falla que podrían afectar la integridad del equipo y la garantía en el suministro de energía eléctrica.

Entre sus ventajas están: permite detectar a muy corto plazo y casi de inmediato, según la frecuencia con que se realice, cualquier cambio sufrido por el transformador por causas de operación o alguna posible falla incipiente y resulta ser una valiosísima herramienta para el operador, resultado exacto, identificación del tipo de PCB. La principal de sus desventajas es que tiene un precio bastante elevado y el tiempo de espera para el resultado es largo. Su costo promedio en el mercado es de US \$ 600.

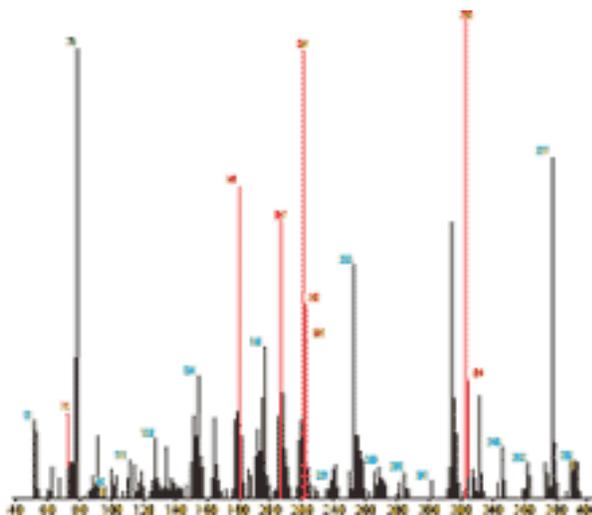
#### **4.1.7. Espectrometría de masas**

La Espectrometría de Masas (MS) es una técnica analítica instrumental de alta sensibilidad capaz de identificar cualitativamente y cuantitativamente, y de forma inequívoca, cualquier tipo de mezclas de sustancias.

El detector de espectro de masas (MSD) es un instrumento que permite analizar con una gran precisión la composición de diferentes elementos químicos e isótopos atómicos, separando los núcleos atómicos en función de su relación masa-carga ( $m/z$ ). Puede utilizarse para identificar los diferentes elementos químicos que forman un compuesto o determinar el contenido isotópico de diferentes elementos en un mismo compuesto. Con frecuencia se encuentra como detector de un cromatógrafo de gases en una técnica híbrida conocida por sus iniciales en inglés como GC-MS.

El detector de espectro de masas (MSD) mide razones carga/masa de iones, calentando un haz de material del compuesto a analizar hasta vaporizarlo e ionizar los diferentes átomos. El haz de iones produce un patrón específico en el detector que permite analizar el compuesto químico.

Figura 31. Resultado de la espectrometría de masas.



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

La interpretación de un espectro de masas se realiza aplicando la siguiente regla: “Una molécula fragmentará en un espectrómetro de masas de manera tal que se formarán los iones más estables”.

#### 4.1.7.1. Aplicaciones

Algunas de las aplicaciones generales de estos equipos son:

- Determinación del peso molecular de compuestos orgánicos volátiles
- Identificación de un compuesto, o un fragmento del mismo mediante su espectro de masas por comparación con librerías
- Análisis cuantitativo de mezclas volátiles

- Determinación de masas exactas de compuestos orgánicos volátiles
- Determinación de policlorodibenzodioxinas (PCDD), policlorodibenzofuranos (PCDF) así como policlorobifenilos (PCB) y policloronaftalenos (PCN) en emisiones procedentes principalmente de fuentes industriales así como de alimentos (leche, carne, etc.) y en animales (gallinas, peces, etc.)

Figura 32. Detector de espectro de masas acoplado aun cromatógrafo de gases.



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

Tabla VIII. Resumen y comparación de métodos de identificación de PCB.

CARACTERISTICAS	METODO			
	CLOR-N-OIL	L2000 DX	CROMATOGRAFIA	ESPECTROMETRO DE MASAS
Principio de funcionamiento	Tubos de ensayo, indicación colorimétrica. Indica presencia de cloro.	Detecta presencia de PCB por medio de un electrodo	Separa los componentes de una mezcla y permite que un detector de captura de electrón detecte cualquier compuesto de cloro, incluyendo PCB	En términos generales, moléculas diversas tienen masas diversas, hecho utilizado por un espectrómetro de masas para determinar qué moléculas están presentes en una muestra
Facilidad de uso	Es muy simple de utilizar	Es un tanto complicado debido al seguimiento de pasos que se le debe dar	Esta prueba se debe realizar en un laboratorio	Esta prueba se debe realizar en un laboratorio
Capacidad requerida	Cualquier personal	Personal capacitado	Expertos en el tema	Expertos en el Tema
Ventajas	Ahorran tiempo, económicas, no dan resultados falsos negativos	Resultado mas exacto, sirve para otros análisis	Resultado exacto	Resultado exacto e inequívoco
Desventajas	Resultados falso positivo	Es de precio elevado en comparación con el Clor-N-Oil	Mayor costo que el kit Clor-N-Oil, tarda en llegar el resultado	Puede ser relativamente de alto costo similar al de la cromatografía de gases
Tiempo de la prueba	10 min	Para la primera muestra: 30 min, debido a la calibración	Da un resultado rápido en laboratorio, lo tardado es el tiempo de viaje de la muestra	Resultado rápido en laboratorio
<b>COSTO</b>	<b>US \$ 9.00</b>	<b>US \$3,800</b>	<b>US \$600.00</b>	<b>**US \$120.00</b>

\*\* Este es un costo aproximado proporcionado por personal del Laboratorio Nacional de Salud

## **4.2. Reemplazo de transformadores**

Actualmente los nuevos transformadores pueden ser de diseño convencional, y aún así, utilizar un fluido dieléctrico sin PCB, o bien tener un diseño completamente nuevo. En el primer caso, al igual que sucede con el relleno, el transformador depende de un fluido que tenga las propiedades dieléctricas adecuadas y que también actúe como agente enfriador, circulando entre las aletas de enfriamiento.

En el segundo caso, la nueva tecnología implica que los transformadores pueden ser, en el interior, bastante diferentes de los transformadores convencionales. Por lo regular estos transformadores son secos, es decir que no contienen ningún dieléctrico líquido.<sup>7</sup>

Los precios de los equipos eléctricos (transformadores) varían según la potencia o la marca de fabricación. Los costos promedios en el mercado van desde US \$1,055.00 para un transformador de distribución de 10 KVA hasta US \$6,700.00 para un transformador de distribución de 250 KVA, y de US \$134,000.00 para un transformador de potencia de 7,000 KVA hasta US \$214,000.00 para un transformador de potencia de 14,000 KVA.

## **4.3. Almacenamiento**

Las condiciones de almacenamiento fueron descritas anteriormente en el Capítulo dos.

---

<sup>7</sup> Transformadores y Condensadores con PCB: desde la gestión hasta la reclasificación y eliminación. PNUMA.

A continuación se dará el costo total de una bodega de concreto para 1 transformador de distribución de 1m\*1m con puerta de metal, contenedor por algún derrame, malla para delimitar el área. Su costo promedio es de: Q4376.00 aprox. US \$560.00.

Para un transformador de potencia de 10 MVA se necesita 1 bodega de 5m\*5m, cuyo costo es de Q 18,622.00 aprox. US \$2,380.00.

#### 4.4. Exportación

Dado que en Guatemala no existen empresas encargadas de la destrucción o eliminación de equipos contaminados o fabricados con PCB, se deben considerar las alternativas de empresas transnacionales que presenta el servicio de embalaje, transporte y eliminación.

A continuación se dan algunos de los gastos incurridos en el transporte de un contenedor de 1x20m desde Guatemala a Europa:

Flete marítimo	US \$ 3,200.00
BAF	US \$ 270.00
Sobrecargo por Desechos peligrosos	US \$ 450.00
Sobrecargo Panamá Canal	US \$ 155.00
Sobrecargo Seguridad	US \$ 6.00
Documentación en el origen	US \$ 65.00
Certificación Gobierno	US \$ 12.00
Documentación en el Destino	US \$ 60.00
THC Destino	US \$ 150.00
Cuota de Manejo	<u>US \$ 200.00</u>
<b>TOTAL</b>	<b>US \$ 4,568.00</b>

## 4.5. Eliminación

Si se detecta la presencia de PCB en un transformador, lo que obliga a reclasificarlo como “transformador con PCB”, y si además se ha descartado la posibilidad de rellenarlo, el problema que habrá que resolver será cómo eliminar este equipo. El principal problema relacionado con la eliminación de un transformador es saber qué tecnologías existen para ello.

La destrucción de los PCB exige que se rompan los enlaces moleculares mediante una aportación de energía térmica o química. Uno de los métodos más confiables es el de la incineración.

La empresa TREDI, firma Francesa que se dedica a la disposición final de desechos peligrosos, entre estos PCB, tiene los siguientes precios:

- US \$ 3,500.00 por tonelada para disposición de toneles con aceite
- US \$ 4,200.00 por tonelada para disposición final en la empresa equipo con aceite, mayores de 500 ppm
- US \$ 6,000.00 por tonelada para capacitores

Con respecto a datos de PNUMA, se tiene:

Tabla IX. Costos según PNUMA.

DESCRIPCION	COSTO
Costos de transporte y destrucción de líquidos de PCB	US \$ 2.5 / Kg
Costos de descontaminación de cascos de equipos Contaminados	US \$ 0.8/ Kg
Transporte y eliminación de equipo con PCB > 500 ppm	US \$ 4.2/ Kg

Fuente: Programa de Las Naciones Unidas para el Medio Ambiente.

## 4.6. Estudio de caso 1

### 4.6.1. Situación

En el Marco del Proyecto Nacional de Inventario de equipos eléctricos con PCB, liderado por el MARN, se sabe que la Empresa Eléctrica Municipal de San Marcos, cuenta con 17 transformadores antiguos en desuso a los cuales se les realizó análisis con el kit Clor-N-Oil y cuyos resultados fueron 13 con concentraciones arriba de 50 ppm y 4 con concentraciones por debajo de 50 ppm. Los datos de los transformadores encontrados se encuentran detallados en el Anexo.

Figura 33. Transformadores con PCB en la Empresa Eléctrica de San Marcos.



Fuente: Proyecto PCB Guatemala.

### 4.6.2. Costos de identificación

17 transformadores \* US \$9.00 Clor-N-Oil = US \$153.00

Resultados: 4 transformadores negativos, descartados del inventario ya que los kits Clor-N-Oil no dan resultado falso-negativo, es decir que los que dan resultado negativo, son en realidad negativos.

A los 13 restantes se les realiza la Cromatografía, para corroborar el contenido de PCB.

13 transformadores \* US \$600.00 Cromatografía = US \$7,800.00

#### **4.6.3. Escenario 1**

Suponiendo que los kits fueron efectivos y que los datos obtenidos coinciden con la cromatografía de gases, entonces tenemos 13 transformadores con contenido de PCB > 50 ppm, a los cuales se les debe dar la gestión adecuada.

Los costos totales de identificación son: \$ 7,953.00 (costo de prueba con Clor-N-Oil + Cromatografía).

##### **4.6.3.1. Costos de reemplazo**

Los transformadores de las empresas eléctricas municipales son de distribución, por lo tanto su potencia varia entre 10 KVA – 75 KVA, entonces vamos a colocar los costos de estos 13 transformadores que se encontraron contaminados con PCB. Los precios siguientes son los precios promedio en el mercado:

2 transformadores de 15 KVA * US \$1,055	=	US \$ 2,110.00
1 transformador de 25 KVA * US \$ 2,235	=	US \$ 2,235.00
10 transformadores de 50 KVA * US \$ 3,040	=	<u>US \$ 30,400.00</u>
<b>Total</b>		<b>US \$ 34,745.00</b>

#### **4.6.3.2. Costos de almacenamiento**

Los transformadores deben ser almacenados adecuadamente hasta que se tenga la empresa contactada para la eliminación, que será la encargada de llevarse el equipo del país. Haciendo una interpolación entre los costos obtenidos anteriormente para una bodega de 5m\*5m y para una de 1m\*1m, y suponiendo que las nuevas dimensiones de la bodega para la empresa eléctrica sean de 4m\*4m, entonces tendremos que para los 13 transformadores su costo promedio de almacenamiento sería de: US \$1,820.00.

#### **4.6.3.3. Costos de exportación**

Estos costos son los que aparecen anteriormente, y se supondrá que los 13 transformadores pueden ir en un contenedor. El costo total es de: US \$ 4,568.00.

#### **4.6.3.4. Costos de eliminación**

Para poder realizar los costos de eliminación tenemos que tener el aproximado en peso en kilogramos de los equipos. Estos datos se encuentran en el Anexo.

$$6345 \text{ kg} = 6 \text{ ton}$$

$$6 \text{ ton} * \text{US } \$ 4,200.00 = \text{US } \$ 25,200.00$$

De la información obtenida de los encargados de mantenimiento de la empresa eléctrica municipal de San Marcos durante la realización del proyecto nacional de inventario de PCB liderado por el MARN.

Se sabe que cuentan con 100 transformadores conectados a la red eléctrica cuyo contenido de PCB es desconocido, esto debido a que, según ellos, estos transformadores están instalados desde hace aproximadamente 20 años y aun no se han cambiado.

Si se analizan los 100 transformadores con el kit Clor-N-Oil, y suponiendo en primera instancia que los 100 transformadores son negativos, entonces los costos totales para la Empresa Eléctrica en la gestión de sus transformadores sería de:  $US \$ 74,286.00 + (100 * US \$ 9.00) = US \$ 75,186.00$ .

#### **4.6.4. Escenario 2**

Se realiza la prueba a los 100 transformadores. Si de estos 100 transformadores suponemos que 13 transformadores obtuvieron resultados > 50 ppm. También se les realiza la cromatografía de gases y los 13 son positivos, entonces los costos de Gestión aumentarían aproximadamente al doble de los iniciales:  $US \$ 149,436.00$ .

#### **4.6.5. Escenario 3**

De los 100 transformadores, 52 resultan positivos, los costos aumentarían aproximadamente 4 veces:  $US \$ 297,936.00$ .

#### **4.6.6. Escenario 4**

De los 100 transformadores, 91 resultan positivos, los costos aumentarían aproximadamente 7 veces:  $US \$ 520,686.00$ .

Esto nos lleva a la conclusión de que mientras mayor sea el número de transformadores contaminados con PCB, mayor será el costo en el que se incurrirá, como se muestra a continuación:

Tabla X. Resumen de los costos totales de la Gestión de los PCB en la Empresa Eléctrica Municipal de San Marcos.

<b>CONCEPTO</b>	<b>COSTOS ESCENARIO 1</b>	<b>COSTOS ESCENARIO 2</b>	<b>COSTOS ESCENARIO 3</b>	<b>COSTOS ESCENARIO 4</b>
Identificación con Clor-N-Oil y cromatografía	\$7,953.00	\$15,870.00	\$31,704.00	\$55,455.00
Identificación de 100 Transformadores	\$900.00	\$900.00	\$900.00	\$900.00
Reemplazo	\$34,745.00	\$69,490.00	\$138,980.00	\$243,215.00
Almacenamiento	\$1,820.00	\$3,640.00	\$7,280.00	\$12,740.00
Transporte	\$4,568.00	\$9,136.00	\$18,272.00	\$31,976.00
Eliminación	\$25,200.00	\$50,400.00	\$100,800.00	\$176,400.00
<b>TOTAL</b>	<b>\$75,186.00</b>	<b>\$149,436.00</b>	<b>\$297,936.00</b>	<b>\$520,686.00</b>

#### 4.7. Costos de la estrategia nacional de acción

Todas las actividades consideradas necesarias e importantes a realizar, respecto de líneas de acción definidas, a corto, mediano y largo plazo, en base a las necesidades identificadas durante la realización del inventario preliminar de PCB en Guatemala tendrán un costo. A continuación se presenta una estimación del costo total:

Tabla XI. Costos de la Estrategia Nacional de Acción.

LÍNEA DE TRABAJO	ACTIVIDADES	TIEMPO	FONDOS	
			FUENTE	MONTO (US \$)
1. Regulación	1.1 Elaborar y/o revisar y entregar para su aprobación una propuesta de regulación para el manejo ambientalmente racional de PCB en Guatemala, estableciendo los lineamientos técnicos y legales para cada una de las etapas del ciclo de vida de los aceites dieléctricos, equipos y desechos que los contengan	8 meses	MARN CNC	5,000
	1.2 Consensuar y adaptar la propuesta de regulación	10 meses	MARN CNC Cooperación Externa	8,000
	1.3 Planificar y ejecutar un programa de divulgación de la propuesta regulatoria y capacitación para su implementación	24 meses	MARN CNC Cooperación Externa	16,000
	1.4 Elaborar, revisar e implementar los instrumentos necesarios para la operativización de la regulación	30 meses	MARN CNC Cooperación Externa	12,000

<p>2. Ciclo de vida de los PCB: 2.1 Identificación</p>	<p>2.1.1 Establecer la obligatoriedad de identificación y declaración de posesión de equipos, aceites o sitios contaminados con PCB, estableciendo un mecanismo de declaración física y electrónica y la integración de este requisito en la presentación de cualquier instrumento de evaluación ambiental al MARN</p>	4 meses	MARN CNC	2,000
	<p>2.1.2 Implantar la base de datos del Inventario Nacional de PCB en el Sistema de Información Ambiental del MARN, estableciendo un mecanismo de actualización semestral</p>	1 mes	MARN	800
	<p>2.1.3 Establecer, implementar y controlar el cumplimiento de la obligatoriedad de realizar análisis para determinación de Cloro (Clor-n-Oil) como primer indicador de presencia de PCB, antes de cualquier practica de mantenimiento o intervención de transformadores o condensadores en donde se manipule el aceite dieléctrico que contengan</p>	4 meses	MARN Cooperación Externa	7,500
	<p>2.1.4 Fortalecer la capacidad desarrollada en el MARN y el CNC en el análisis e identificación de equipos, aceites, desechos y sitios contaminados con PCB, estableciendo un mecanismo autofinanciable específico para: realizar análisis que verifique o complemente la identificación así como para etiquetar equipos, aceites, desechos o sitios contaminados</p>	8 meses	MARN Cooperación Externa	2,500

	2.1.5 Promover y apoyar el desarrollo de capacidad instalada para análisis de PCB en el país	Permanente e indefinido	MARN CNC Sector Privado Cooperación	3,000
	2.1.6 Realizar una investigación para determinar uso de la chatarra, aceites dieléctricos, desechos y otros contaminados o no con PCB, por parte de quienes lo recolectan y comercializan en el país	12 meses	MARN CNC Cooperación	5,000
2. Ciclo de vida de los PCB: 2.2 Almacenamiento	2.2.1 Definir la localización y el diseño de los sitios para el almacenamiento ambientalmente racional de PCB, bajo las siguientes condiciones: <b>INDE:</b> un almacenamiento o varios para concentrar sus propias existencias, de acuerdo a su necesidad y conveniencia <b>UNION FENOSA:</b> un almacenamiento o varios (Centro de Manejo de Residuos), para sus propias existencias, localizados según su necesidad y conveniencia <b>EEGSA:</b> pendiente porque aparentemente no tiene nada que almacenar <b>EEM:</b> un sitio en cada empresa dentro de instalaciones propias reacondicionadas <b>Usuarios Individuales:</b> un sitio por cada usuario dentro de su propiedad	14 meses	Propietarios de los Equipos	10,000
	2.2.2 Apoyar y controlar la construcción y operación de los sitios de almacenamiento definidos	Permanente e indefinido	MARN CNC Propietarios de los Equipos Cooperación	500,000

2. Ciclo de vida de los PCB: 2.3 Transporte	2.3.1 Realizar una evaluación sobre la capacidad nacional para el transporte ambientalmente racional de PCB	5 meses	CNC Cooperación	10,000
	2.3.2 Establecer un registro de empresas prestadoras de servicio de transporte con capacidad de transportar PCB	7 meses	MARN Cooperación	5,000
	2.3.2 Promover el desarrollo de capacidad instalada y especializada para el transporte de PCB en el país.	Permanente e indefinido	MARN Cooperación	4,500
	2.3.4 Establecer, implementar y vigilar mecanismos de control para el transporte ambientalmente racional de PCB	Permanente e indefinido	MARN CNC Cooperación	8,000
2. Ciclo de vida de los PCB: 2.4 Eliminación	2.4.1 Realizar una evaluación sobre la capacidad nacional e internacional disponible y accesible para la eliminación ambientalmente racional de los PCB identificados	5 meses	MARN CNC Cooperación	10,000
	2.4.2 Establecer, institucionalizar e implementar los procedimientos nacionales e internacionales para la eliminación ambientalmente racional de los PCB identificados	12 meses	MARN CNC Cooperación	10,000
	2.4.3 Elaborar una planificación para la eliminación de los PCB identificados	5 meses	MARN CNC Propietarios de los Equipos Cooperación	4,000
	2.4.4 Gestionar recursos económicos para apoyar la eliminación ambientalmente racional de los PCB identificados	Permanente e indefinido	MARN CNC	5,000

	2.4.5 Ejecutar y controlar la eliminación planificada	Permanente e indefinido	MARN CNC Propietarios de los Equipos Cooperación	10,000,000
2. Ciclo de vida de los PCB: 2.5 Descontaminación de sitios contaminados	2.5.1 Realizar una evaluación sobre la capacidad nacional para la descontaminación ambientalmente racional de PCB	5 meses	MARN CNC Cooperación	10,000
	2.5.2 Identificar, geoposicionar y dimensionar los sitios contaminados que deben ser atendidos	36 meses	MARN Cooperación	15,000
	2.5.3 Elaborar una planificación para la descontaminación de los sitios contaminados con PCB identificados	6 meses	MARN CNC Propietarios de los sitios contaminados Cooperación	4,000
	2.5.4 Gestionar recursos económicos para apoyar la descontaminación ambientalmente racional de sitios contaminados con PCB	Permanente e indefinido	MARN CNC Cooperación	5,000
	2.5.5 Ejecutar y controlar la descontaminación de sitios planificada	Permanente e indefinido	MARN CNC Propietarios de los sitios contaminados Cooperación	2,000,000
3. Construcción de capacidades nacionales	3.1 Crear, instrumentalizar y operativizar un Comité Nacional de Coordinación (CNC) para el Manejo Ambientalmente Racional de PCB en Guatemala a partir del Comité de Coordinación del Proyecto de Inventario de PCB	6 meses	MARN CNC Cooperación	10,000

	3.2 Diseñar, elaborar, planificar, instrumentalizar, poner en marcha y controlar un(unos) programa(s) de capacitación y concienciación permanente y periódico sobre el manejo ambientalmente racional de PCB para los sectores público, privado, municipal y académico, de acuerdo a las necesidades identificadas	60 meses	MARN CNC Cooperación	25,000
	3.3 Diseñar, ejecutar y controlar un programa de capacitación para personal de vigilancia para el cumplimiento de la legislación y otros instrumentos sobre el manejo ambientalmente racional de PCB	72 meses	MARN CNC Cooperación	12,000
	3.4 Realizar una investigación de riesgo en salud por el manejo inadecuado de aceites dieléctricos con PCB	24 meses	MARN CNC Cooperación	13,000
<b>TOTAL:</b>				<b>12,722,300</b>

Fuente: Plan Nacional de Acción.



## **5. LABORATORIO NACIONAL DE SALUD: UNA OPCIÓN PARA ANALIZAR CONTENIDO DE PCB**

Es la unidad típica especializada responsable de efectuar los análisis físicos, químicos y microbiológicos necesarios en la evaluación de la conformidad requerida para el registro sanitario de referencia de los alimentos, medicamentos y productos afines, así como servir de apoyo en la inspección sanitaria de los mismos. Además sirve de laboratorio nacional de referencia en el diagnóstico de enfermedades humanas, animales, vegetales, agrícolas y ambientales. Pertenece al Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social.

### **5.1. Ubicación**

Se encuentra ubicado en el km 22, Carretera al Pacífico, Barcenás Villa Nueva, Guatemala, dentro de las instalaciones del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación.

### **5.2. Misión**

Comprobar científicamente la existencia o no, de agentes etiológicos o contaminantes con riesgo biológico, físico o químico que afectan la salud pública, la producción agropecuaria y el medio ambiente, verificando a la vez su calidad, inocuidad y seguridad.

### **5.3. Visión**

El Laboratorio Nacional de Salud trabajando en forma integral con personal, equipos e instalaciones con capacidad para realizar el diagnóstico y análisis que requiere el país para la protección de la salud pública, agropecuaria y medio ambiente, con gestión de calidad de acuerdo a las normas internacionales ISO (International Standard Organization).

### **5.4. Funciones**

- Efectuar los análisis físicos, químicos y microbiológicos necesarios en la evaluación de la conformidad requerida para el registro sanitario de referencia de los alimentos, medicamentos y productos afines
- Servir de apoyo en la inspección sanitaria de los otros departamentos de la Dirección General de Regulación, Vigilancia y Control de la Salud
- Servir de laboratorio de referencia nacional, dentro del ámbito de su competencia
- Desarrollar investigaciones básicas y operacionales en su campo y desarrollar programas de formación capacitando recursos humanos en salud de acuerdo a sus características

### **5.5. Capacidad tecnológica para analizar PCB**

Hasta la fecha no se han hecho análisis de PCB, porque el Laboratorio no cuenta con el estándar de referencia necesario ni la Metodología de Análisis. Sin embargo posee los analizadores electrónicos necesarios para realizarlo.

Según el personal del laboratorio, se puede iniciar el análisis luego de cumplir los requisitos necesarios. Dicho personal afirma que en este sentido el país cuenta con la instrumentación y el equipo adecuado.

### 5.5.1. Procedimiento para iniciar el análisis

Para iniciar el análisis de PCB en el laboratorio se necesita realizar 4 pasos esenciales:

#### 5.5.1.1. Obtener la metodología de análisis

La metodología de análisis consiste en una serie de compuestos químicos que se agregan en una secuencia determinada a la muestra que se va a analizar para dejarla lo mas limpia y clara posible. De esta forma puede ser introducida en los analizadores. Esto se hace debido a que no se puede introducir la muestra en estado puro, ya que produciría un deterioro irreversible del aparato.

Tabla XII. Normas de Análisis para PCB.

<b>METODOLOGÍA</b>	<b>NORMA</b>
Standard Test Method for Analysis of PCB in Liquids by GC	ASTM D 4059-00
Standard Practices for Sampling Electrical Insulating Liquids	ASTM D 923-97
Standard Test Method for PCB (in Water)	ASTM D 3534-85 (1995)
PCB in Transformer Oil Screening Test	EPA 9079/96
PCB in Transformer Fluid and Waste Oils	EPA 600/4-81-045
PCB in Soil Screening Test	EPA 9078/96
PCB by GC	EPA 8082A/99
PCB by Cap Column GC	EPA 8082/96
PCB in Water, Soil- Isotope Dilution HRGC/HRMS	EPA 1668/97- 821/R-97-001
PCB Screening by Immunoassay	EPA 4020/96
PCB Screening by perchlorination & GC	EPA 0508A/89

#### **5.5.1.2. Obtener el estándar de referencia certificado**

El estándar de referencia es un compuesto químico que viene con una certificación de aprobación por parte de la casa de fabricación y de la Agencia de Protección del Ambiente (EPA), el cual se usa como patrón de referencia para comparar las muestras que se van a analizar. En este caso se necesita un estándar de referencia de PCB.

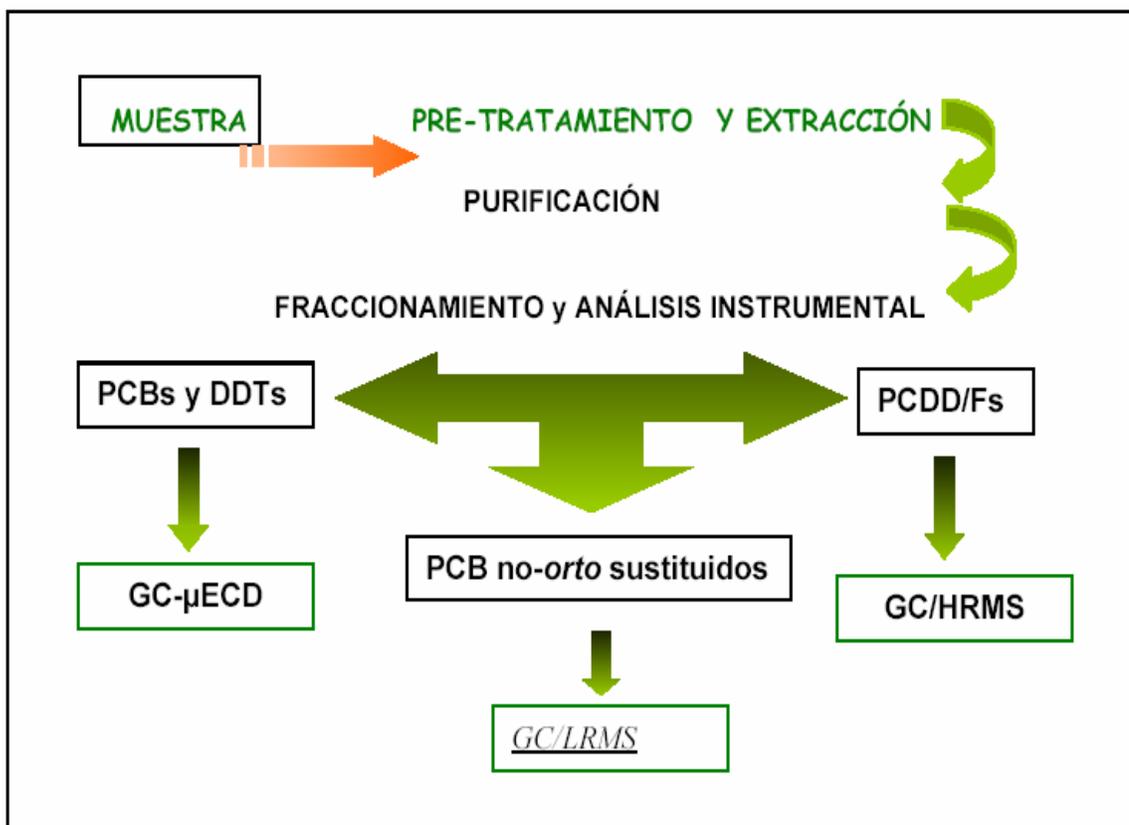
#### **5.5.1.3. Calcular la demanda de análisis de PCB**

Se necesita hacer un estudio de la demanda que tendrá este servicio por parte del laboratorio. Es decir, se necesita saber cuantos y que clase de usuarios lo demandarían, con qué frecuencia y que tipo de muestras se analizarían. El análisis puede tardar entre uno y dos días, según la metodología de análisis empleada.

#### **5.5.1.4. Estimado del costo de análisis**

Se debe hacer un cálculo de los costos que implicaría el análisis de PCB, según la metodología de análisis, los estándares de referencia, la instrumentación del Laboratorio y la preparación de los equipos electrónicos. Un precio aproximado proporcionado por personal del laboratorio es de Q 1,000.00, aunque pudiera ser menor.

Figura 34. Metodología de análisis.



### 5.5.2. Equipo electrónico para realizar cromatografía de gases y espectrometría de masas

El procesamiento de los datos se lleva a cabo en computadoras operando bajo ambientes Windows con programas especializados, los cuales permiten visualizar la presencia de los componentes químicos. Estas visualizaciones pueden fácilmente imprimirse para presentar un informe sobre el análisis.

Los aparatos electrónicos analizan las muestras e imprimen un resultado llamado cromatograma. En él se encuentran una serie de gráficos y datos que los especialistas interpretan para determinar el contenido de las diferentes sustancias químicas en la muestra analizada. Para determinar si la muestra contiene PCB o no, se debe comparar el cromatograma obtenido con otro cromatograma que se obtiene del llamado estándar de referencia.

El Laboratorio cuenta con una serie de analizadores electrónicos los cuales pueden realizar muchas tareas específicas, pero los necesarios para análisis de PCB se describirán a continuación:

#### **5.5.2.1. Cromatografía de gases**

El modelo usado en el laboratorio es el Cromatógrafo de Gases Agilent 6890 GC acoplado a un Detector de Captura de Electrones Agilent ECD.

Figura 35. Cromatógrafo de gases acoplado a un detector de captura de electrones.



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

### 5.5.2.2. Espectrometría de masas

El laboratorio cuenta con el Cromatógrafo de Gases Agilent 6890N GC acoplado a un Detector de Espectro de Masas Agilent 5973 MSD.

Figura 36. Cromatógrafo de gases acoplado a un detector de espectro de masas  
Y a un detector de captura de electrones.



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



## CONCLUSIONES

1. Los Bifenilos Policlorados representan la creación de una nueva sustancia química con características sin precedentes, ideal para aplicaciones industriales. Cabe señalar que, además de utilizarse en transformadores y condensadores eléctricos, están presentes en muchos otros productos: barnices, parafinas, resinas sintéticas, pinturas epóxicas y marinas, recubrimientos, lubricantes para corte, fluidos para intercambiador de calor, fluidos hidráulicos, etc.
2. El mayor problema en el país relacionado con el manejo de PCB, es el desconocimiento y la falta de concientización de la población, respecto del riesgo y la peligrosidad de la sustancia a la salud y al ambiente. Esto implica dificultad a transmitir la información, como también una falta de compromiso para planificar e implementar medidas, para el manejo adecuado de los equipos contaminados, por parte de sus propietarios.
3. Más del 90 % de los transformadores eléctricos del país son equipos de distribución, los cuales se encuentran colocados en la red eléctrica nacional, y que por lo tanto, al no existir registros con información que oriente sobre la posible contaminación de estos con PCB, no pueden ser inventariados en el corto ni mediano plazo.
4. Es necesario priorizar acciones en términos de exposición y riesgo a la salud ambiental, y no solamente atendiendo a la cantidad de aceite dieléctrico contaminado con PCB encontrado. Por ello, las Empresas Eléctricas Municipales deben considerarse con alta prioridad.

5. Los equipos eléctricos fabricados de 1986 hacia atrás son candidatos potenciales a estar contaminados. Los equipos eléctricos que no han sido analizados deben manejarse como si se tratara de equipos contaminados.
6. El kit Clor-N-Oil no produce resultado falso-negativo, es decir si un transformador produce resultado negativo, es 100% negativo y no se debe tener duda de ello. Si produce resultado positivo, para efectos de inventario y por disposición del PNUMA, el resultado es tomado como contaminado con PCB, pero pudiera tratarse de un resultado falso-positivo, dependiendo de la manipulación de la muestra (se ha contaminado con sudor, sal, etc).
7. Existe la posibilidad de implementar el análisis de PCB en aceite de transformadores en el Laboratorio Nacional de Salud, ya que cuenta con el equipo tecnológico necesario, a excepción del estándar de referencia y la metodología de análisis.
8. La Superintendencia de Administración Tributaria (SAT) es la institución encargada de velar porque no exista el comercio ilegal de sustancias o equipos contaminados. A la vez, no debe permitir el ingreso de tales sustancias o equipos al territorio nacional.
9. Debido a la falta de una regulación y legislación adecuada, concerniente a los bifenilos policlorados, se ha hecho una investigación de la situación nacional y en base a lineamientos técnicos se ha propuesto el modelo de normativa en este trabajo de graduación.

## RECOMENDACIONES

1. Como suele pasar, el hombre crea cosas nuevas para su beneficio, pero muchas de ellas pueden afectarlo negativamente pasado cierto tiempo, cuando empiezan a manifestarse ciertos efectos. Es hasta ahí que se toman las medidas adecuadas para tratar de revertir esos efectos y tratar de reparar lo dañado. La creación de los bifenilos policlorados como una sustancia química ideal para uso industrial, en realidad fue una idea excelente. El problema radica en su mala utilización y manipulación. Por ejemplo, en aplicaciones abiertas como los barnices y las pinturas epóxicas, la contaminación se transfirió hacia el ambiente y no hay manera de revertirla. Pero aún queda una gran cantidad de bifenilos policlorados alrededor del mundo que deben ser eliminados. Ahora que se ha descubierto el gran peligro que representa tal sustancia debemos aprender como manipularla correctamente.
2. Las instituciones encargadas de lo concerniente al Medio Ambiente como el MARN, deben propiciar la participación de todos los sectores involucrados. Deben valerse de todos los medios posibles para hacer llegar la información hacia la población, promocionando capacitaciones, material didáctico, y a través de los medios electrónicos.
3. El Comité Nacional de Coordinación deberá crear un plan de comunicación permanente con los poseedores de equipos que se encuentran conectados, para que en el momento que decidan retirarse del servicio, se puedan analizar. Esta medida requiere de mucho control.

4. Como se mencionó anteriormente, el Comité Nacional de Coordinación deberá establecer un plan de comunicación permanente y solicitar toda la información necesaria por parte de los Gerentes de las Empresas Eléctricas Municipales, ya que son éstas las de mayor riesgo.
5. Los poseedores de equipos que no han sido analizados deberán crear capacitaciones para que sus trabajadores conozcan el riesgo que presentan. Deberán conocer lineamientos técnicos para manipularlos adecuadamente como si se tratara de equipos que se encuentran contaminados.
6. Debido a que la prueba con el kit Clor-N-Oil puede generar resultados falso-positivo, se recomienda que luego de dicha prueba, el resultado se confirme a través de un análisis de cromatografía de gases o espectrometría de masas.
7. Para que se llegue a implementar el análisis de PCB en transformadores en el Laboratorio Nacional de Salud, será necesario que se le de el seguimiento correspondiente por parte del Comité Nacional de Coordinación y los actores interesados.
8. La Superintendencia de Administración Tributaria (SAT) deberá ejercer un estricto control sobre las aduanas, puertos marítimos y aeropuertos del país, valiéndose de inspectores especializados. Los individuos que generen comercio ilegal de sustancias o equipos contaminados deberán ser consignados a los tribunales de justicia para imponerles las sanciones correspondientes.

9. La normativa será presentada ante el Comité Nacional de Coordinación para su evaluación. Deberá revisarse minuciosamente para encontrar posibles vacíos y errores. Toda corrección servirá para su mejoramiento y optimización, así como para un mejor campo de aplicación.



## BIBLIOGRAFÍA

1. Chapman Stephen. Máquinas Eléctricas. Segunda Edición. México. Editorial Mc Graw Hill, 1990.
2. Comisión Nacional de Ambiente de Chile/PNUMA. Manual de Chile sobre el manejo de Bifenilos Policlorados. Santiago de Chile, 2,004.
3. Consejo de la Unión Europea. Directiva 96/59/CE relativa a la eliminación de los Policlorobifenilos y de los Policloroterfenilos (PCB/PCT). Bruselas, septiembre 1996.
4. Dexsil Corporation. Instrutions for Clor-N-Oil 50 PCB Screening Kit. Connecticut, USA, Marzo 2004. Suiza, junio 2006.
5. Empresa Eléctrica de Guatemala. Norma de transformadores monofásicos sumergidos en aceite para distribución en baja tensión: convencionales y autoprotegidos (Resolución 31-2000), 31 de mayo 2000.
6. ETI Environmental Technology International Ltd. Instrucciones de Uso del Analizador L2000DX.
7. Facultad de Ciencias Químicas y Farmacéuticas - Universidad de Chile. Compuestos Aromáticos. Santiago de Chile, 3 de noviembre 2,002.
8. Fitzgerald, A.E., C. Kingsley, Jr., and S.D. Umans. Electric Machinery. Quinta edición. Editorial Mc Graw Hill, New York, 1990.
9. Laboratorio Nacional de Salud. [www.mspas.gob.gt](http://www.mspas.gob.gt).
10. Licda. Diana Lucila Vásquez Dávila. Análisis de la Normativa Nacional existente relacionada con los Bifenilos Policlorados (PCB). Guatemala, febrero 2006.
11. Inga. Guillermina Cortez. Plan Nacional de Acción para el manejo ambientalmente racional de bifenilos policlorados (PCB). Guatemala, 30 de agosto 2006.
12. Ing. Diego Luis Aguirre Pérez. ABB - Mantenimiento de Transformadores de Potencia. Guatemala, abril 2006.

13. Martín, José Raúl. Diseño de Subestaciones Eléctricas. Segunda Edición. México. UNAM, 2000.
14. Ministerio de Ambiente de Colombia. Manual de manejo de PCB para Colombia 1,999.
15. Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. Manual de manejo para PCB. Guatemala, octubre 2006.
16. Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente, Ministerio de la Industria Básica. Guía para el Manejo de Bifenilos Policlorados (PCB). Cuba, marzo 2006.
17. Ministerio de Medio Ambiente. Resolución 7512 - Plan Nacional de Descontaminación y Eliminación de Policlorobifenilos (PCB), Policloroterfenilos (PCT) y Aparatos que los contengan. España, abril 2001.
18. Ministerio de la Presidencia. Real Decreto 1378/1999 - Medidas para la eliminación y gestión de los Policlorobifenilos, Policloroterfenilos y aparatos que los contengan. España, agosto 1999.
19. PNUMA. Transformadores y condensadores con PCB: desde la gestión hasta la reclasificación y eliminación. Guatemala, mayo 2,002.
20. Secretaría de Ambiente y Desarrollo sustentable. Ministerio de Desarrollo Social. Resolución SayDs No. 249/2002. Argentina, mayo 2002.
21. Secretaría del Convenio de Basilea / Programa de Las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Preparación de un Plan Nacional de manejo ambientalmente adecuado de los Bifenilos Policlorados (PCB) y de equipos contaminados con PCB. Internacional Environment House. Suiza, marzo 2003.
22. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Norma Oficial Mexicana NOM-133-ECOL-200, Protección Ambiental - Bifenilos Policlorados (BPC's) -Especificaciones de Manejo. México, abril 2003.
23. UNEP CHEMICALS. Compilation of PCB Transformer Manufacturers. Enero 2006.

## **APÉNDICE**



## APÉNDICE

### TABLA DE RESULTADOS DE EQUIPOS ELECTRICOS DE LA EMPRESA ELÉCTRICA MUNICIPAL DE SAN MARCOS

Potencia	Marca	Masa Aceite (Kg.)	Masa Total (Kg.)	Año de fabricación	Resultado
50KVA	Alsthom Saint	150	500	1957	Contiene PCB
50KVA	Alsthom Saint	150	500	1957	Contiene PCB
50KVA	No especifica	171	570	1960	Contiene PCB
50KVA	No especifica	171	570	1960	Contiene PCB
50KVA	No especifica	171	570	1960	Contiene PCB
50KVA	No especifica	171	570	1960	Contiene PCB
50KVA	No especifica	171	570	1960	Contiene PCB
50KVA	No especifica	171	570	1960	Contiene PCB
50KVA	No especifica	171	570	1960	Contiene PCB
50KVA	No especifica	171	570	No especifica	Contiene PCB
15KVA	No especifica	62	205	No especifica	Contiene PCB
25KVA	No especifica	87	290	No especifica	Contiene PCB
25KVA	No especifica	87	290	No especifica	Contiene PCB
50KVA	No especifica	171	570	No especifica	Contiene PCB
25KVA	No especifica	52	174	No especifica	No PCB
250KVA	No especifica	325	1083	No especifica	No PCB
250KVA	No especifica	325	1083	No especifica	No PCB
250KVA	No especifica	325	1083	No especifica	No PCB
Masa Total de Aceite con PCB			1904 Kg.		
Masa Total de Equipos con PCB			6345 Kg.		

#### Observaciones:

Mediante análisis al aceite dieléctrico con el kit Clor-N-Oil se detectó presencia de PCB arriba de 50 ppm en 13 de los 17 transformadores en desuso almacenados en bodega y en predio municipal. Aún existen según el encargado de la Empresa Eléctrica Municipal, 100 transformadores susceptibles de contener PCB, ya que fueron fabricados en los años 80.



## **ANEXOS**



## ANEXO 1

### INSTRUCCIONES DE USO PARA EL KIT CLOR-N-OIL 50



#### Contenido de cada kit

1. Tubo 1: Un tubo plástico de ensayo con tapadera negra y boquilla dispensadora, el cual contiene una ampolla gris (parte superior) y una ampolla con un punto azul (parte inferior).



2. Tubo 2: Un tubo plástico de ensayo con tapadera blanca conteniendo 7 ml de solución buffer, una ampolla con un punto blanco (parte inferior) y una ampolla roja y verde (parte superior).



3. Una pipeta plástica.

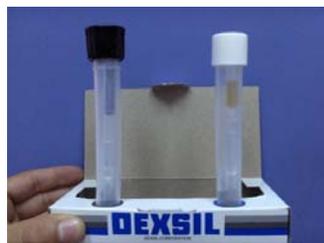


4. Una ampolla de vidrio contenida en un empaque de cartón y un tubo plástico etiquetada como “Disposal Ampule” (ampolla de disposición).



### Modo de empleo

1. **Colocación:** Extraer el contenido de la caja. Verificar que contenga todos los elementos mencionados y que se encuentren intactos. Colocar los dos tubos plásticos en los sostenedores que se encuentran en el frente de la caja.



2. **Preparación:** Desenroscar la tapadera negra con boquilla dispensadora del tubo no. 1. Usando la pipeta plástica, verter exactamente 5 ml (arriba de la línea) del aceite del transformador que se va a analizar a dicho tubo.



3. **Reacción:** Quebrar la parte inferior donde está la ampolla coloreada con un punto azul oprimiendo los lados del tubo. Agitar vigorosamente hasta lograr una mezcla por encima de 10 segundos. Quebrar la parte superior del tubo donde está la ampolla gris y agitar vigorosamente por encima de 10 segundos. Observar que en primer lugar se quiebra la ampolla incolora, en segundo lugar la gris. Permitir el procedimiento de reacción por un tiempo adicional de 50 segundos (total de un minuto), mientras se agita intermitentemente varias veces.





4. **Extracción:** Quitar las tapaderas de ambos tubos y pasar la solución buffer del tubo no. 2 (tapadera blanca) al tubo no. 1. Colocar nuevamente la tapadera negra al tubo no. 1 y agitar vigorosamente por encima de 10 segundos. Ventilar el tubo cuidadosamente levantando parcialmente la boquilla dispensadora de la tapadera. Cerrarla con seguridad y agitar nuevamente por 10 segundos adicionales. Ventilar nuevamente, y luego voltear el tubo, de modo que se sostenga sobre la parte plana de su tapadera. La mezcla de aceite deberá perder su tono gris. Permitir que las fases se separen por dos minutos completos. Si la capa de aceite se coloca por debajo de la capa de buffer discontinuar la prueba y en este punto se concluye que el aceite es PCB puro (Askarel). Si la capa de aceite se coloca por encima de la capa de buffer, continuar con la prueba.



5. **Análisis:** Posicionar el tubo no. 1 encima del tubo no. 2 y abrir la boquilla dispensadora de la tapadera negra.

El operador deberá tener cuidado al realizar esta operación, y deberá verificar que el inyector se encuentra completamente abierto y sin obstrucción antes de transferir la solución clara. Verter 5 ml de la solución clara en el tubo no. 2 (arriba de la línea de 5 ml) oprimiendo los lados del tubo no. 1. Cerrar la boquilla dispensadora de la tapadera negra del tubo no. 1. Colocarle nuevamente la tapadera al tubo no. 2. Quebrar la ampolla de la parte inferior de este tubo (coloreada con un punto blanco) y agitar por 10 segundos. Quebrar la ampolla de la parte superior (rojo con verde) y agitar durante 10 segundos.



6. **Resultados:** Observar inmediatamente el color resultante y compararlo con la tabla de determinación de Clorinio. Si la solución es púrpura, el aceite simplemente contiene menos de 50 ppm de PCB. Si la solución es amarilla o incolora, PUEDE contener más de 50 ppm de PCB y deberá analizarse en el futuro con algún método específico. Descartar cualquier color que puede formarse en la orilla de la parte superior de la solución por restos de aceite que pudieron haberse colado.



7. **Disposición:** Abrir el empaque de cartón que dice “Disposal Ampule” para sacar dicha ampolla y depositarla en el tubo no. 2. Colocarle nuevamente la tapadera. Presionar los lados del tubo para quebrar la ampolla en su interior. Agitar por 5 segundos. Este reactivo neutraliza el mercurio contenido en el kit aprobado por la prueba TCLP de EPA.

### Sugerencias para el uso del Kit Clor-N-Oil

- El kit de prueba Clor-N-Oil trabaja con el principio de la determinación de Clorinio. Algunos materiales poseen base de Clorinio, y el kit está habilitado para detectarlos. Sin embargo la prueba no puede distinguir entre cualquier otro material con contenido de Clorinio como puede ser el triclorobenceno (TCB), el cual puede encontrarse en el fondo de un transformador con aceite. Estos compuestos pueden producir un resultado conocido como “falso positivo”. Por ejemplo, con la prueba el aceite indicará la presencia de más de 50 ppm de PCB, pero cuando se analice con una cromatografía de gas, mostrará un valor menor de 50 ppm.

- La prueba trabaja bajo el principio de la detección de Clorinio. Por tanto, la contaminación por sal (Cloridio de Sodio), agua de mar, transpiración (sudor), etc., podrá generar un falso positivo como resultado y será necesaria una prueba de laboratorio.
- Nunca tocar las ampollas, los sostenes adentro de los tubos, o las boquillas de las pipetas, ya que esto puede contaminar la prueba.
- El kit deberá ser examinado para verificar que todos los componentes están presentes, y que las ampollas están en su lugar sin quiebres ni rajaduras. El líquido del tubo no. 2 (tapadera blanca) deberá contener aproximadamente  $\frac{1}{2}$  pulgada de líquido por encima de la línea de 5 ml y no deberá tener quiebres ni rajaduras. Las ampollas no deberán estar completamente llenas.
- La prueba de Clor-N-Oil no deberá hacerse para muestras que contengan agua. Si el tubo no. 1 se siente notablemente tibio, tiene alta presión o pierde su color gris en el paso 3, la muestra probablemente contiene agua y la prueba no deberá continuarse. Puede realizarse otra prueba si el aceite es secado primeramente.
- Realizar la prueba en área tibia y seca con luz adecuada. En climas fríos, una cabina de auto es suficiente. Si no hay un área tibia disponible, el paso 3 deberá realizarse mientras se entibia el tubo no. 1 en la palma de la mano.
- Cuando se succione la muestra de aceite al interior de la pipeta, no sumergir su boquilla muy profundamente para evitar que se manche.

- Cuando inserte la pipeta dentro del tubo plástico de prueba, insertarla toda hasta llegar a la línea de 5 ml. Esto previene que el aceite manche las paredes del tubo y los sostenes de las ampollas, resultando mucho mejor el vertido del aceite.
- Siempre quiebre las ampollas incoloras en cada uno de los tubos primero. Si esta secuencia no es seguida, detener la prueba inmediatamente y empezar nuevamente usando otro kit completo. Cuando una secuencia de prueba incorrecta es seguida, puede resultar en un falso negativo, el cual puede permitir el paso de una muestra contaminada sin detección.
- En el paso 4, inclinar el tubo no. 2 a un ángulo de solo 45° para prevenir que el sostén de las ampollas pueda deslizarse y salirse del mismo.
- Esta prueba es especificada para uso exclusivo con transformadores de aceite a base de petróleo, y no es especificada para probar otro tipo de fluidos.

### **Instrucciones especiales para transformadores rellenos con askarel**

- En el paso 4, la capa de aceite se deposita en la parte inferior, discontinuar la prueba y en este punto se concluye que el aceite es primariamente PCB puro (Askarel). Si se continúa la prueba y se vierte el aceite al tubo no. 2, causará un resultado falso.



## Precauciones

- Cuando se quiebren las ampollas de vidrio, presionar firmemente sus centros una vez. Nunca intentar volver a quebrar el vidrio, ya que puede pasar a través del plástico y cortar los dedos.
- En caso de accidentes o heridas en la piel, lavar inmediatamente con suficiente agua. Todas las ampollas son venenosas y no deberán tocarse internamente.
- No transportar kits en asientos de pasajeros.
- Disponer el uso de los kits apropiadamente. Los tubo no. 1 y no. 2 pueden contener residuos de PCB y deberán ser tratados como desechos con PCB si el resultado es positivo. El mercurio en el tubo no. 2 es hecho insoluble por la ampolla de disposición etiquetada como “Disposal Ampule” (ampolla de disposición) y es usada en los kits con la aprobación de pruebas USEPA TCLP para disposición de tierra. Más restricciones estatales y regulaciones locales pueden aplicarse.

Contactar a Dexsil si se tiene alguna pregunta específica concerniente al procedimiento de disposición.

- La ampolla gris en el tubo de prueba con tapadera negra contiene sodio metálico, el cual es un sólido flamable y es reactivo en agua.
- Utilizar guantes y gafas mientras se realiza la prueba.
- Leer las hojas de Datos de Materiales y Cuidados antes de realizar la prueba.
- Mantener fuera del alcance de los niños.

## ANEXO 2

### INTRODUCCIÓN A LOS CONVENIOS

#### ➤ **Convenio de Basilea**

El convenio de Basilea es un tratado ambiental global que regula estrictamente el movimiento transfronterizo de desechos peligrosos y estipula obligaciones a las Partes para asegurar el manejo ambientalmente racional de los mismos, particularmente su disposición.

El Convenio de Basilea fue adoptado el 22 de marzo de 1989 y entró en vigor el 5 de mayo de 1992. El Convenio es la respuesta de la comunidad internacional a los problemas causados por la producción mundial anual de 400 millones de toneladas de desechos peligrosos para el hombre o para el ambiente debido a sus características tóxicas/ecotóxicas, venenosas, explosivas, corrosivas, inflamables o infecciosas.

El Convenio reconoce que la forma más efectiva de proteger la salud humana y el ambiente de daños producidos por los desechos se basa en la máxima reducción de su generación en cantidad y/o en peligrosidad.

Los principios básicos del Convenio de Basilea son:

- El tránsito transfronterizo de desechos peligrosos debe ser reducido al mínimo consistente con su manejo ambientalmente apropiado.
- Los desechos peligrosos deben ser tratados y dispuestos lo más cerca posible de la fuente de su generación.
- Los desechos peligrosos deben ser reducidos y minimizados en su fuente.

Para lograr estos principios, la Convención pretende a través de su Secretaría controlar los movimientos transfronterizos de desechos peligrosos, monitorear y prevenir el tráfico ilícito, proveer asistencia en el manejo ambientalmente adecuado de los desechos, promover la cooperación entre las Partes y desarrollar Guías Técnicas para el manejo de los desechos peligrosos.

Los países parte del Convenio de Basilea de América Latina y el Caribe se encuentran Antigua y Bermuda, Argentina, Bahamas, Barbados, Belice, Bolivia, Brasil, Chile, Colombia, Costa Rica, Cuba, República Dominicana, Ecuador, El Salvador, Guatemala, Honduras, México, Nicaragua, Panamá, Paraguay, Perú, Saint Kitts y Nevis, Santa Lucía, San Vicente y la Grenadines, Trinidad y Tobago, Uruguay y Venezuela<sup>8</sup>.

### **Convenio de Estocolmo**

Las Naciones Unidas han trabajado durante los últimos 25 años para alcanzar acuerdos que minimicen y eliminen los riesgos de la contaminación química. En el marco legislativo los convenios internacionales han dado prioridad en sus políticas al tratamiento de las sustancias tóxicas y peligrosas. Muchos de estos acuerdos identifican como objetivo prioritario las sustancias persistentes, tóxicas y bioacumulativas y en especial a los órganos halogenados, grupo que componen principalmente las sustancias que contienen cloro.

Los gobiernos del mundo, incluido Chile, han acordado negociar un instrumento global legalmente vinculante para proteger la salud humana y el medio ambiente de los daños provocados por los contaminantes orgánicos persistentes o COP.

---

<sup>8</sup> [www.geocities.com](http://www.geocities.com)

El Convenio de Estocolmo es el instrumento internacional que regula el tratamiento de las sustancias tóxicas, auspiciado por el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). Este convenio ha sido el resultado de largos años de negociación para obtener compromisos legales de los países que obligue de manera urgente la eliminación de todos los Compuestos Orgánicos Persistentes (COP).

El Convenio determina a una docena de compuestos sobre los que es preciso emprender acciones de forma prioritaria, es la conocida como "docena sucia", que incluye productos químicos producidos intencionadamente, tales como: pesticidas, PCB; dioxinas y furanos.

El Convenio de Estocolmo ha sido firmado por 151 países y en la actualidad 34 países ya lo han ratificado. Es necesaria la ratificación de 50 países para que el Convenio entre en vigor 90 días después y se comiencen aplicar políticas de eliminación de estos compuestos<sup>9</sup>.

### **Convenio de Róterdam**

Los delegados del Programa conjunto de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y la FAO, asistentes a la conferencia celebrada en la sede de esta organización, en Roma, del 12 al 16 de julio, avanzaron en la aplicación del Convenio de Rotterdam sobre el procedimiento de información y consentimiento previos (PIC) relativo al comercio de productos químicos peligrosos. Su actividad ha puesto de relieve la importancia de proteger la salud y el medio ambiente en los países en desarrollo. Los delegados, que representan a más de 100 países, acordaron la inclusión de dos plaguicidas -el binapacril y el toxafeno- en la lista del Convenio de sustancias químicas prohibidas o de uso estrictamente restringido.

---

<sup>9</sup> [www.greenpeace.org](http://www.greenpeace.org)

La inclusión de estas dos sustancias eleva a 29 el número de plaguicidas y productos peligrosos de la lista del PIC.

La inclusión de estos productos químicos peligrosos en la lista del Convenio fue una medida de los delegados para acelerar la aplicación de este tratado, aprobado en septiembre de 1998 y suscrito por 60 países y por la Unión Europea.

La conferencia también estableció una Comisión provisional de examen de sustancias químicas para que haga recomendaciones respecto a la inclusión de plaguicidas o sustancias químicas industriales en la lista del Convenio. Los delegados propusieron para examen cuatro productos químicos peligrosos a esta comisión provisional: el bromacilo, el dicloruro de etileno, el óxido de etileno y la hidracida maleica.

Las sustancias químicas y los plaguicidas de la lista del Convenio no se pueden exportar sino a condición de que el país importador esté plenamente informado de los peligros que implica y dé su consentimiento explícito. En el Convenio de Rotterdam se incluyen las fórmulas de plaguicidas demasiado peligrosas para que las utilicen los campesinos de los países en desarrollo.

"Muchos campesinos de los países en desarrollo no están en condiciones de manipular con seguridad los plaguicidas muy tóxicos, y este convenio contribuirá a protegerlos", explicó Niek Van Der Graaff, Jefe del Servicio de Protección Vegetal de la FAO.

El binapacril, por ejemplo, es un fungicida y acaricida que puede producir náusea, vómito, dolor abdominal, diarrea y dificultades respiratorias. El toxafeno, más conocido por su nombre comercial: canfecloro, es un insecticida y rodenticida de elevada persistencia en el medio ambiente.

Los residuos de esta sustancia pueden recorrer grandes distancias y acumularse en organismos que forman parte de la cadena alimentaria. Cuando el organismo humano absorbe el toxafeno, éste llega rápidamente a los órganos y se concentra en los tejidos grasos y en los músculos. Es muy tóxico y puede producir tumores y cáncer de la tiroides.

En un acuerdo único, que conjuga la experiencia de la FAO en gestión de plaguicidas con los conocimientos del PNUMA en materia de sustancias químicas, ambas organizaciones participan juntas en la secretaría del Convenio de Róterdam. James Willis, Director de Sustancias Químicas del PNUMA, afirmó que el Convenio de Róterdam: "es el primer acuerdo multilateral sobre el medio ambiente desde 1994, adoptado hace dos años como seguimiento del capítulo 19 del Programa 21". Además: "Brinda una mayor protección a la salud y el medio ambiente particularmente en los países en desarrollo y en los países en transición en comparación con el anterior procedimiento de aplicación voluntaria".

Finlandia, Japón, Noruega, Suiza y el Reino Unido anunciaron en la Conferencia su contribución para la aplicación del período provisional del Convenio de Róterdam, que depende por completo de las donaciones voluntarias. Se requerirá un mayor financiamiento para satisfacer los cálculos presupuestales del período 1999-2000<sup>10</sup>.

---

<sup>10</sup> [www.fao.org](http://www.fao.org)