



ESTADO PLURINACIONAL DE  
**BOLIVIA**

MINISTERIO DE  
MEDIO AMBIENTE Y AGUA



ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS  
PARA EL DESARROLLO INDUSTRIAL  
OBSERVATORIO DE ENERGIAS RENOVABLES PARA AMÉRICA LATINA Y CARIBE

## Guía Técnica para la Gestión Ambiental de Bifenilos Policlorados - PCBs





ESTADO PLURINACIONAL DE  
**BOLIVIA**

MINISTERIO DE  
MEDIO AMBIENTE Y AGUA

VICEMINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE,  
BIODIVERSIDAD, CAMBIOS CLIMÁTICOS Y  
DE GESTIÓN Y DESARROLLO FORESTAL

PROGRAMA NACIONAL DE CONTAMINANTES  
ORGÁNICOS PERSISTENTES

Guía Técnica para la Gestión Ambiental  
de Bifenilos Policlorados (PCBs)

**LA PAZ - BOLIVIA**

# CRÉDITOS

2021 “Guía Técnica para la Gestión Ambiental de Bifenilos Policlorados (PCBs)”

**Copyright:** © MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y AGUA

**Elaborado por:**

**Equipo Técnico:**

Ing. María Alejandra Galarza Coca

Ing. Harold Eddy Córdova Eguivar

Lic. Martha Niura Zurita

Lic. Rafael Juan Tornero Jiménez

**Revisión y Actualización**

María Alejandra Galarza Coca

Coordinadora Nacional Proyecto de PCBs

**Revisión**

Programa Nacional de Contaminantes Orgánicos Persistentes  
PRONACOPs

**Aprobación**

M.Sc. Ing. Magín Herrera López

Viceministro de Medio Ambiente, Biodiversidad, Cambios Climáticos y de  
Gestión y Desarrollo Forestal

**Fotografías portada:**

© MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y AGUA

**Diseño y Diagramación:**

Roberto Carlos Aguilar Lecoña

Unidad de Comunicación Social - MMAyA

**Contactos:**

Ministerio de Medio Ambiente y Agua

Viceministerio de Medio Ambiente, Biodiversidad, Cambios Climáticos y de  
Gestión y Desarrollo Forestal

Calle Potosí esq. Calle Ayacucho N° 438 Casa Grande del Pueblo piso 18 Telf.:  
2-2146382 - 2146385

**Cita del documento:**

Ministerio de Medio Ambiente y Agua - Viceministerio de Medio Ambiente,  
Biodiversidad, Cambios Climáticos y de Gestión y Desarrollo Forestal. 2021.  
“Guía Técnica para la Gestión de Bifenilos Policlorados (PCBs)”. La Paz. 80 p.

**Web:**

[www.mmaya.gob.bo](http://www.mmaya.gob.bo)

# CONTENIDO

<b>INTRODUCCIÓN</b>	9
<b>GLOSARIO Y ABREVIATURAS</b>	10
<b>1. Convenios internacionales y marco normativo sobre los pcb´s.</b>	15
1.1. CONVENIO DE BASILEA: Sobre el movimiento transfronterizo de desechos peligrosos y su eliminación.	15
1.2. CONVENIO DE ROTTERDAM: Sobre el procedimiento de consentimiento fundamentado previo aplicable a ciertos plaguicidas y productos químicos peligrosos objetos de comercio internacional.	15
1.3. CONVENIO DE ESTOCOLMO: Sobre los contaminantes orgánicos persistentes..	16
1.4. CONVENIO DE MINAMATA: Sobre el mercurio.	17
1.5. Plan Nacional de Implementación Proyecto GEF/BOL/01/02.	17
<b>2. Bifenilos Policlorados</b>	19
2.1. ¿Qué son los Bifenilos Policlorados?.	21
2.2. Usos.	21
2.3. Propiedades físico-químicas de los pcb´s usados en equipos eléctricos	22
2.4. La Producción de los PCBS.	23
2.5. Desechos.	24
2.6. Razones por las que restringió los PCBS.	24
<b>3. ¿Cómo podemos encontrar a los PCB´s?</b>	25
3.1. Procedencia de equipos transformadores y capacitores.	27
3.2. Empresas de fabricación de transformadores y capacitores.	27
3.3. Tiempo en el cual fueron producidos.	28
<b>4. Efectos y riesgos de los pcb´s.</b>	29
4.1. Efectos en el medio ambiente.	31
4.2. Efectos en la salud humana.	31
4.3. Riesgos para la salud y el medio ambiente.	32
<b>5. Guía técnica para Inventariación de pcbs en equipos eléctricos</b>	33
<b>5.1. PLANIFICACIÓN PARA TRABAJO DE INVENTARIO</b>	35
5.1.1. Aspectos generales de los pcbs	35
5.1.2. Objetivo del inventario.	35
5.1.3. Planificación para realizar el inventario.	35
5.1.4. Revisión de antecedentes sobre la problemática.	36
5.1.5. Límites permisibles de los pcbs según el convenio de estocolmo	36
5.1.6. Identificación de los puntos a ser inventariados.	36
5.1.7. Tipo de equipos a ser inventariados.	37
<b>5.2. MATERIALES A SER UTILIZADOS EN EL TRABAJO.</b>	39
5.2.1. Cuestionarios para el inventario (Herr. de trabajo de campo)	39
5.2.2. Formularios para el inventario	43
5.2.3. Gps	44
5.2.4. Registros de equipos	44
5.2.5. Kit colorimétrico de ensayo para identificación de presencia de pcb's	44

5.2.6. Equipo dexsil l2000dx	45
5.2.7. Equipos de protección personal (epps)	46
<b>5.3. TRABAJOS DE MUESTREO Y ANÁLISIS DE CAMPO.</b>	<b>47</b>
5.3.1. Programación de visitas.	47
5.3.2. Coordinación con responsables del lugar a ser inventariado.	47
5.3.3. Actividades en la visita del sitio/lugar (IN SITU).	47
5.3.4. Precauciones a tomar para evitar la contaminación de la muestra.	47
5.3.5. Reacción del kit colorimétrico.	47
5.3.6. Desechos de los materiales de muestreo y análisis utilizado.	48
<b>5.4. MANEJO DE EQUIPOS EN USO.</b>	<b>48</b>
5.4.1. Etiquetado de los equipos.	48
5.4.2. Transformadores con contenidos de PCB'S desconocidos.	48
5.4.3. Condensadores (capacitores) con PCB'S.	48
<b>5.5. METODOLOGÍAS DE ANÁLISIS RÁPIDOS PARA DETECCIÓN DE PCB´S</b>	<b>48</b>
5.5.1. Pruebas de análisis con kits colorimétricos de ensayo, para identificación de presencia de PCB´S.	48
5.5.2. Pruebas de análisis de muestras con el equipo dexil ld 2000.	50
5.5.3. Pruebas analíticas de laboratorio.	51
<b>5.6. CONTENIDO Y PREPARACIÓN DEL INFORME.</b>	<b>51</b>
5.6.1. Redacción del informe.	51
5.6.2. Documentos para el informe.	52
5.6.3. Resultado final de inventario.	52
5.6.4. Documentación en registro fotográfico.	52
<b>6. ALMACENAMIENTO TEMPORAL DE EQUIPOS CON PCB'S.</b>	<b>53</b>
6.1. Infraestructura de almacén.	55
6.2. Forma de almacenamiento de los equipos, aceites, materiales y desechos con contenidos de PCB´S.	59
6.3. Señalética en almacén.	60
6.4. Limpieza de almacén.	61
6.5. Material de limpieza.	62
6.6. Atención de emergencias.	63
6.7. Elementos de uso inmediato ante emergencias con trabajadores.	65
6.8. Responsables de los almacenes.	66
<b>7. TRANSPORTE DE EQUIPOS Y ACEITES CON PCB´S.</b>	<b>67</b>
7.1. Operación de transporte.	69
7.2. Manejo de carga con PCB´S.	69
7.3. Carga y descarga de equipos, aceites y materiales con PCB´S.	69
7.4. Distribución de la carga en el vehículo de transporte.	71
7.5. Condiciones técnicas y medidas de seguridad.	72
7.6. Planificación del transporte.	73
7.7. Documentación para el transporte.	74
7.8. Información del vehículo transportador.	74
7.9. Información de la empresa trasportadora.	74
7.10. Información de la empresa propietaria de la carga.	75
7.11. Manifiesto de transporte.	75
7.12. Riesgos en el proceso de transporte.	76

<b>8. TRATAMIENTO Y/O ELIMINACIÓN DE EQUIPOS, ACEITES, MATERIALES Y DESECHOS CON CONTENIDOS DE PCB'S.</b>	<b>77</b>
8.1. Antecedentes.	79
8.2. Consideraciones para sel. Tecnologías para tratamiento y/o disposición final	79
8.3. Descripción de tecnologías de eliminación de PCB'S.	80
8.3.1. Incineración a alta temperatura.	80
8.3.2. Declinación (reducción con metales alcalinos).	81
8.3.3. Proceso de declorinación con base catalítico.	81
8.3.4. Descontaminación de equipos y material sólido - retrollenado..	82

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Distribución de equipos a nivel nacional.	18
<b>Figura 2.</b> Estructura molecular de los Bifenilos Policlorados.	21
<b>Figura 3.</b> Equipos de protección personal.	46
<b>Figura 4.</b> Proceso de análisis con kits colorimétricos.	49
<b>Figura 5.</b> Tabla de colores resultante de análisis con kit colorimétrico.	50
<b>Figura 6.</b> Proceso de análisis con el Equipo DEXIL LD 2000.	50
<b>Figura 7.</b> Procedimiento de análisis con el Equipo DEXIL LD 2000.	50
<b>Figura 8.</b> Modelo de almacén.	55
<b>Figura 9.</b> Paredes de ladrillo.	55
<b>Figura 10.</b> Área de almacén con malla metálica.	56
<b>Figura 11.</b> Almacén sin ventilación.	56
<b>Figura 12.</b> Almacén con ventilación.	56
<b>Figura 13.</b> Piso sin barreras.	57
<b>Figura 14.</b> Piso canales para derrames.	57
<b>Figura 15.</b> Rampa de ingreso.	57
<b>Figura 16.</b> Almacenes juntos.	58
<b>Figura 17.</b> Almacenes separados.	58
<b>Figura 18.</b> Forma incorrecta de Almacenamiento.	59
<b>Figura 19.</b> Forma ordenada de Almacenamiento.	59
<b>Figura 20.</b> Identificación internacional para PCBs.	60
<b>Figura 21.</b> Kits de materiales para derrames de aceites.	62
<b>Figura 22.</b> Uso de absorbentes sólidos.	63
<b>Figura 23.</b> Prohibido el uso de agua.	63
<b>Figura 24.</b> Guardar todo lo recuperado.	63
<b>Figura 25.</b> Uso de teléfono para llamadas.	64
<b>Figura 26.</b> Alarma sonora.	64
<b>Figura 27.</b> Kits para incendios.	64
<b>Figura 28.</b> Botiquín de primeros auxilios.	65
<b>Figura 29.</b> Lavador de ojos y ducha.	65
<b>Figura 30.</b> Movimiento de elementos con PCBs.	70
<b>Figura 31.</b> No permitir la carga de recipientes defectuosos.	70
<b>Figura 33.</b> Distribuir la carga en base a los ejes del vehículo.	71
<b>Figura 32.</b> Distribuir uniformemente la carga en el vehículo.	71
<b>Figura 34.</b> Balancear el peso de la carga para mantener el equilibrio.	71
<b>Figura 35.</b> Tambores sujetos.	71
<b>Figura 36.</b> Cubierta del material transportado.	72
<b>Figura 37.</b> Diseño de un sistema de incinerador de PCBs.	80
<b>Figura 38.</b> Diseño de un sistema de Declinación con metales alcalinos.	81

# ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Procedencia de países productores de equipos eléctricos.	27
<b>Tabla 2.</b> Empresas fabricantes de equipos eléctricos.	27
<b>Tabla 3.</b> Formulario del inventario de equipos con PCB´s.	43
<b>Tabla 4.</b> Formulario del inventario de aceites con PCB´s.	43
<b>Tabla 5.</b> Formulario del inventario de desechos con PCB´s.	43

# ÍNDICE DE IMÁGENES

<b>Imagen 1.</b> Transformador de COMIBOL - Machacamarca.	37
<b>Imagen 2.</b> Transformador de COMIBOL - Machacamarca.	38
<b>Imagen 3.</b> Bandejas para retener derrames.	59
<b>Imagen 4.</b> Uso de pallets.	60
<b>Imagen 5.</b> Identificación externa del almacén.	60
<b>Imagen 6.</b> Señalética de tránsito en el piso del almacén.	61
<b>Imagen 7.</b> Delimitación de áreas de ubicación de equipos, aceites y residuos con PCBs.	61
<b>Imagen 8.</b> Almacén permanentemente limpio.	62
<b>Imagen 9.</b> Transformadores y capacitores.	79
<b>Imagen 10.</b> Vaciado de aceite por gravedad.	83
<b>Imagen 11.</b> Retrolleado empleando bombas.	83

# INTRODUCCIÓN

La presente guía está dirigida a los técnicos y trabajadores que tienen relación con la gestión ambiental (Uso, Manejo, Almacenamiento, Transporte y Disposición Final) de equipos con Bifenilos Policlorados, asimismo para estudiantes de carreras técnicas y universitarias que tienen relación con esta problemática y gestión ambiental específica.

Por otra parte el objetivo del presente documento es apoyar a los técnicos, trabajadores, y estudiantes para que puedan contar con una guía metodológica a seguir, que les permita evaluar los equipos con contenidos de aceites dieléctricos y aceites contaminados con PCB's que están almacenados o en uso, y así poder determinar la existencia de presencia de PCB's. Asimismo, poder responder al requerimiento realizado en los diferentes talleres de información de contar con una guía técnica que contenga información válida que apoye en la cuantificación de equipos eléctricos, aceites y desechos con contenidos de PCB's que se encuentran en los diferentes sectores pero, principalmente en el sector de eléctrico, minero, Hidrocarburífero.

Se considera que esta guía puede servir de un documento de orientación sobre la gestión ambientalmente racional de los equipos, aceites y desechos que contienen o estén contaminados con PCB's. Es importante tomar en cuenta que el PCB fue incluido en el anexo A del Convenio de Estocolmo.

Se recomienda que la presente guía sea las directrices técnicas generales para la gestión ambientalmente racional de los desechos de contaminantes orgánicos persistentes, a partir de los lineamientos generados por el PNUMA en 2015.

La guía presenta lineamientos generales adecuados que apoyaran en la disminución de las condiciones inseguras, los riesgos y peligrosos al manipular, almacenar y transportar PCB's, todo ello con el objeto de evitar derrames, filtraciones, descargas u otras situaciones de riesgo y peligro para el medio ambiente y la salud.

El documento cuenta con ocho apartados. 1) aborda los convenios internacionales y el marco normativo sobre los PCB's. 2) refiere información sobre la problemática de los Bifenilos Policlorados. 3) Nos indica cómo podemos encontrar a los PCB's, 4) Este apartado hace referencia a los Efectos y Riesgos de los PCB's. 5) Este punto presenta la metodología para la Inventariación de PCB's en Equipos Eléctricos. 6) Este apartado está referido al Almacenamiento Temporal de Equipos con PCB's. 7) Aquí se presenta información sobre el Transporte de Equipos y aceites con PCB's, finalmente se tiene el apartado sobre las alternativas de Tratamiento y Eliminación de equipos, aceites, materiales y desechos con contenidos de PCB's.

# GLOSARIO Y ABREVIATURAS

**ABSORCIÓN:** Penetración de una sustancia en la estructura interna de otra

**ADSORCIÓN:** La adherencia de contaminantes como los PCBs en superficie de materiales (p.ej., micro poros).

**ACEITE MINERAL CONTAMINADO:** Aceite mineral que se ha contaminado con PCBs en concentraciones bajas, generalmente menores a 500 ppm.

**ASKAREL:** Fluido de equipo eléctrico de alta concentración de PCBs, que generalmente contiene entre 40-100% de Bifenilos Policlorados.

**APLICACIONES:** Se refiere a los equipos o materiales con contenido de PCBs.

**APLICACIONES ABIERTAS:** Aplicaciones en las que los PCBs se consumen durante su uso o son irre recuperables tras su utilización. Las aplicaciones abiertas liberan PCBs directamente al medio ambiente (ejemplos: plastificantes, neopreno y cauchos clorados).

**APLICACIONES CERRADAS:** Aplicaciones en la que los PCBs están confinados dentro de un equipo totalmente sellado. En este caso, las probabilidades de que los PCBs puedan pasar al medio ambiente, se limitan a la ocurrencia de fugas ó derrames, como resultado del deterioro de los equipos.

**BIOACUMULACIÓN:** Propiedad de ciertas sustancias de acumularse en los organismos vivos.

**BIODEGRADACIÓN:** Descomposición de ciertas sustancias por los organismos vivos (por ejemplo, bacterias). La biodegradación es uno de los procesos más importantes en la eliminación de desechos.

**CAPACITORES:** Dispositivos que acumulan y mantienen una carga de electricidad. Algunos contienen PCBs como fluido dieléctrico que separa las distintas superficies conductoras.

**CONGÉNERES:** Configuración o diferentes configuraciones de los enlaces y número de átomos de Cloro unidos con la/s molécula/s de Fenilo/s; lo que en resumidas cuentas sigue siendo PCBs pero con diferentes posiciones de radicales y por ende, con diferentes propiedades químicas y grado de toxicidad.

**CONTAMINANTES ORGÁNICOS PERSISTENTES (COP):** Son Sustancias químicas que permanecen en el medio, se bioacumulan a través de la cadena alimenticia y suponen un riesgo al provocar daños a la salud humana y al ambiente. Sobre los primeros COP que se ha decidido actuar desde el ámbito internacional son: Aldrín, Clordano, DDT, Dieldrín, Endrina, Heptacloro, Hexaclorobenceno, Mirex, Toxafeno, Bifenilos Policlorados (PCB), Dioxinas y Furanos.

**DECLORINACIÓN:** La destrucción química de la molécula de PCBs por medio de remoción de los átomos de cloro con el fin de bajar la concentración de PCBs en el aceite.

**DESCONTAMINACIÓN:** Proceso que consiste en la remoción física de los contaminantes o en la alteración de su naturaleza química para transformarlos en sustancias inocuas.

**DESECHOS DE PCBs:** Cualquier equipo, líquido, sólido o sustancia resultante del contacto con PCBs y que no se puede volver a utilizar.

**DESTRUCCIÓN / ELIMINACIÓN:** La destrucción hace parte de los procesos de eliminación y se refiere a la terminación de la existencia de sustancia o compuesto.

**DIOXINAS:** Nombre genérico del grupo de las dibenzo-p-dioxinas policloradas (PCDD), que pueden originarse como resultado de la combustión de materiales que contienen PCB.

**DIELÉCTRICO:** Sustancia que no permite el pasaje de corriente eléctrica a través de sí, no es conductora. Sinónimo: aislante.

**DOSIS LETAL:** Cantidad necesaria y suficiente de un tóxico para causar la muerte.

**ISÓMERO:** Compuestos con la misma fórmula molecular, pero con diferentes propiedades debido a la estructura de la molécula.

**MUESTREO:** Es el procedimiento mediante el cual se toman una o varias porciones de un material de modo que la muestra resultante presente las mismas características de este. Las características del material se determinan a través el análisis de laboratorio a las muestras tomadas. El muestreo debe garantizar la integridad y las características de las porciones tomadas para que permanezcan intactas, esto desde la toma de la muestra en campo hasta el momento de su análisis.

**MUESTRA SIMPLE:** Es la muestra que corresponde a una porción del material tomada en un solo punto sobre la superficie o a determinada profundidad, según el caso.

**MUESTRA COMPUESTA:** Es la muestra obtenida a partir de la combinación de muestras simples.

**MUTAGÉNESIS:** Introducción de cambios en una célula que aparecen como consecuencia de la acción de sustancias químicas y agentes físicos. En biología, una mutación es una alteración abrupta y permanente en los caracteres hereditarios causada por cambios en el número o propiedades de los genes.

**PERMITIVIDAD:** Propiedad de un dieléctrico para reducir la potencia de la fuerza electrostática, la cual se expresa como la relación de su potencial en el vacío. Sistema para medir esta reducción (por ejemplo, la permitividad del agua es 80).

**PIRÓLISIS:** Disociación de un compuesto químico bajo los efectos del calor (sin oxidación). Sinónimo: termólisis.

**SUSTITUCIÓN:** Operación que consiste en escurrir los PCB de un transformador, que puede o no resultar en una descontaminación y reemplazarlos con un fluido sustituto; la descontaminación se define como una operación cuyo fin es asegurar un nivel sustentable de PCB en un fluido con una concentración inferior a 50 ppm.

**TERATOGENICO:** Dícese de las sustancias que, a través de su acción en el embrión pueden causar malformaciones congénitas.

**VIDA MEDIA:** Tiempo que transcurre para que la mitad de la cantidad de una sustancia sea removida desde el medio ambiente.

**PUNTO DE EMISIÓN:** Punto de descarga o vertimiento a la atmósfera de contaminantes, provenientes de actividades o procesos naturales o antropogénicos.

**PUNTO DE IMPACTO:** Área donde se afecta o se produce una determinada acción humana sobre el medio ambiente en sus distintos aspectos es decir; es una alteración como consecuencia de la acción antrópica o de eventos de tipo natural.

## CONVENIOS Y ACUERDOS INTERNACIONALES QUE TIENEN SINERGIAS

### OBJETIVO COMÚN

Proteger la salud y el medio ambiente de los productos químicos y desechos peligrosos



# 1.

## CONVENIOS INTERNACIONALES Y MARCO NORMATIVO SOBRE LOS PCB's



## 1. CONVENIOS INTERNACIONALES Y MARCO NORMATIVO SOBRE LOS PCB'S

### 1.1. CONVENIO DE BASILEA: Sobre el movimiento transfronterizo de desechos peligrosos y su eliminación.

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, para proteger la salud humana y el medio ambiente.

Asimismo, trata sobre el peligro creciente, que representan la generación y la complejidad cada vez mayor de los desechos peligrosos y otros desechos, así como sus movimientos transfronterizos. Por tanto, se considera que la manera más eficaz de proteger la salud humana y el medio ambiente contra los daños que suponen tales desechos es, la reducción en su generación al mínimo posible de la cantidad y los peligros potenciales.

Por todo lo antes indicado los países deben tomar las medidas necesarias para que el manejo de los desechos peligrosos y otros desechos, incluyendo sus movimientos transfronterizos y su eliminación, sea semejante con la protección de la salud humana y del medio ambiente cualquiera que sea el lugar de su eliminación.

El Convenio de Basilea en sus anexos cuenta con listado de diferentes desechos que pueden ser objeto de Movimiento Transfronterizo.

El Convenio de Basilea aplica a diferentes desechos como, por ejemplo:

- Desechos Eléctricos
- Desechos Electrónicos
- Aceites Usados
- Desechos de Mercurio y Amianto
- COP's
- Plaguicidas Obsoletos
- Desechos Químicos de Industria y Otros

Situación de Bolivia con relación al Convenio: Bolivia firmo el convenio el 22 de marzo de 1989 y lo ratifico mediante Ley de la República No. 1698, el 12 de julio de 1996, Por otra parte, el Convenio entro en vigencia el 5 de mayo de 1992.

### 1.2. CONVENIO DE ROTTERDAM: Sobre el procedimiento de consentimiento fundamentado previo aplicable a ciertos plaguicidas y productos químicos peligrosos objetos de comercio internacional

El Convenio de Róterdam sirve como aviso previo al comercio internacional de productos químicos peligrosos; toda vez que apoya a reducir:

- Muertes por accidentes y daños a la salud de los usuarios que manejan estos productos.
- Daños al Medio Ambiente.
- Creación de depósitos abandonados de productos químicos peligrosos, viejos e indeseables sobre todo plaguicidas caducados
- Aumento de desechos peligrosos

Cuál es el Objetivo del Convenio: El objetivo del Convenio es promover la responsabilidad

compartida y esfuerzos conjuntos en la esfera del comercio internacional de ciertos productos químicos peligrosos a fin de proteger la salud humana y el medio ambiente frente a posibles daños y apoya a contribuir a la utilización ambientalmente racional de las sustancias químicas indicadas en el convenio facilitando el intercambio de información, estableciendo además un proceso de adopción de decisiones sobre la importación y exportación

Situación de Bolivia con relación al Convenio: Bolivia se adhiere al convenio en el año 2003

### **1.3. CONVENIO DE ESTOCOLMO: Sobre los Contaminantes Orgánicos Persistentes.**

El 23 de mayo de 2001, más de 121 países entre ellos Bolivia firman el Convenio de Estocolmo el cual establece la eliminación hasta el año 2025 de 12 COPs, ocho plaguicidas: DDT, Aldrín, Endrín, Dieldrín, Clordano, Heptacloro, Mirex y Toxafeno; tres productos industriales: Bifenilos Policlorados (PCBs), Dioxinas y Furanos; y un último producto utilizado en la agricultura como en la industria: el Hexaclorobenzeno. Siendo que a la fecha el Convenio de Estocolmo ha incorporado además otras sustancias y productos a los anexos A y B.

Obligaciones básicas del Convenio de Estocolmo

- Prohibición de la producción y uso de COPs producidos intencionalmente.
- Restricciones a la producción y uso de COPs no intencionales
- Implementación de Legislación sobre sustancias químicas para evitar nuevos COPs.
- Realizar (si deseamos) un registro de excepciones
- Reducción de liberaciones de COPs no intencionales (Dioxinas y Furanos).
- Gestión y eliminación de desechos que contengan COPs.

Por otra parte, el Convenio de Estocolmo indica varias prioridades, de la cuales indicamos algunas principales a continuación:

- Realizar esfuerzos decididos por identificar, etiquetar y retirar de uso todo equipo que contenga más de un 10% y/o 0,05% de PCBs y volúmenes superiores a 5 litros:
- Esforzarse por identificar y retirar de uso todo equipo que contenga más de un 0,005% de PCBs y volúmenes superiores a 0,05 litros.
- Promover medidas de reducción de la exposición y el riesgo a fin de controlar el uso de los PCBs:
- Utilizando solamente en equipos cerrados en zonas donde el riesgo de liberación en el medio ambiente sea reducido al mínimo y la zona de liberación pueda descontaminarse rápidamente;
- Adoptar medidas de protección contra cortes de electricidad que pudiesen dar lugar a incendios de equipos y para detectar toda fuga, en zonas densamente pobladas, incluidas escuelas y hospitales;
- Velar por que los equipos que contengan PCBs, descritos en el apartado a), no se exporten ni importen salvo para fines de gestión ambientalmente racional de desechos;
- No permitir la recuperación para su reutilización en otros equipos;
- Realizar esfuerzos decididos para una gestión ambientalmente racional de desechos líquidos y equipos contaminados con PCBs;
- Esforzarse por identificar otros artículos que contengan PCBs (por ejemplo, revestimientos de cables, etc.)
- Preparar un informe cada cinco años sobre los progresos alcanzados en la eliminación

de los PCBs, hasta el 2025 y los equipos que están aún en funcionamiento hasta el 2028. Los informes serán estudiados, cuando corresponda, por la Conferencia de las Partes en el examen que efectúe respecto de los PCBs.

Es importante indicar que el Convenio de Estocolmo como norma establecida indica que, un contenido superior a 50 ppm de PCB's debe considerar que ese producto (equipo, aceite, material desecho y/o residuo) está contaminado y, por tanto, debe ser tratado según corresponde.

Situación de Bolivia con relación al Convenio: Bolivia adopto el convenio el 23 de mayo de 2001 y lo ratifico mediante Ley de la República No. 2417, el 25 de octubre

#### **1.4. Convenio de Minamata: Sobre el mercurio**

El Convenio de Minamata sobre el Mercurio es un tratado mundial para proteger la salud humana y el medio ambiente de los efectos adversos del mercurio. Se acordó en la quinta sesión del Comité Intergubernamental de Negociación sobre el mercurio celebrada en Ginebra - Suiza a las 7 a.m. la mañana del sábado 19 de enero de 2013 y se adoptó ese mismo año, el 10 de octubre de 2013 en el curso de una Conferencia Diplomática (Conferencia de Plenipotenciarios), en Kumamoto, Japón.

Los aspectos más destacados del Convenio de Minamata incluyen la prohibición de nuevas minas de mercurio, la eliminación gradual de las existentes la reducción del uso del mercurio en una serie de productos y procesos, la promoción de medidas de control de las emisiones a la atmósfera y de las emisiones a la tierra y al agua, así como la regulación inexistente del sector de la minería artesanal y a pequeña escala.

Situación de Bolivia con relación al Convenio: Bolivia adopto el convenio el 10 de octubre de 2013 y lo ratifico mediante Ley No. 759, del 18 de noviembre de 2015

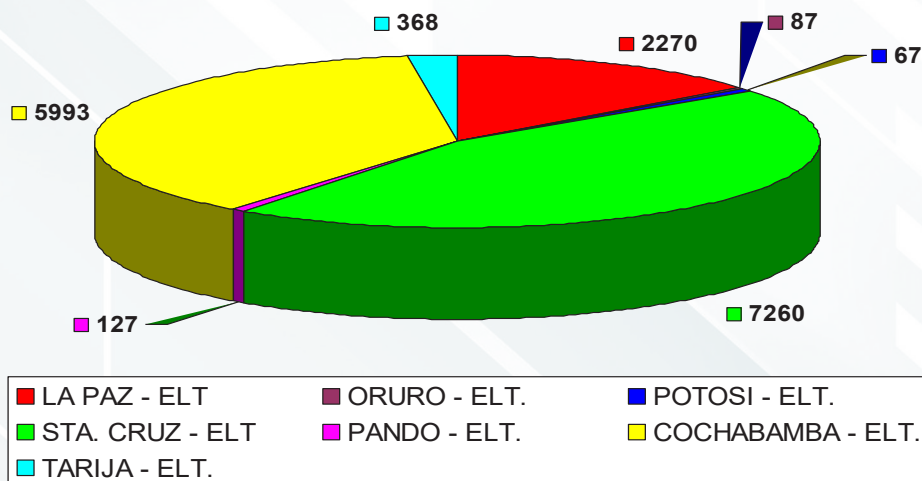
#### **1.5. Plan Nacional de Implementación Proyecto GEF/BOL/01/02**

El Gobierno de Bolivia en su política de Protección al Medio Ambiente, expresó su voluntad de cumplir los acuerdos para la protección de la salud de los seres vivos y el medio ambiente, razón por la cual el Viceministerio de Medio Ambiente, Biodiversidad, Cambios Climáticos y de Gestión y Desarrollo Forestal crea el Programa Nacional de Contaminantes Orgánicos Persistentes (PRONACOPs), creado mediante D.S. 28092 de fecha 25 de abril de 2005, como una instancia técnica - operativa, donde atiende y trabaja los temas de la agenda química internacional, entre ellos los relacionados con los Convenios de Estocolmo, Rotterdam, Basilea y Mercurio, así como el Enfoque Estratégico para la Gestión de Productos Químicos (SAICM).

El año 2002 al 2006, el Gobierno de Bolivia con financiamiento del Fondo para el Medio Ambiente Mundial y apoyo de la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo industrial (ONUDI), implementa el proyecto GEF/BOL/02/012, "Proyecto para la Ejecución Inmediata de la Convención de Estocolmo sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes (COPs) en Bolivia", con el cual se desarrolló el Plan Nacional de Implementación para el Manejo de Sustancias Químicas - Contaminantes Orgánicos Persistentes (COPs)", basado en Principios Rectores, el Marco de la Políticas Nacionales y el Plan Plurianual del entonces Viceministerio de Recursos Naturales y Medio Ambiente, el cual identifico dentro de sus pilares fundamentales el "Proyecto para una Gestión de COPs (Bifenilos Policlorados) identificados en puntos calientes (Hot Spots) de Bolivia"

El inventario nacional relacionado a los PCB's, obtuvo los siguientes resultados: consideró inicialmente el relevamiento de información en empresas transportadoras, generadoras y distribuidoras de energía eléctrica. Se presenta a continuación, la distribución de 16.620 Equipos Eléctricos.

**Figura 1.** Distribución de equipos a nivel nacional  
**INVENTARIO NACIONAL SOBRE EQUIPOS  
 ELECTRICOS SEGÚN ACTIVIDADES POR  
 DEPARTAMENTOS 16.620**



• ELT - Eléctrico  
 Fuente: Generación propia - Proyecto. PCBs

Los resultados de los análisis de contenidos de PCB´s en los aceites dieléctricos en los diferentes equipos consideraron lo establecido en los convenios internacionales Basilea, Rotterdam y Estocolmo específicamente en este último como límite máximo permisible de 50 ppm).

El plan nacional, plantea específicamente, la alta prioridad que se debe dar a los sectores eléctrico y minero respecto del inventario y la gestión de PCB´s en aceites dieléctricos. En la preparación de la propuesta de proyecto para Bifenilos Policlorados se consideraron como puntos calientes a las empresas de; COMIBOL, ELFEC, TDE ORURO, TDE CBBA, COBEE, DELAPAZ (anteriormente ELECTROPAZ).



# 2.

## BIFENILOS POLICLORADOS

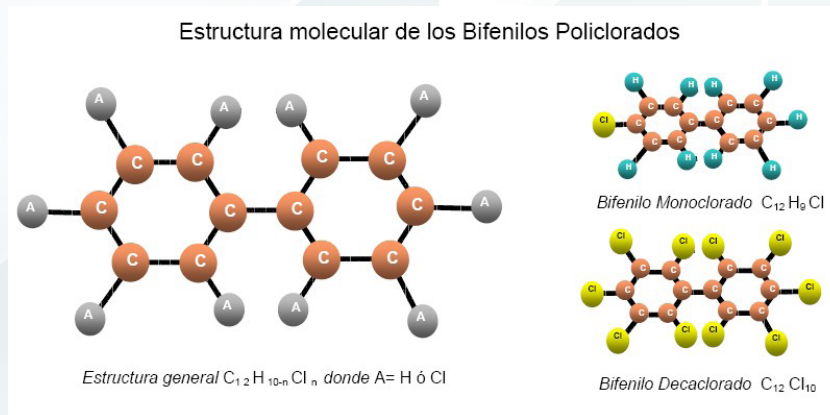


## 2. Bifenilos Policlorados

### 2.1. ¿Qué son los Bifenilos Policlorados?

Los Bifenilos Policlorados (PCBs), en inglés polychlorinated biphenyls, son compuestos organoclorados formados por átomos de hidrogeno los cuales pueden ser sustituidos por hasta 10 átomos de cloro, los congéneres de los PCB´s son una serie de combinaciones organoclorados que constituyen una familia de 209 tipos de compuestos. Se forman mediante la cloración de diez diferentes posiciones de los bifenilos, poseen una estructura química orgánica similar y se presentan en una variedad de formas que va desde líquidos grasos hasta sólidos cerosos.

**Figura 2. Estructura molecular de los Bifenilos Policlorados**



Fuente: salud.carlosslim.org

En los bifenilos, cada posición de los hidrógenos puede ser sustituida por un átomo de cloro. Por otra parte, a continuación, indicamos algunas bondades y desventajas de los PCBs:

- Son sustancias químicas muy resistentes a la descomposición y degradación por medios físicos, químicos, mecánicos y fotoquímicos.
- Su punto de ebullición es de 320 ° C a 420 ° C.
- Tienen excelentes propiedades como aislantes (buena refrigeración).
- No son corrosivos, reactivos, ni inflamables.
- Incrementan la vida útil de los equipos.

Sin embargo, presentan algunas desventajas, por ejemplo:

- Son altamente contaminantes
- Permanecen en el Medio Ambiente por muchos años.

### 2.2. Usos.

Debido a su gran estabilidad térmica biológica y química, así como por su elevada constante dieléctrica, los PCBs se usaron ampliamente hasta mediados de la década de 1970, principalmente como aislantes en equipos/fuentes eléctricas como:

- Transformadores,
- Capacitores,
- Sistemas de Distribución Eléctrica,
- Bombas al Vacío,

- Motores de Refrigeración,
- Motores de Bombas Hidráulicas,
- Switchs,
- Cables Eléctricos térmicos,
- Sistemas de Calefacción
- Y otros en estudio,

El mayor fabricante a escala mundial fue la empresa Monsanto, que en 1935 absorbió la empresa que lo comercializaba desde 1927, Swann Chemical Company (inicialmente Anniston Ordnance Company).

Por sus características anti-inflamables, la mayoría de los aceites dieléctricos con PCBs se usaron fundamentalmente en áreas con alto riesgo de incendio, por ejemplo, en plantas industriales, en transporte colectivo de tracción eléctrica (tranvías) y en la industria petroquímica, específicamente en:

1. Lubricantes especiales,
2. Tintas de imprenta,
3. PVC (plásticos de cloruro de polivinilo),
4. Material de relleno en juntas de hormigón,
5. Papel copia sin carbónico (químico)
6. Plaguicidas (Aceites viejos con PCBs)
7. Control de polvo (asfaltado)
8. Transformadores eléctricos (sobre todo con Askarel).
9. Condensadores de alta y baja tensión (sobre todo con Askarel).
10. Electro magnetos, interruptores automáticos de media y alta tensión, reguladores de tensión (sobre todo con Askarel).
11. Motores eléctricos refrigerados con líquido.
12. Cables eléctricos con óleo fluidos aislantes.
13. Balastras de lámparas fluorescentes.
14. Sistemas hidráulicos y lubricantes en equipos de minas y barcos.
15. Plaguicidas, agroquímicos.

Los PCB pueden ser eliminados mediante una reacción química simple que consiste en tratarlos con sodio metálico: El sodio metálico actúa atrayendo a los aniones cloruros formando finalmente cloruro sódico y la sustancia libre de PCB, esto requiere de un catalizador que podría ser un compuesto orgánico y una determinada temperatura para que la reacción se produzca

### **2.3. Propiedades físico-químicas de los PCB's usados en equipos eléctricos**

Las propiedades fisicoquímicas de estos compuestos dependen del grado de cloración y de si son o no coplanares. Cuantos más átomos de cloro tenga, menos volátil será el compuesto y mayor será su persistencia en el medio ambiente.

El periodo de semivida puede variar desde 10 días a un año y medio; por lo general estos compuestos son termoestables, no se degradan con la luz y son difícilmente biodegradables.

A escala internacional, se acordó eliminar los PCBs para evitar que contaminaran, pues, a altas

temperaturas, liberan la misma dioxina que se utilizaba en la guerra de Vietnam, conocida como agente naranja.

## 2.4. La Producción de los PCBs.

Debido a las excelentes propiedades dieléctricas, estabilidad, inflamabilidad y resistencia a la degradación térmica y química, es que la producción de los PCBs se incrementó sobre todo para su uso en equipos eléctricos como medio aceite aislante y como medio de transmisión térmico, así como otras aplicaciones especializadas de diferente índole. Los equipos eléctricos pueden contener concentraciones elevadas de PCBs (por ejemplo, a nivel mundial las empresas productoras llenaron los condensadores hasta con un 100 % con PCBs y los transformadores entre un 60 % y 70 %, aproximadamente).

El periodo de producción de los PCBs fue entre los años de 1930 hasta 1977 en los Estados Unidos de América, en China hasta 1983, en Europa hasta mediados de 1985 aproximadamente, en Japón desde 1954 a 1972 y finalmente en Rusia hasta 1993.

Por otra parte, de acuerdo a información de las guías técnicas del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) también se añadían pequeñas cantidades de PCBs a tintas, plásticos, pinturas, selladores, adhesivos y disolventes de pigmentos para papel de autocopia. A temperatura ambiente, los PCBs añadidos a estos productos son en su mayoría líquidos oleosos o sólidos cerosos.

A continuación, se enumeran los principales nombres comerciales de productos a base de PCBs producidos en diferentes países.

- a. Apirolio (Italia);
- b. Aroclor (Estados Unidos y Reino Unido de Gran Bretaña e Irlanda del Norte);
- c. Askarel (Estados Unidos y Reino Unido);
- d. Clophen (Alemania);
- e. Delor (Checoslovaquia);
- f. Elaol (Alemania);
- g. Fenchlor (Italia);
- h. Inerteen (Estados Unidos);
- i. Kanechlor (Japón);
- j. Phenoclor (Francia);
- k. Pyralene (Francia)
- l. Pyranol (Estados Unidos);
- m. Pyroclor (Estados Unidos y Reino Unido);
- n. Santotherm (Japón);
- o. Sovol (antigua Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas [URSS]);
- p. Sovtol (antigua URSS)

Los productos y artículos comerciales con PCBs se vendían por sus propiedades industriales más que por su composición química (IPCS, 1992), estos contenían algunas impurezas y solían mezclarse con disolventes como el triclorobenceno y el tetraclorobenceno. Los PCBs mezclados con triclorobencenos y tetraclorobencenos se denominaban askarel.

Se calcula que a nivel mundial se fabricaron en total de 1 a 1,5 millones de toneladas de PCB's

## 2.5. Desechos.

Los desechos que contienen o están contaminados PCBs pueden estar presentes en:

- a. Equipos eléctricos como, por ejemplo: condensadores, disyuntores, cables eléctricos, motores eléctricos, electroimanes, aparatos de transmisión térmica, instalaciones hidráulicas, interruptores, transformadores, bombas de vacío, reguladores de tensión;
- b. Disolventes contaminados;
- c. Vehículos al final de su vida útil y fracciones ligeras de trituración (pelusas);
- d. Desechos de demolición como, por ejemplo: materiales pintados, selladores, ventanas selladas, revestimientos de piso resinoso, entre otros;
- e. Aceites consistentes como los fluidos dieléctricos, fluidos de transmisión térmica, fluidos para maquinaria hidráulica, aceites de motor;
- f. Cables eléctricos aislados con polímeros;
- g. Suelos y sedimentos, rocas y áridos (por ejemplo, fondo rocoso excavado, grava, residuos, escombros contaminados);
- h. Lodo residual contaminado con PCBs;
- i. Contenedores y materiales absorbentes contaminados por la manipulación, embalaje, transporte o almacenamiento de desechos,

Debe tenerse en cuenta que las categorías antes mencionadas se aplican sobre todo a los PCB que se fabricaron en grandes cantidades y que están almacenados como desechos en espera de eliminación.

## 2.6. Razones por las que restringió los PCBs

Las principales razones y/o características por las cuales se incorporó los PCBs al listado del Convenio de Estocolmo y que causaron restricción en su uso, es porque son:

- Persistentes
- Tóxicos
- Bioacumulables
- Biomagnificables
- Se desplazan a largas distancias a través del aire y el agua



3.

**¿CÓMO PODEMOS ENCONTRAR A  
LOS PCB'S?**



### 3. ¿Cómo podemos encontrar a los PCB's?

#### 3.1. Procedencia de Equipos Transformadores y Capacitores.

Las procedencias de los diferentes equipos pueden ser identificados considerando la siguiente información:

**Tabla 1.** Procedencia de países productores de equipos eléctricos

PAÍS DE PROCEDENCIA	AÑO DE FABRICACIÓN	NOMBRES DE LOS ACEITES COMERCIALIZADOS
Estados Unidos Alemania Canadá Austria Gran Bretaña Checoslovaquia Italia China Japón España Francia Rusia	Entre 1929 a 1993	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Apirolio (Italia);</li> <li>• Aroclor (Estados Unidos y Reino Unido de Gran Bretaña e Irlanda del Norte);</li> <li>• Askarel (Estados Unidos y Reino Unido);</li> <li>• Clophen (Alemania);</li> <li>• Delor (Checoslovaquia);</li> <li>• Elaol (Alemania);</li> <li>• Fenchlor (Italia);</li> <li>• Inerteen (Estados Unidos);</li> <li>• Kanechlor (Japón);</li> <li>• Phenoclor (Francia);</li> <li>• Pyralene (Francia)</li> <li>• Pyranol (Estados Unidos);</li> <li>• Pyroclor (Estados Unidos y Reino Unido);</li> <li>• Santotherm (Japón);</li> <li>• Sovol (antigua Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas [URSS]);</li> <li>• Sovtol (antigua URSS)</li> </ul>

Fuente: Elaboración propia - proyecto PCBs

#### 3.2. Empresas de fabricación de Transformadores y Capacitores

Las Empresas que fabricaron diferentes equipos fueron diversas, en relación a los transformadores y capacitores podemos indicar las siguientes listas:

**Tabla 2.** Empresas fabricantes de equipos eléctricos.

EMPRESA QUE FABRICARON TRANSFORMADORES Y CAPACITORES CON PCB'S			
TRANSFORMADORES			
1	WESTINGHOUSE	8	H.K. PORTER
2	KUHLMAN ELECTRIC	9	STANDARD TRANSFORMER
3	GENERAL ELECTRIC COMPANY	10	VAN TRAN ELECTRIC
4	ELECTRO ENGINEERING	11	HELENA CORP
5	RESEARCH COTTRELL	12	ESCO MANUFACTURING
6	R.E. UPTGRAFF	13	HEVI - DUTY ELECTRIC
7	NIAGARA TRANSFORMER	14	AEG
CAPACITORES			
1	ASEA Y SIEVERTS	12	SPA

2	SIEMENS	13	CORNELL DUBILIER
3	NOKIA	14	P.R. MALLORY & Co.
4	SPRAGUE	15	CAPACITOR SPECIALISTS
5	ACEC	16	JARD CORP.
6	GENERAL ELECTRIC	17	YORK ELECTRONICS
7	WESTINGHOUSE	18	MCGRAW EDISON
8	AEG	19	RF INTERONICS
9	NATIONAL INDUSTRY	20	AXEL ELECTRONIC
10	LILJEHOLMEN	21	TOBE DEUTSCHMAN
11	AEROVOX		

Fuente: Elaboración propia – proyecto PCBs

### 3.3. Tiempo en el cual fueron producidos.

Los Bifenilos Policlorados (PCB´s), que fueron introducidos en los equipos eléctricos que se indican en la tabla N° 2, son de distintas marcas y están han sido producidas entre los años 1929 1993 por diferentes países como ser, Estados Unidos, china, Rusia, Japón y diferentes países de Europa.



# 4.

## EFFECTOS Y RIESGOS DE LOS PCB'S



## 4. Efectos y Riesgos de los PCB's

### 4.1. Efectos en el Medio Ambiente

Los efectos en el medio ambiente por los Bifenilos Policlorados están ligados a que estas no se descomponen o degradan fácilmente y permanecen durante muchos años, tendiendo a migrar con facilidad por mecanismos de transporte a través del aire - agua - suelo (evaporación - condensación) por el EFECTO SALTA MONTES.

Los Bifenilos Policlorados, son compuestos insolubles en agua, sin embargo, se disuelven fácilmente en aceites y grasas, especialmente en el tejido adiposo del ser humano y animales (peces, aves, etc.). Se mueven fácilmente en la cadena alimenticia afectando principalmente a los últimos eslabones como ser los seres humanos y los mamíferos. Los PCB's son retenidos también en el suelo, lodo y polvo.

Es importante indicar que debido a que tienen una gran movilidad, el punto de su emisión o derrame tiene poca relación con el punto de impacto.

El ingreso de los bifenilos policlorados a los cuerpos de agua se produce a través de, por ejemplo, fuentes diversas y por deslave de la atmósfera, arrastrados por las precipitaciones.

Los PCB's quedan adheridos a sedimentos en los cuales se pueden quedar enterrados por mucho tiempo antes de ser liberados al agua y al aire. Una vez en el aire pueden llegar a los suelos a través de la lluvia o la nieve o simplemente al depositarse las partículas por efectos de la gravedad

Los PCB's llegan a la atmósfera por evaporación, favorecidos por las altas temperaturas. Asimismo, se condensan en partículas de aerosol, dispersándose ampliamente. Las tasas de evaporación son mayores para los suelos que para los cuerpos de agua, pero esto depende de la textura del suelo.

Los PCB's se acumulan en los suelos específicamente en la capa de humus, desde donde se movilizan con dificultad; una vez reabsorbido por el suelo puede movilizarse a través de la fase de vapor.

### 4.2. Efectos en la salud humana

Nuestro conocimiento actual acerca de los efectos sobre la salud humana de la exposición a los Bifenilos Policlorados (PCB's) se basa principalmente en los resultados de estudios que fueron realizados en animales, en los que se emplearon mezclas de PCB's.

Las personas pueden absorber los PCB's al consumir alimentos contaminados (sólidos o líquidos) y, en menor medida, al respirar aire contaminado o a través de la piel. De acuerdo a algunos estudios científicos los PCB's una vez que ingresan al organismo, actúan como Pseudo hormonas y pueden atravesar las membranas celulares, pasando a los vasos sanguíneos y al sistema linfático. Sin embargo, estos estudios científicos indican que las mayores concentraciones de PCB's se los encuentra en el hígado, en el tejido adiposo, el cerebro y la piel. Asimismo, también indican que están presentes en la sangre. Un tema de mucha preocupación fue que se descubrió que los PCB's pasan en la sangre a través del cordón umbilical a la placenta y también a la leche materna.

Según el dossier de Hechos Verdes sobre la salud y el medio ambiente (en sus siglas en inglés; Green Facts Facts on health and the Environment) de estudios científicos; por ejemplo: la "Exposición a bifenilos policlorados: efectos sobre la salud y el medio ambiente" investigado por Sergio Steven Valero Navas Jaime Orlando Tusso Barragan, indican que son innegables los efectos sobre la salud y en el ambiente por lo que se requiere emplear metodologías de evaluación de riesgos que permiten conocer la exposición y controlar o minimizarla para ser eliminadas fácilmente y no se queden y acumulen en algunos órganos, tejidos y fluidos corporales. O finalmente puedan ser excretadas en forma de orina y heces.

Asimismo, la exposición a los (PCBs) indica que se aumenta el riesgo de padecer diferentes tipos de cánceres principalmente en el aparato digestivo, en el hígado y en piel. Además, se han relacionado

los niveles elevados de PCBs en sangre con el cáncer del sistema linfático, también pueden afectar a la reproducción humana y se ha relacionado este tema con la baja menor de fecundidad en las mujeres y una disminución del número de espermatozoides móviles en los hombres, también indican que la exposición de una mujer durante el embarazo y la etapa de lactancia puede estar relacionado con un retraso en el crecimiento y el desarrollo durante la infancia de los niños cuyas madres estuvieron expuestas a los Bifenilos Policlorados y finalmente se ha vinculado estas exposiciones a efectos neurológicos, como entumecimiento, dolores de cabeza, infecciones más frecuentes y cambios en la piel, sobre todo sarpullidos y el cloracne, mismo que se ha dado en personas de diferentes edades.

En resumen, se puede indicar que, los efectos tóxicos de los PCB's en el ser humano aún no se reconocen en toda su magnitud y que el grado de toxicidad aumenta a medida que se incrementa el contenido de cloro.

#### **4.3. Riesgos para la salud y el medio ambiente.**

El riesgo de intoxicación por inhalación de PCB's es bajo, debido a la baja presión de vapor de estas sustancias. A diferencia del contacto con la piel y la ingesta que pueden tener graves consecuencias. Los puntos principales de ataque son el hígado y el sistema enzimático.

Los síntomas comunes de la intoxicación crónica son: náuseas, vómito, pérdida de peso, edemas y dolores en el bajo vientre. Cuando el hígado sufre severas lesiones, el paciente entra en coma y hasta puede producirse la muerte.

Según el dossier de Hechos Verdes sobre la salud y el medio ambiente (en sus siglas en inglés; Green Facts Facts on health and the Environment) los estudios establecieron la dosis diaria a la que se expondría ante los PCB's, a partir del cual una determinada especie de monos particularmente sensible empezaba a presentar síntomas de padecer efectos perjudiciales para la salud (en los sistemas tanto inmunológico como nervioso).

Partiendo de dichos resultados, y teniendo en cuenta la exposición a largo plazo, se ha establecido una ingesta diaria de PCBs tolerable para los animales de prueba y posteriormente se consideró para las personas.

Por tanto, las personas y niños pueden estar expuestos a los Bifenilos Policlorados (PCBs) al comer pescado o animales silvestres capturados en áreas contaminadas. En algunos estados, tribus indígenas, y territorios de Estados Unidos, han puesto avisos para advertir a la gente acerca del consumo de pescado y de animales silvestres contaminados con PCBs. Por tanto, es importante que todas las personas, para reducir la exposición a este tipo de riesgos, deban obedecer estos avisos.

Es importante enseñar y advertir a los niños que no deben jugar con aparatos antiguos, artículos eléctricos o transformadores, ya que pueden contener PCBs.

Se debe recomendar a todas las personas de todas las edades incluyendo niños que deben tener cuidado al estar en suelos cerca de sitios de desechos peligrosos no controlados y en áreas donde se incendió algún transformador.

Es importante crear conciencia en los trabajadores que están expuestos a PCBs en el trabajo, ya que existe la posibilidad de que se lleve estas sustancias al hogar en su ropa, cuerpo o herramientas. Por ello en estos casos, es significativo que los mismos puedan ducharse y cambiarse la ropa de trabajo antes de dejar su fuente laboral, por otra parte, esta ropa debe mantenerse y lavarse separada de otra ropa que no es de trabajo.



5.

## GUÍA TÉCNICA PARA INVENTARIACIÓN DE PCBS EN EQUIPOS ELÉCTRICOS



## 5. Guía Técnica para Inventariación de PCBs en equipos eléctricos

### 5.1. Planificación para trabajo de inventario

#### 5.1.1. Aspectos Generales de los PCBs

Los bifenilos policlorados, son compuestos organoclorados, que se forman a partir de la sustitución de un hidrógeno, por un cloro en las diferentes posiciones del bifenilo, 10 en total; que poseen una estructura química orgánica similar y que se presentan en una variedad de formas que va desde líquidos grasos hasta sólidos cerosos y pueden llegar a más de 200 los que forman parte de esta familia.

“La primera síntesis de PCBs fue realizada por Schmitt-Schulz en Alemania en 1881, iniciándose su producción a nivel industrial por la empresa Monsanto en 1929. El máximo de producción tuvo lugar a final de la década de 1970, con unas 610.000 toneladas anuales estimadas.”

Debido a su gran estabilidad térmica biológica y química, y por su elevada constante dieléctrica, los PCBs se usaron masivamente hasta mediados de la década de 1970 como aislantes para equipos eléctricos como transformadores, interruptores, condensadores y termostatos. Su mayor fabricante a escala mundial ha sido la empresa Monsanto, que en 1935 absorbió la empresa que lo comercializaba desde 1927, Swann Chemical Company (inicialmente Anniston Ordnance Company).

Por sus características anti-inflamables, la mayoría de los aceites dieléctricos con PCBs se usaron fundamentalmente en áreas con alto riesgo de incendio, tales como plantas industriales, en transporte colectivo de tracción eléctrica (tranvías) y en la industria petroquímica, específicamente en:

- Transformadores eléctricos
- Condensadores de alta y baja tensión
- Interruptores automáticos de media y alta tensión, reguladores de tensión.
- Cables eléctricos con fluidos aislante

#### 5.1.2. Objetivo del Inventario.

El objetivo del inventario es identificar, cuantificar y registrar equipos, aceites, y materiales potencialmente contaminados con PCBs para para su tratamiento o disposición final.

Es decir:

- Contar con información de respaldo para elaborar un plan de gestión de los equipos, aceites y residuos que contienen PCBs, en una empresa.
- Contar con información documentada que respalde la implementación de un plan de tratamiento y/o disposición final.
- Dar cumplimiento a normas nacionales e internacionales establecidas con relación a la gestión ambiental de los PCBs.

#### 5.1.3. Planificación para realizar el inventario.

Para el desarrollo de un inventario es importante que se haga una planificación de todos los pasos a seguir y establecer el nivel y orden de inventarios de todos los equipos, existencias y otros, por ejemplo: transformadores, capacitores, interruptores en baño de aceite, aceites, residuos con contenidos o que han estado en contacto con los PCBs. Las tareas de gabinete y de campo que además tienen que ser cumplidas por los técnicos encargados del trabajo.

#### **5.1.4. Revisión de antecedentes sobre la problemática.**

Debido a sus características, los bifenilos policlorados fueron ampliamente utilizados para reducir riesgos de incendios, sobre todo, en la industria de generación eléctrica. Su producción se inició allá por el año 1927 con la empresa, Swann Chemical Company (inicialmente Anniston Ordnance Company) que fue, posteriormente, absorbida por la empresa Monsanto. El uso masivo de este producto alcanzó su pico por la década del 70, hasta que se puso en evidencia el efecto sobre el medio ambiente y la salud de animales, plantas y personas.

Se usó este compuesto, como aditivo en aceites dieléctricos en transformadores, capacitores, etc. Su estabilidad química (inercia química) y sus propiedades físicas (termo resistencia, no inflamabilidad, baja presión de vapor y elevada constante dieléctrica) dieron lugar a su aprovechamiento y comercialización.

A la vez, de las “ventajas” del uso de este compuesto, se generó un gravísimo problema ambiental por la característica persistente al liberarse los PCBs al ambiente. Como se sabe, los PCBs se transportan por aire, suelo y agua, es de esta manera que ingresa en la cadena alimenticia al ser absorbido por el plancton, estos a su vez por invertebrados, peces, etc. y así llegar hasta los humanos.

La combustión, no controlada, de los PCBs puede generar dioxinas y furanos que son más tóxicos que los mismos bifenilos policlorados.

En el agua se sabe que un litro de bifenilos policlorados crea una capa superficial de más de 8.000 m<sup>2</sup> y contamina aproximadamente un millón de litros de agua potable; en lagos, lagunas, ríos y mares afectando a la fauna presente, biomagnificándose en la cadena alimenticia.

#### **5.1.5. Límites permisibles de los PCBs según el Convenio de Estocolmo**

Según el Convenio de Estocolmo sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes (COPs), firmado el 22 de mayo de 2001 se reconoce que los contaminantes orgánicos persistentes tienen propiedades tóxicas, resisten la degradación, se bioacumulan se transportan por aire, agua y suelo acumulándose en ecosistemas terrestres y acuáticos, asimismo generan grandes problemas de salud, por exposición a los contaminantes.

El objetivo principal del convenio es proteger la salud humana y el medio ambiente frente a los contaminantes orgánicos persistentes y que incluyen a los PCB's. Con respecto a la eliminación del uso de los PCB's en equipos (por ejemplo, transformadores, condensadores u otros receptáculos que contengan existencias de líquidos residuales) esta debe realizarse a más tardar hasta el 2025, con sujeción al examen que haga la Conferencia de las Partes, para adoptar medidas de conformidad con las siguientes prioridades:

- Realizar esfuerzos decididos por identificar, etiquetar y retirar de uso todo equipo que contenga más de un 10% de PCB's y volúmenes superiores a 5 litros.
- Realizar esfuerzos decididos por identificar, etiquetar y retirar de uso todo equipo que contenga más de un 0,05% de PCB's y volúmenes superiores a los 5 litros.
- Esforzarse por identificar y retirar de uso todo equipo que contenga más de un 0,005% de PCB's y volúmenes superiores a 0,05 litros.

#### **5.1.6. Identificación de los puntos a ser inventariados.**

La identificación de los puntos a ser inventariados, es clave y la palabra bifenilos policlorados, dará la pauta de las industrias y empresas en las que se centrará el objetivo de la realización de este inventario ya que como se afirmó, este compuesto fue usado como aditivo en aceites dieléctricos de

transformadores, capacitores, etc. Además de usarse en balastos, papel químico y otros.

En Bolivia, no se fabricó este compuesto, por tanto, el inventario debe enfocarse hacia aquellas industrias, empresas que importaron equipos, considerando el año de fabricación de estos equipos de fabricación anterior a 1992 y por la procedencia del equipo (Estados Unidos, Alemania, Rusia, Francia, Eslovaquia, Japón, Reino Unido, España, Italia, Argentina, Brasil lugares en los que fue producido en, gran medida este aditivo), aquellas en las que su uso fue y es necesario.

En este caso, las empresas generadoras y distribuidoras de electricidad, la industria minera y la hidrocarburífera, son las que, en gran parte, adquirieron equipos con las características mencionadas.

### 5.1.7. Tipo de Equipos a ser inventariados.

Es importante recordar que hay diferentes tipos de equipos, aceites, residuos con contenidos de PCB's, los más comunes que han sido identificados en Bolivia y que deben ser inventariados con preferencia son: Transformadores, Capacitores, cables, aceites, Desechos con contenidos de PCB's, entre otros.

#### Transformadores.

Imagen 1. Transformador de COMIBOL - Machacamarca



Fuente: Proyecto PCB's

Según la enciclopedia libre “Se denomina transformador a un dispositivo eléctrico que permite aumentar o disminuir la tensión en un circuito eléctrico de corriente alterna, manteniendo la potencia.”

Un transformador, puede estar en funcionamiento, por muchos años (en algunos casos más de 30) con el mantenimiento preventivo adecuado. En caso de no ser así, implica riesgos por sobrecarga, temperatura, mal manejo, etc.

La mayoría de los transformadores adquiridos por las empresas del país, entre 1929 y 1992, tienen o son sospechosos de contener PCB's en mayor o menor concentración a la establecida por el Convenio de Estocolmo que es de 50 ppm. Estos equipos, cuando fueron adquiridos, tenían o tienen una placa que los identifica claramente y en ella se encuentra información sobre la fecha de fabricación, la fábrica, el tipo de aceite, el peso de aceite, el peso total del transformador con aceite, el peso del transformador sin aceite, la potencia, las fases, etc.

Lamentablemente, ya sea por el uso, el paso de los años, vandalismo, mantenimiento; estas placas desaparecieron y no existe información sobre el transformador. Lo que dificulta su identificación y determinación del tipo de aceite que contiene.

#### Capacitores

**Imagen 2.** Transformador de COMIBOL - Machacamarcá



Fuente: Proyecto PCB's

“Un condensador (en inglés, capacitor, nombre por el cual se le conoce frecuentemente en el ámbito de la electrónica y otras ramas de la física aplicada), es un dispositivo pasivo, utilizado en electricidad y electrónica, capaz de almacenar energía sustentando un campo eléctrico. Está formado por un par de superficies conductoras, generalmente en forma de láminas o placas, en situación de influencia total (esto es, que todas las líneas de campo eléctrico que parten de una van a parar a la otra) separadas por un material dieléctrico o por el vacío.”

Los capacitores de potencia son utilizados para compensar y liberar la red de la energía reactiva no deseada. Tienen información sobre sus características eléctricas, físicas y dieléctrico, en una placa adherida al equipo.

En caso de que no tengan placa y no se cuente con información sobre el aceite dieléctrico o bien fueron manufacturados antes de 1980-1985 deberán ser sometidos a análisis. Cabe aclarar que los condensadores (capacitores) se construyen de forma tal que permanezcan herméticamente cerrados y se evite el acceso directo al líquido dieléctrico, por lo que no es posible tomar muestras para realizar el análisis sin destruir la carcasa del equipo.

### **Aceites dieléctricos**

Los aceites dieléctricos, más propiamente aceites minerales, están compuestos principalmente por Carbono (83 % - 87 %) e Hidrógeno (11 % - 14 %) y resultan de la destilación fraccionada de petróleo bruto y constituidos por mezcla de hidrocarburos.

Esta mezcla es sometida a refinación para eliminar compuestos inestables y corrosivos.

En el transformador, condensador (capacitor) el aceite dieléctrico, debe cumplir dos funciones: como aislante eléctrico y como medio refrigerante. Y para eso, debe cumplir lo siguiente:

- Baja viscosidad.
- Elevada conductividad térmica.
- Baja temperatura de congelación.
- Alta temperatura de combustión.
- Bajas pérdidas dieléctricas.
- Alta tensión de ruptura dieléctrica.
- Libre de compuestos corrosivos.
- Buena estabilidad química.
- Elevada estabilidad a la oxidación.
- Ausencia de humedad y sólidos en suspensión.
- Mínima formación de lodos y barro durante el servicio.

En el inventario a realizarse, deberá observarse si existen turriles, tambores u otros recipientes que contengan aceites dieléctricos. Deberá consultarse con la empresa la procedencia de estos aceites. En caso de que procediesen del mantenimiento de transformadores, verificar a cuáles se refieren.

## Desechos contaminados con PCB's

Todo material que haya entrado en contacto con equipos, aceites con contenidos de PCB's, etc. deberá ser considerado como contaminado y tratarse bajo las mismas condiciones que equipos y aceites contaminados.

### 5.2. Materiales a ser utilizados en el trabajo

#### 5.2.1. Cuestionarios para el inventario (herramientas de trabajo de campo)

El presente cuestionario es una herramienta de apoyo para los técnicos que realizarían el levantamiento de información en campo, con el cual podrán posteriormente introducir la información en una base de datos digital a ser obtenidos del SIN-PCBs, del Viceministerio de Medio Ambiente, Biodiversidad, Cambios Climáticos y de Gestión y Desarrollo Forestal

#### A). Registro en campo de Empresas con PCBs (Actualización de información)

Número de registro:
Fecha / mes / año:
Inspector / Técnico:

A	Información sobre la empresa	
1	Nombre o Razón Social:	
2	Nombre de Representante Legal:	
7	Sector de empresa:	
8	Actividad de Empresa:	
3	Departamento:	
4	Dirección de Oficinas:	
5	Dirección del sitio de operación: (si difiere del anterior)	
6	Teléfono:	
7	Fax:	
8	Correo Electrónico:	
9	Tipo de Empresa (Pública o privada):	
10	Descripción del Lugar: (Seleccionar la opción que más se ajuste)	Zona industrial
		Otra zona urbana
		Zona rural
11	Número de empleados en el sitio visitado:	>50
		10 a 50
		<10
12	Consumo total de electricidad en el sitio:	KWh / añ
13	Plan de acción para eliminar PCBs	SI NO
14	Se realizó eliminación de PCBs en gestiones anteriores	SI NO

**B) Registro en campo de Equipos con PCBs  
(actualización de información)**

Número de registro:
Fecha / mes / año:
Inspector / Técnico:

<b>B</b>	Información correspondiente al equipo que pueda contener PCB (Rellenar una Sección B completa por cada equipo y adjuntar)			
<b>Datos de Placa del Equipo</b>				
1	Código asignado por la empresa:			
2	Nombre del fabricante:			
3	País de origen:			
4	Año de fabricación			
5	Tipo de Equipo (transformador, condensador, etc.)			
6	Número de serie			
7	Potencia (voltaje)			
<b>Características del Equipo</b>				
8	Peso Equipo	Equipo Vacío (Kg.)		
		Aceite/líquido (Kg.)		
		Peso total (Kg.)		
9	Dimensiones	Largo	(m)	
		Ancho	(m)	
		Alto	(m)	
		Diámetro	(m)	
10	Concentración de PCB del líquido (ppm) (En caso de conocer las concentraciones, colocar cantidades exactas)			
11	Tipo de análisis de PCB (Sin Análisis, Colorimétrico, Electroquímico, Cromatográfico)			
<b>Estado del Equipo</b>				
12	Estado operativo del equipo	Fuera de Operación		
		En operación		
		Fuera de Operación y sin aceite		
13	Condiciones del equipo (Seleccionar la opción que más se ajuste)	El equipo se encuentra en óptimas condiciones		Excelente
		El equipo se encuentra sin filtraciones y con indicios leves de oxidación		Bueno
		El equipo presenta indicios de filtración		Regular
		El equipo presenta filtraciones		Malo
		El equipo se encuentra desmantelado, oxidado y fuera de funcionamiento		Obsoleto

14	Mantenimiento del equipo	Tipo de Mantenimiento	SI	NO
		Rellenado con aceite		
		Fecha de Mantenimiento		
		Nombre de la compañía que efectuó el Mantenimiento		
		Tipo de líquido o aceite aislante para rellenado		
15	Ubicación de Almacén:			
16	Coordenadas de Almacén:	UTM X		UTM Y
17	Otras observaciones (si es necesario utilice una hoja aparte)			

### C) Registro en campo de Aceites con PCBs (actualización de información)

Número de registro:

Fecha / mes / año:

Inspector / Técnico:

C	Información sobre Aceites susceptibles de contener PCBs			
1	Código del Contenedor:			
2	Cantidad (Unidad):			
3	Volumen de Aceite (L)			
4	Peso Aceite	Contenedor vacío (Kg.)		
		Aceite (Kg.)		
		Peso total (Kg.)		
5	Peso total (ton)			
6	Tipo o Nombre del líquido o aceite aislante/ refrigerante, etc.			
7	Tipo de contenedor (Turril, bidón, etc.)			
8	Concentraciones de PCB (ppm) (En caso de conocer las concentraciones, colocar cantidades exactas)			
9	Tipo de análisis de PCB (Sin análisis, Colorimétrico, Electroquímico, Cromatografico)			
10	Condiciones del Aceite (Bueno: Se puede reutilizar, Malo: Aceite quemado, no se puede reutilizar)			
11	Disposición (Almacenado, Intemperie)			
12	Ubicación de Almacén:			
13	Coordenadas de Almacén:	UTM X		UTM Y
14	Observaciones (ej.: resultados de toma de muestra y análisis), (si es necesario utilice una hoja aparte)			

**D) Registro en campo de Desechos con PCBs  
(Actualización de información)**

Número de registro:
Fecha / mes / año:
Inspector / Técnico:

D	Información sobre desechos susceptibles de contener PCBs			
1	Código del Contenedor:			
2	Cantidad (Unidad):			
3	Peso Desecho	Contenedor vacío (Kg.)		
		Desecho (Kg.)		
		Peso total (Kg.)		
4	Peso total (ton)			
5	Volumen (m <sup>3</sup> )			
6	Tipo/Clase de desecho (Suelos, partes de equipos, materiales de bioseguridad, etc.)			
7	Tipo de contenedor (Turril, bidón, etc.)			
8	Concentraciones de PCB (ppm) (En caso de conocer las concentraciones, colocar cantidades exactas)			
9	Tipo de análisis de PCB (Sin Análisis, Colorimétrico, Electroquímico, Cromatografico)			
10	Condiciones del contenedor (Apto: Turriles metálicos específicos para existencias con PCBs; No apto: Otro tipo de contenedor).			
11	Disposición (Almacenado, Intemperie)			
12	Ubicación de Almacén:			
13	Coordenadas de Almacén:	UTM X		UTM Y
14	Observaciones (ej.: resultados de toma de muestra y análisis), (si es necesario utilice una hoja aparte)			

### 5.2.2. Formularios para el inventario

Tabla 3. Formulario del inventario de equipos con PCB's

\*Seleccionar una opción

N°	COORD UTM X	COORD UTM Y	Ubicación	Tipo Equipo	Cantidad	Código Empresa	N° SERIE/ PLACA	Año	Marca	Origen	Potencia (KVA)	Volumen aceite (l)	Dueros w	Ancho (m)	Largo (m)	Alto (m)	V aceite (L)	Peso aceite (Kg)	Peso Carcasa (Kg)	Peso Total aprox. (Kg)	Peso Total Aprox. (TON)	Contenido PCBs*	Estado del Equipo	Condición del Equipo	Disposición	Tipo de Análisis	Obs.
																							Excelente Bueno Regular Malo Obsoleto	Almacenado Interperie	Sin análisis Cromatográfico Electroquímico		

Tabla 4. Formulario del inventario de aceites con PCB's

\*Seleccionar una opción

N°	COORD UTM X	COORD UTM Y	Ubicación	Tipo de Aceite	Cantidad	CODIGO	Volumen aceite (l)	Peso Contenedor vacío (Kg)	Peso Aceite (Kg)	Peso Total (Kg)	Peso Total (TON)	Contenido de PCBs	Condiciones del Aceite*	Disposición	Tipo de Análisis*	Obs.
													Bueno: Contenedor se puede reutilizar Buenos: Contenedor se puede reutilizar Mala: Aceite quemado, no se puede reutilizar	Almacenado Interperie	Sin análisis Cromatográfico Electroquímico	

Tabla 5. Formulario del inventario de desechos con PCB's

\*Seleccionar una opción

N°	COORD UTM X	COORD UTM Y	Ubicación	Tipo de Desecho	Cantidad	CODIGO	Volumen Desecho (m³)	Peso Contenedor vacío (Kg)	Peso Desecho (Kg)	Peso Total (Kg)	Peso Total (TON)	Contenido de PCBs	Condiciones del Contenedor	Disposición	Tipo de Análisis	Obs.
													Apto No apto	Almacenado Interperie	Sin análisis Cromatográfico Electroquímico	

### 5.2.3. GPS.

La ubicación geográfica de los depósitos, almacenes, contenedores o lugares en los que se tuviere confinado el equipo, aceites o desechos contaminados con PCB's deberá conocerse con precisión para, de esta manera, establecer una relación geográfica entre equipo confinado, depósito y mapa. Lo cual permitirá determinar, distancias y otra información geográfica pertinente.

Para este cometido se deberá disponer de un GPS en el que se registrará la posición geográfica, ya sea del equipo o sólo del almacén, contenedor o depósito. Este dato deberá registrarse tanto en el formulario de campo, en el momento del muestro y análisis o en el documento que sea utilizado para la verificación de información.

### 5.2.4. Registros de equipos.

El registro de equipos deberá realizarse siguiendo estas etapas:

- Envío de cuestionario a empresas
- Recepción de cuestionario
- Revisión de cuestionario
- Planificación de visitas (inspección y/o verificación en campo)

Toda la información recibida y/o obtenida se deberá incorporar en una base de datos misma que deberá ser diseñada por los técnicos que realicen todo el trabajo de inventariación.

Asimismo, será importante que se cuente además con un Sistema de Información Georeferenciada, misma que podrá indicar la situación en la cual se encuentra dicha empresa con relación a todo lo inventariado y el área que lo circunda.

### 5.2.5. Kit colorimétrico de ensayo para identificación de presencia de PCB's.

Para el proceso de identificación y/o descarte, sobre presencia de PCB's en aceites dieléctricos o suelos, existe un método de ensayo generalizado por ser rápido, fácil de utilizar, seguro y efectivo. Este kit, fabricado por la empresa DEXSIL y denominado CLOR-N-OIL, para aceites y CLOR-N-SOIL, para suelos; tiene las siguientes especificaciones técnicas:

- **Análisis:** PCB como cloruros
- **Fuente:** Aceite de transformadores
- **Método de detección:** Colorimétrico con agentes fijos
- **Niveles de acción:** 20, 50, 100 y 500 ppm
- **Tiempo de prueba:** 10 minutos
- **Método:** EPA SW-846 Método 9079<sup>1</sup>

“Cada Kit contiene todo lo necesario para realizar la prueba en menos de 10 minutos. Todos los agentes reactores están contenidos en ampollas con las cantidades precisas para obtener resultados seguros, efectivos y al instante.”

“Adicionalmente este proceso es el más económico para realizar el descarte de existencia de PCB en concentraciones fijas de 20, 50, y 500 ppm ahorrando una gran cantidad de tiempo y dinero en análisis de laboratorio u otros métodos.”

1 - <https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-12/documents/9079.pdf>

“Con la finalidad de eliminar la posibilidad de obtener falsos negativos, Dexsil ha calibrado los kits Clor-N-Oil®, con el Aclorol 1242 que contiene una concentración de cloruros de 42%. Con éste método que es más conservador se puede asegurar la obtención de falsos negativos por debajo del 1%.”

### 5.2.6. Equipo DEXSIL L2000DX.

Equipo fabricado por la empresa DEXSIL en Estados Unidos. Utiliza el mismo principio que el kit colorimétrico, pero con la diferencia de que utiliza un electrodo de ion específico para cuantificar la presencia de PCB's en la muestra analizada.

Las matrices en las que se puede analizar son: aceites de transformadores, capacitores, turriles, disyuntores, suelos, agua y superficies no porosas y en los rangos:

Aceite dieléctrico: 3 ppm – 2000 ppm;
Suelos: 3 ppm – 2000 ppm;
Agua: altos 3 ppm – 2000 bajos 20 ppb – 5 ppm
Superficies 3 - 2000 ug/100 cm2

La reacción química en el L2000DX es:



Y produce la conversión de Cl:

$$\text{ppm PCB} = \frac{\text{Total de iones cloruro medidos por el electrodo}}{\% \text{ de Cloro del Aroclor}}$$

Se procede luego de la extracción del analito con el solvente orgánico, y la extracción de iones de cloro, a la cuantificación del cloro usando el electrodo provisto en el equipo. Este, calcula la concentración equivalente de analito de acuerdo al método provisto y seleccionado.

#### Especificaciones técnicas

**Análisis:** PCBs y cloruros orgánicos

**Fuente:** Aceite de transformadores, suelos, aguas, superficies

**Método de Detección:** Electro-fotométrico

**Rango de medición:**

..... Suelos: 2-2000 ppm

..... Aguas: 10 ppb-2000 ppm

..... Superficies: 2-2000 ug/100cm2

**Tiempo de prueba:** Aceites - 5 min, Suelos, Superficies y Aguas 10 min

**Método:** EPA SW-846 Method 9078 para PCBs en suelos

**Código:**

..... Analizador L2-000

..... Prueba de Aceite de Transformador: LP-ORK

..... Prueba de Suelos: LP-SRK

..... Prueba de Aguas: LP-WRK

..... Prueba en superficies: LP-WIP

Una de las grandes ventajas del Dexsil L2000DX es que puede ser utilizado en los lugares de inspección/verificación o en el laboratorio por personal sin formación técnica. Una muestra de aceite se analiza en 5 minutos, mientras que agua, suelo y superficies toma, aproximadamente, 10 minutos. Esta rapidez, permitiría tomar decisiones rápidas sobre equipos, suelos, residuos, etc. que estén contaminados.

### 5.2.7. Equipos de protección personal (EPPs)

El EPP para la toma de muestras consiste de guantes de neopreno, lentes protectores, y delantal de seguridad. No es necesario equipo de protección respiratorio cuando se están tomando las muestras. Si se toman varias muestras durante un intervalo largo una protección respiratoria para vapores orgánicos es recomendada. La ilustración del equipo de protección personal que se recomienda usar es la que se muestra a continuación:

Figura 3. Equipos de protección personal



Fuente: ceseconsultores.com

- **Botas de seguridad:** Botas antiquímicos para trabajo liviano. Debe ser dieléctrica (punta de acero y protección contra choques eléctricos). También, la protección contra caída de objetos pesados, puede ser de composite. Con el acero no hay ningún inconveniente ya que la punta va por dentro y no cierra el circuito eléctrico.
- **Guantes de nitrilo:** Dependerá del tiempo de exposición y riesgo. Si es sólo para muestreo y el riesgo es bajo, se puede utilizar guantes de nitrilo descartables de buena resistencia. Cuando el riesgo se incrementa se deben utilizar guantes de nitrilo largo, que ofrecerán una mayor protección y resistencia y soporte a trabajo pesado.
- **Respirador:** Respirador descartable con filtros para partículas tóxicas y aceitosas para niveles de exposición baja. Si el muestreo lo exige, por el nivel de riesgo, se deberá usar un respirador tipo cartucho (full face o half face) con cartucho para filtrar los vapores orgánicos (NORMAS NIOSH).
- **Traje de protección:** Trajes antiquímicos, con capucha tipo TYVEK.
- **Anteojos de seguridad:** Se recomienda utilizar anteojos de seguridad en todos los casos. Salvo que se utilicen respiradores full face.

### 5.3. Trabajos de muestreo y análisis de campo.

Es imprescindible el realizar, con base en información ya trabajada y depurada, visitas de campo para el muestreo y análisis de equipos sospechosos de contener PCB's. En estas visitas, se deberá trabajar sobre la información trabajada y la que proporcione la empresa en el lugar. Deberá partirse del principio de buena fe y considerar que los comentarios de la empresa sobre el estado de los

equipos son ciertos. La verificación corresponderá y dará certeza sobre los datos sobre los que se trabajarán posteriormente.

### **5.3.1. Programación de Visitas.**

En coordinación con las partes involucradas (empresa, institución u otra entidad) se deben programar visitas de campo. Estas visitas deberán ser de inspección y verificación.

En todo caso, la entidad responsable de la inventariación deberá tener toda la información necesaria para contrastarla con la información que vaya a obtenerse IN SITU y fijarse el calendario en el que se realizarán estas actividades.

### **5.3.2. Coordinación con responsables del lugar a ser inventariado.**

Toda inspección/verificación, deberá realizarse en coordinación con el personal responsable que designe la empresa en el tipo de trabajo a realizar, acceso a los lugares, día, fecha, horario, tiempo de trabajo y cooperación de personal, esto con el fin de tener todos los datos precisos, evitar susceptibilidades y dejar constancia de que la información que se obtenga será transparente, confiable y estará disponible para ambas entidades.

### **5.3.3. Actividades en la visita del sitio/lugar (IN SITU).**

Se detallan a continuación:

- Reunión con responsables designados por la empresa.
- Se recomienda usar EPP's, aunque sean los mínimos necesarios.
- Observación del lugar en el que se encuentran los equipos. Y tomar nota de las características del mismo.
- Tomar las coordenadas del lugar.
- Empezar el proceso ya sea de muestreo o de inspección/verificación.
  - Llenar los formularios correspondientes y si es posible, un acta de visita al lugar.
  - Si se tratara de muestreo, deberán disponerse los residuos adecuadamente.
  - Registro fotográfico de cada equipo (placa y otros datos)

### **5.3.4. Precauciones a tomar para evitar la contaminación de la muestra.**

La contaminación de una muestra a otra, si es que no se tiene cuidado, es factible que pueda suceder por lo que se debe tener cuidado y garantizar, que en el caso de que se utilice material desechable, este sea nuevo para cada muestra. Y en caso de que no sea de esa manera, usar equipo no desechable, el cual deberá limpiarse antes de que se tome una muestra nueva. Se recomienda usar acetona en grado técnico. El material usado en la limpieza debe disponerse con el material contaminado con PCB's.

### **5.3.5. Reacción del kit colorimétrico.**

El proceso, básicamente, consiste en la conversión del cloro orgánico en cloro inorgánico. Este proceso, el de la conversión, es someter a la muestra a una reacción con exceso de sodio metálico en presencia de un catalizador. Esta reacción convierte el cloro orgánico covalente en cloro (iones libres). El proceso es completo, no queda cloro orgánico sin convertir. La concentración de los iones cloruro, se determina con una reacción colorimétrica. En el caso del kit colorimétrico, las pruebas pueden realizarse para 20 mg/kg, 50 mg/kg y 500 mg/kg.

### **5.3.6. Desechos de los materiales de muestreo y análisis utilizado.**

Los residuos que se generan durante el muestreo y análisis deben considerarse como desechos contaminados con PCB's y su disposición deberá ser adecuada ya que contienen mercurio y podrían contener PCB's. Se recomienda que estos desechos, se coloquen en bolsas plásticas gruesas y dispuestos en turriles o tambores no corrosivos y que puedan ser cerrados herméticamente.

## **5.4. Manejo de Equipos en Uso.**

### **5.4.1. Etiquetado de los equipos.**

Todo equipo que haya pasado por el inventario o por mantenimiento, deberá estar etiquetado a modo de precaución. Con base en el resultado de los análisis de la muestra o lo que indique la placa que el fabricante pone en condensadores o transformadores. El etiquetado estará enfocado a identificar el equipo para su disposición, evitar incidentes, asegurar la reducción de riesgos y reaccionar con propiedad, con solo ver la etiqueta, en caso de incidentes. Este etiquetado mostrará si el equipo contiene PCB's, está libre de PCB's o es sospechoso de contener PCBs, además de que el equipo fue fabricado sin PCB's (certificado que dé fe de que así es).

### **5.4.2. Transformadores con contenidos de PCB's desconocidos.**

Entre los transformadores a ser inventariados, un porcentaje de estos tendrá información sobre si contienen PCB's con concentración mayor al límite exigido por la Convención de Estocolmo. Otros, habrán sufrido contaminación por error (contaminación cruzada) y otros por operaciones de relleno o trabajos de mantenimiento y gran parte, no tendrá información sobre si el aceite contiene o no PCB's.

En los casos en que no se tenga información sobre la concentración de PCB's o se desconozca el tipo de aceite dieléctrico que contenga el equipo, deberá procederse al muestreo del mismo y a su posterior análisis. Inicialmente como descarte (tiene o no PCB's) y posteriormente, cuantificando PCB's.

### **5.4.3. Condensadores (capacitores) con PCB's.**

La mayoría de las placas de los condensadores (capacitores) indica el tipo de aceite que usa. En caso de no tener placa o que no se indique, se deberá tomar en cuenta la información que la empresa proporcione y si el año de fabricación es anterior a 1985, asumir que contiene PCB's. El muestreo o análisis no está considerado ya que estos equipos están sellados de fábrica.

## **5.5. Metodologías de análisis rápidos para detección de PCB's.**

### **5.5.1. Pruebas de análisis con Kits Colorimétricos de ensayo, para Identificación de presencia de PCB's.**

Los kits colorimétricos, están diseñados para la valoración de la existencia o no de PCB's en las muestras que se tomen.

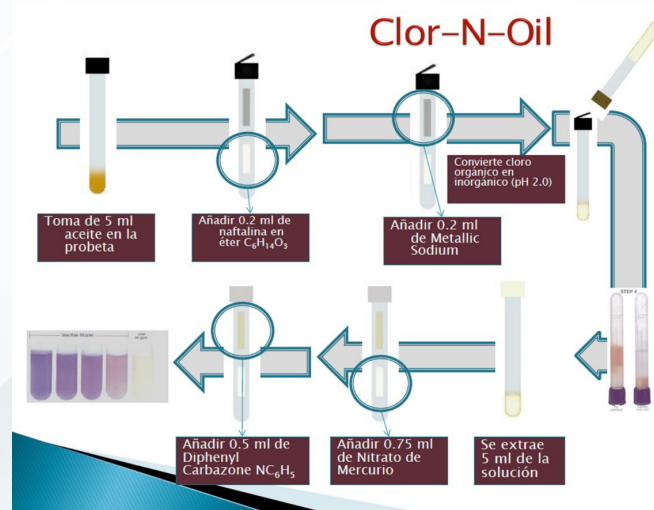
Cada Kit Clor-N-Oil de la compañía Dexsil contiene:

- Tubo de ensayo de plástico, de tapa negra con válvula, contiene una ampolla incolora con una marca azul (inferior) y una ampolla gris (superior).
- Tubo de ensayo de tapa blanca, conteniendo 7ml. de una solución buffer, una ampolla incolora con una marca blanca (inferior) y una ampolla verde roja (superior)

- Una pipeta desechable de plástico.
- Una ampolla de vidrio embalada en un tubo de cartón, designado como ampolla de eliminación.

En el caso del CLOR-N-OIL o CLOR-N-SOIL se sigue el siguiente proceso:

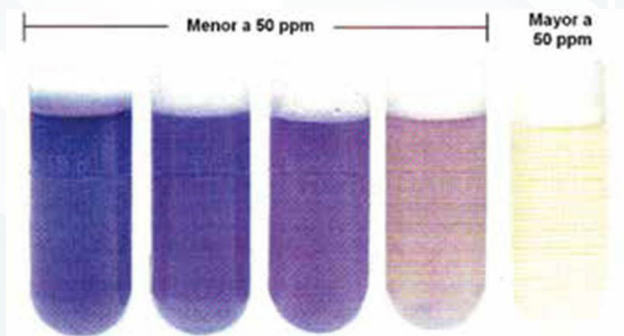
**Figura 4.** Proceso de análisis con kits colorimétricos



Fuente: docplayer.es

1. Retira la tapa negra del tubo. Utilizando la pipeta desechable, transfiera exactamente 5 ml. de aceite de la muestra (hasta la línea) para el tubo de tapa negra. Cierre bien el tubo.
2. Quiebre la ampolla con la marca azul (inferior) comprimiendo los lados del tubo. Agite vigorosamente durante 10 segundos. Quiebre la ampolla gris del tubo y agite bien durante 10 segundos (asegúrese de que la ampolla incolora es la primera a ser quebrada). Espere 50 segundos para que los reactantes reaccionen agitando intermitentemente.
3. Remueva las tapas de ambos tubos y transfiera la solución buffer (solución incolora) del tubo con tapa blanca para el tubo con tapa negra. Cierre el tubo y agite vigorosamente durante 10 segundos. Ventile el tubo con cuidado (abra la tapa apenas media vuelta) para aliviar la presión dentro del tubo. Agite 10 segundos más y ventile nuevamente el tubo. El aceite ya no debe estar grisáceo. Coloque el tubo (con tapa negra) bien cerrado con la tapa hacia abajo en una superficie plana y espere 2 minutos para que la solución acuosa se separe de la solución orgánica (aceite). Si el aceite queda por debajo de la solución acuosa, el aceite es PCB puro. Si el aceite se encuentra sobre la fase acuosa continúe con el test.
4. Si el aceite se encuentra por encima de la solución acuosa, levantar el tubo (invertido como está) con cuidado y transferir a través de la válvula del tubo, 5 ml. de la solución acuosa para el tubo (hasta la marca de los 5 ml). Tener cuidado para no introducir ninguna gota de aceite que se encuentra por encima de la solución acuosa. Cierre bien el segundo tubo. Quiebre la ampolla incolora (inferior) y agite durante 10 segundos. Quiebre la ampolla de color (superior) y agite durante 10 segundos.
5. Observe el color resultante y compare con la tabla de colores. Si la solución tuviera un color púrpura, el aceite contiene menos de 50 ppm de PCB's. Si la solución tuviera un color amarillo o incoloro, el aceite podría tener más de 50 ppm de PCB's. En seguida, se debe hacer un análisis a través de un método específico (cromatografía gaseosa) para la identificación y cuantificación de PCB's.

**Figura 5.** Tabla de colores resultante de análisis con kit colorimétrico



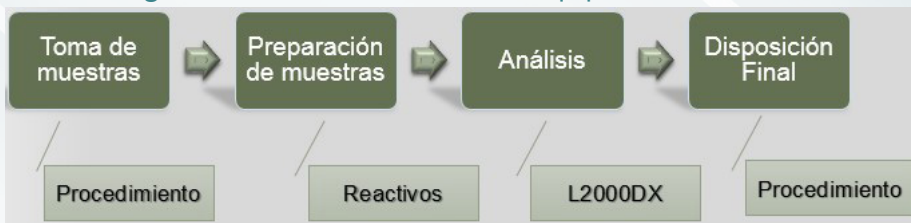
Fuente: docplayer.es

### 5.5.2. Pruebas de análisis de muestras con el Equipo DEXIL LD 2000

Equipo para análisis de muestras in situ o en laboratorio. Permite la medición de contenido de cloro a través de un procedimiento de ion específico, dando resultados cuantitativos de la presencia de PCB's. Se puede realizar mediciones para diferentes tipos de aroclor.

El proceso general de análisis de PCB's será:

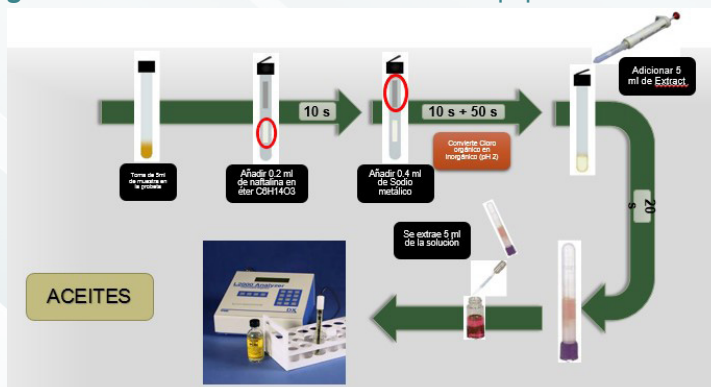
**Figura 6.** Proceso de análisis con el Equipo DEXIL LD 2000



Fuente: docplayer.es

El procedimiento es:

**Figura 7.** Procedimiento de análisis con el Equipo DEXIL LD 2000



Fuente: docplayer.es

1. Retira la tapa negra del tubo. Utilizando la pipeta desechable, transfiera 5 ml. de aceite de la muestra (hasta la línea) para el tubo de tapa negra. Cierre bien el tubo.
2. Quiebre la ampolla con la marca azul (inferior) comprimiendo los lados del tubo. Agite vigorosamente durante 10 segundos. Quiebre la ampolla gris del tubo y agite bien durante 10 segundos (asegúrese de que la ampolla incolora es la primera a ser quebrada). Espere 50 segundos para que los reactantes reaccionen agitando intermitentemente.

3. Se destapa el tubo con tapa negra y se adicionan 5 ml de solución EXTRACT. Tapar el tubo, sacudirlo y ventilar 3 veces, invertir el tubo y reposar por 2 minutos.
4. Filtrar la sustancia acuosa inferior del tubo dentro el vial de 20 ml.
5. Se prepara el equipo L2000DX, se selecciona el método, se calibra el electrodo (si es que así lo exige el equipo) y se lo introduce en el vial en el que se encuentra la solución acuosa. Se procede a la medición.

### **5.5.3. Pruebas Analíticas de Laboratorio**

Las pruebas de campo permiten descartar equipos que no contienen aceites dieléctricos con concentraciones de PCB's no permitidas. Se hace necesario, en muchos casos, el determinar cuantitativamente y cualitativamente el tipo de aroclor presente en el aceite dieléctrico. Para esto, se utilizan pruebas analíticas de laboratorio; la más efectiva, aunque costosa, es la cromatografía de gases.

La cromatografía de gases es una técnica en la que la muestra se recoge haciendo pasar una cantidad conocida de aire a través de un tubo relleno de carbón activo, mediante una bomba de muestreo personal, quedando los vapores orgánicos absorbidos sobre el carbón.

Posteriormente se mezcla con sulfuro de carbono y se analiza la disolución resultante en un cromatógrafo de gases equipado con detector de ionización de llama. Se obtienen las áreas de los picos de los analitos de interés y del patrón interno, determinando la cantidad presente en la muestra. A partir de la masa de los analitos presentes en la muestra se obtienen las concentraciones ambientales.

Para estas pruebas, es necesario que los laboratorios sean acreditados y tengan experiencias con resultados satisfactorios en ensayos de interlaboratorios.

Para la determinación, de la concentración de PCB's, se considera pueden utilizar las normas ASTM D4059-00-2005 y ASTM D6160-98.

## **5.6. Contenido y preparación del informe.**

### **5.6.1. Redacción del informe.**

El inventario deberá ser registrado y entregado en un informe a la autoridad del laboratorio responsable del manejo de dicho proceso. Contendrá, como mínimo lo siguiente:

1. Antecedentes
2. Objetivo
3. Análisis de la información
4. Elaboración del inventario de Equipos con presencia de PCB's
  - a. Equipos
  - b. Aceites
  - c. Desechos
5. Resultados
6. Conclusiones
7. Recomendaciones

Explicando:

**Antecedentes:** Se debe mencionar el marco jurídico o instructivo en el que se registrarán para realizar el inventario.

**Objetivo:** Es necesario explicar que se debe realizar el relevamiento de información sobre equipos con PCB's. Para tener información precisa sobre la presencia de equipos, aceites y desechos que contienen PCB's y que será utilizada en el proceso de gestión de los mismos.

**Análisis de la información:** Se recomienda verificar si existe información de anteriores inventarios, recabar información sobre equipos con fecha de fabricación anterior a 1992, revisar información de activos fijos, identificar equipos sospechosos en actividad o dados de baja.

**Elaboración del inventario:** Se debe consignar información a inventariar o registrar, las responsabilidades por cada componente del equipo, relevamiento de información sobre la información clasificada anteriormente y proceder a realizar una inspección/verificación además de obtener datos geográficos de la ubicación de los equipos, aceites y desechos (almacenes, depósitos, etc.). Se deben considerar las fuentes primarias (personal involucrado, importadoras, comercializadoras, etc.), secundarias (gobierno, autoridades de fiscalización, etc.) y de campo. Procesos de análisis químico (colorimétrico o L2000 DX) de aceites dieléctricos con resultados por equipo, registro fotográfico y datos de laboratorios si existieran. Esto, considerando: identificación de fuentes, descarte de PCBs, análisis confirmatorio y detalle amplio de los equipos.

**Resultados:** Debe registrarse los datos del Volumen de aceite dieléctrico, peso total de los equipos cuantificados, etiquetado de los equipos, ubicación precisa de los lugares y documentos de análisis de laboratorios.

**Conclusión:** Concluir la situación del equipo, aceite y/o residuo en la cual se encuentra.

Recomendación: Emitir recomendaciones y acciones que se deben tomar de acuerdo a lo concluido.

### 5.6.2. Documentos para el informe

Cuestionario debidamente llenado y revisado.

Información de ubicación geográfica de lugares con equipos con PCBs, Base de datos, SIG y/o mapas de los sitios con equipos con PCBs

Datos de activos fijos de la empresa sobre los equipos.

Informes y registros de laboratorios que haya solicitado la empresa.

### 5.6.3. Resultado Final de Inventario

Base de datos elaborada con datos confiables, disponibles, íntegros. Sistema de información Geográfica complementario para determinar ubicaciones y riesgos.

### 5.6.4. Documentación en registro fotográfico

Deberá consignarse un registro de fotografías de los sitios inventariados, de cada equipo (placa, etc.), aceite, residuos, del personal que realiza el inventario y otros que fueran considerados importantes.



6.

## ALMACENAMIENTO TEMPORAL DE EQUIPOS CON PCBS



## 6. Almacenamiento Temporal de Equipos con PCBs.

### 6.1. Infraestructura de Almacén.

Se refiere al material, diseño y sitio donde se emplaza el almacén que servirá para mantener equipos, aceites y residuos con PCBs de manera temporal antes de su disposición final.

#### Material

El uso de material es variado, pues dependerá de cómo se quiere construir el almacén, pues se puede incluir el uso de piedra, ladrillo, cemento, arena, calaminas, barras y mallas metálicas, canaletas, etc.

La cantidad y tipo de material utilizado dependerá de la solides que se pretenda dar a la estructura y tamaño que estará en función a la cantidad de elementos que se almacenaran.

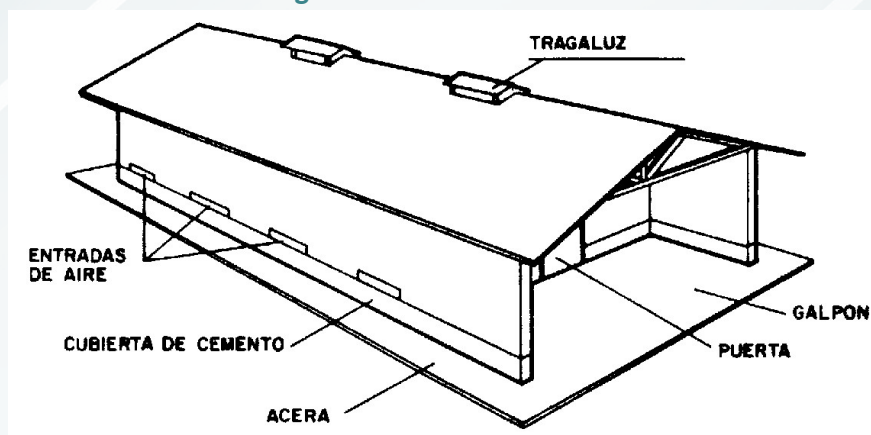
El piso está constituido por un empedrado y recubierto con hormigón con pendiente interna que oriente cualquier derrame de líquidos.

Las paredes pueden ser de ladrillo o malla metálica, en ambos casos el objetivo es delimitar el área de almacenamiento.

El techo generalmente es metálico (calaminas) con una determinada pendiente, cuyo fin es evitar que el sol y la lluvia incidan de manera directa sobre los elementos almacenados.

A continuación, se tiene un diseño de almacén modelo:

**Figura 8.** Modelo de almacén



Fuente: fao. org

**Figura 9.** Paredes de ladrillo



Fuente: proyecto PCBs

**Figura 10.** Área de almacén con malla metálica

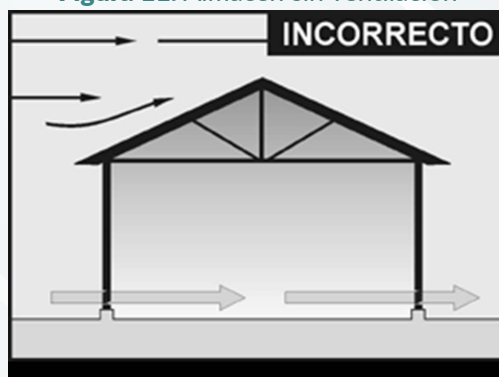


Fuente: agfprocesos.com

Como se aprecia en las Fig. 9 y 10, se puede construir las paredes del almacén con ladrillo o malla metálica, lo importante es delimitar el contacto y acceso de terceras personas con equipos, aceites y residuos con PCBs almacenados de manera temporal.

### Ventilación:

**Figura 11.** Almacén sin ventilación



Fuente: documentación.ideam.gov.co

Una estructura cerrada puede ocasionar la acumulación de gases en su interior Fig.11., Situación que afecta al personal que ingresa en el mismo. Por lo tanto, se debe modificar el diseño del almacén para que éste permita el ingreso de una corriente de aire y ventile el interior del ambiente.

**Figura 12.** Almacén con ventilación

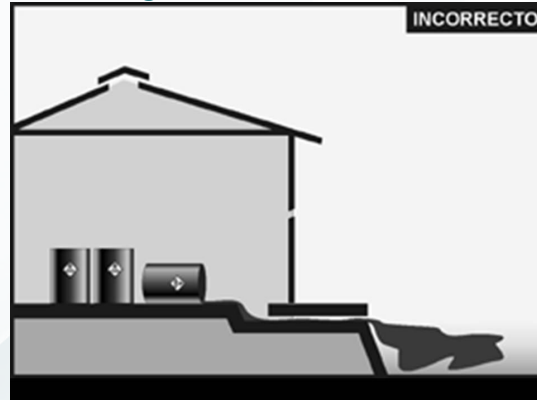


Fuente: documentación.ideam.gov.co

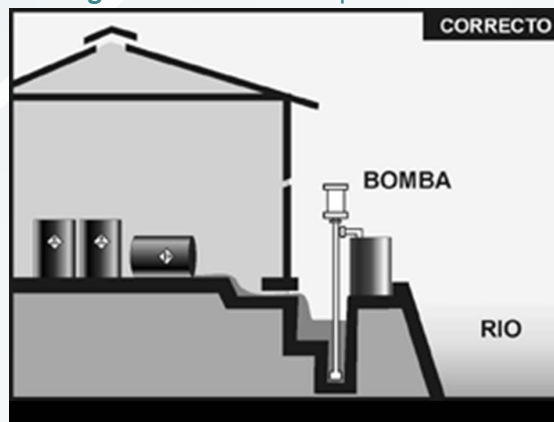
Como se aprecia en la Fig. 12., el aire debe fluir libremente en el interior del almacén desde la parte baja de las paredes hacia el techo, esto permitirá una ventilación continua del ambiente.

**Pisos:**

Los pisos deben ser de preferencia impermeables y cualquier derrame accidental de aceite con PCBs no debe superar el perímetro interno del almacén. En la Fig.13, se observa una situación que debe evitarse para no contaminar suelos.

**Figura 13. Piso sin barreras**

Fuente: documentación.ideam.gov.co

**Figura 14. Piso canales para derrames**

Fuente: documentación.ideam.gov.co

El perímetro interno del almacén debe tener canales de retención que eviten que cualquier derrame accidental de aceite se extienda más allá del perímetro del almacén Fig.14., dichos canales deberán tener una capacidad de 120% en volumen en comparación a los volúmenes de aceite almacenados.

**Figura 15. Rampa de ingreso**

Fuente: documentación.ideam.gov.co

Tal como se aprecia en la Fig. 15., y como una situación ideal es que el almacén se convierta en una especie de piscina en el cual se retenga por completo cualquier derrame “accidental” y este no exceda los límites internos del almacén.

### Ubicación de almacenes

El almacén debe ser construido por lo menos a 100 metros de puntos sensibles como cuerpos de agua, producción de alimentos, escuelas, hospitales, etc. y lejos de zonas propensas a inundaciones, es decir, un lugar aislado e independiente, en un terreno estable, para lo cual se deberán hacer estudios de suelos.

Figura 16. Almacenes juntos



Fuente: documentación.ideam.gov.co

En la Fig.16., se observa que ante un incidente los almacenes construidos uno junto al otro sin un espacio libre de acceso dificultan responder de manera eficiente ante cualquier incidente. Por lo tanto, se recomienda que se construyan varios almacenes, estos deben incluir una separación prudente.

Figura 17. Almacenes separados

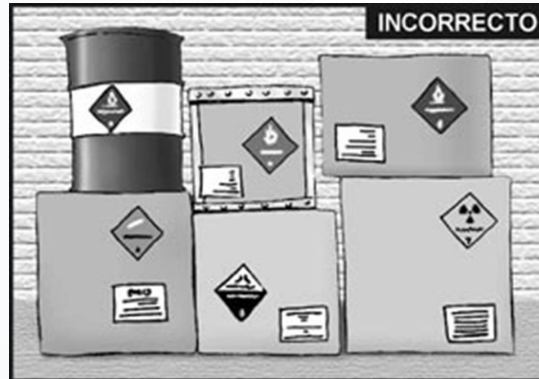


Fuente: documentación.ideam.gov.co

En la Fig. 17., se aprecia que la construcción de almacenes separados facilita vías de acceso ante cualquier incidente y/o incendio que pudiere suscitarse, por lo cual es importante considerar este aspecto.

## 6.2. Forma de Almacenamiento de los Equipos, Aceites, Materiales y Desechos con contenidos de PCB's

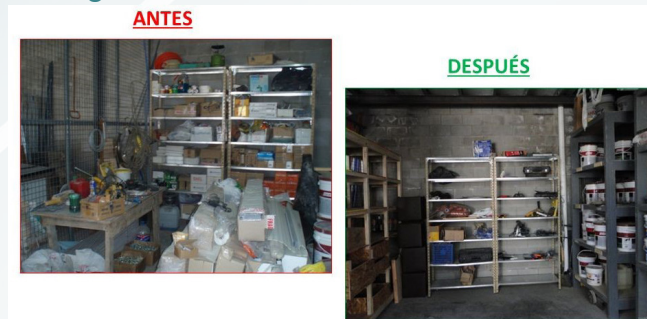
**Figura 18.** Forma incorrecta de Almacenamiento



Fuente: documentación.ideam.gov.co

En la Fig.18, se observa una forma incorrecta de almacenar equipos, aceites, materiales y desechos, porque no se guarda orden, clasificación, seguridad en los elementos almacenados, además de estar en contacto directo con el piso, lo cual, es completamente inadmisibles en el caso de PCBs.

**Figura 19.** Forma ordenada de Almacenamiento



Fuente: reaxion.utleon.edu.mx

En la Fig.19, se observa una forma ordenada y correcta que incluye clasificación de los elementos almacenados, además de evitar el contacto directo con el piso. Se pueden utilizar estructuras metálicas acordes al tamaño de los elementos almacenados para ganar espacio.

Es importante señalar que la disposición de los elementos almacenados dependerá del espacio y habilidad de las personas que diseñen el almacén.

**Imagen 3.** Bandejas para retener derrames



Fuente: productosquimicosymedioambiente.com; plasticosqb.cl; denios.com.ar

El uso de bandejas en la base de cada elemento almacenado es imperioso para retener cualquier posible derrame de aceite con PCBs. Todo equipo o tambor que contiene aceite por su deterioro o desgaste natural puede ocasionar derrames accidentales, razón por la cual, otra opción para evitar estos derrames es el sellado en frío de estos recipientes.

Es importante el uso de Pallets para evitar el contacto directo de los elementos almacenados con el suelo, además que sirven para facilitar la movilidad de estos evitando el contacto directo con cualquier tipo de maquinaria empleada para este propósito como son los montacargas, grúas u otros. El objetivo principal es evitar el contacto directo con cualquier cosa que pudiera contaminarse por contacto directo con PCBs.

Como se aprecia en la lmg. 4., se pueden adecuar bandejas al tamaño de los pallets, lo importante es tener estabilidad de los elementos almacenados y contener cualquier derrame accidental.

Imagen 4. Uso de pallets



Fuente: promtec.com.br

### 6.3. Señalética en Almacén

El almacén debe tener en su ingreso la identificación o descripción del tipo de elementos que se encuentran almacenados en su interior.

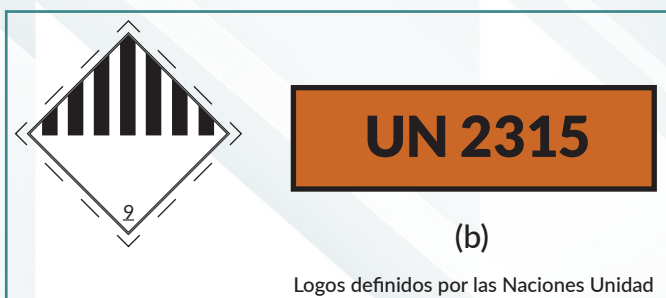
Imagen 5. Identificación externa del almacén



Fuente: yoselinnflores.blogspot.com

Esta identificación puede ser en forma de texto o mediante el uso de gráficos que identifiquen el tipo de elementos almacenados.

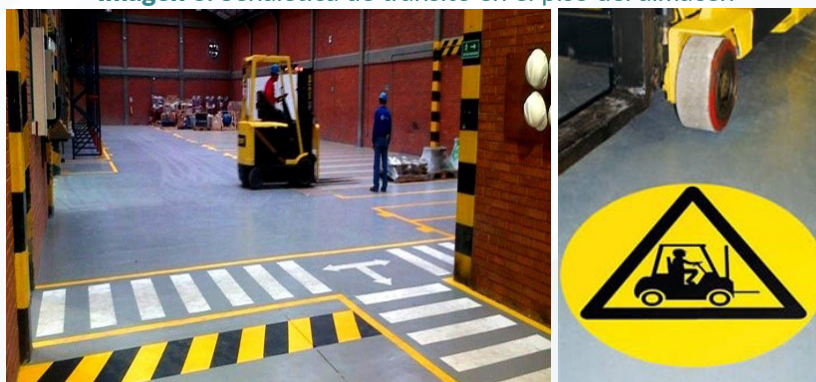
Figura 20. Identificación internacional para PCBs



Fuente: www.cornare.gov.co

En el interior del almacén se debe implementar la señalética internacional dispuesta por una instancia de las NNUU para identificar a equipos, aceites y residuos conteniendo PCBs, este aspecto se observa en la señalética de la Fig. 20.

**Imagen 6.** Señalética de tránsito en el piso del almacén



Fuente: planetacolombia.com; logismarket.es

Es importante implementar señalética de circulación en el piso e interior del almacén a efecto de establecer orden y seguridad en el tránsito interno.

**Imagen 7.** Delimitación de áreas de ubicación de equipos, aceites y residuos con PCBs.



Fuente: noegasystem.com

En el piso o pared más próxima, se debe identificar el uso o la disposición de sitios para almacenar equipos, aceites y/o residuos utilizando para este propósito textos o gráficos de colores, líneas y otros, tal como se aprecia en la Img. 7.

#### **6.4. Limpieza de Almacén.**

El interior y exterior del almacén debe permanecer completamente limpio a efecto de evitar cualquier contaminación cruzada, razón por lo cual, se recomienda disponer de un cronograma de limpieza periódico que incluya a las personas responsables de esta actividad.

La limpieza de este tipo de ambientes se lo debe de realizar en seco, es decir, no utilizar agua o solventes líquidos que puedan contaminar el suelo, en cambio se recomienda el uso de escobas, escobillar, paños, plumeros u otros de tales características.

Importante señalar que todos los residuos obtenidos del producto de la limpieza deben ser

embolsados y depositados en el mismo ambiente evitando de esta manera contaminar el exterior, porque se asume que todo el ambiente se encuentra contaminado con PCBs y estos no pueden ser transferidos al medio ambiente externo.

**Imagen 8. Almacén permanentemente limpio**



Fuente: interempresas.net

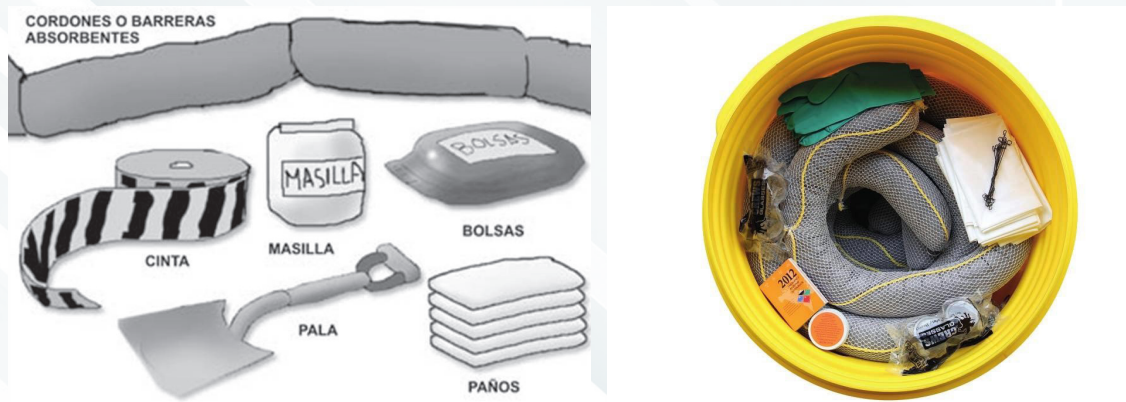
En la Img. 8., se observa un almacén ideal, a lo cual se debe propender en cualquier almacén de PCBs, considerando de hecho la situación de cada empresa.

### 6.5. Material de Limpieza.

Ante la ocurrencia de algún derrame accidental de aceite con PCBs, se debe contar con materiales de limpieza, es decir un kit que incluya pala, arena, masilla, aserrín, cal, cinta para cercar el perímetro, paños, cordones absorbentes, baldes, envases con tapas, etc.

Tomar en cuenta que el procedimiento para limpiar derrames de aceites debe realizarse en “seco”, es decir sin el empleo de agua, utilizando solamente material absorbente y paños en la cantidad que sea necesaria y que posteriormente debe ser almacenado en embaces cerrados tal como se trata el aceite que sufrió el derrame.

**Figura 21. Kits de materiales para derrames de aceites**



Fuente: minambiente.gov.co; docplayer.es

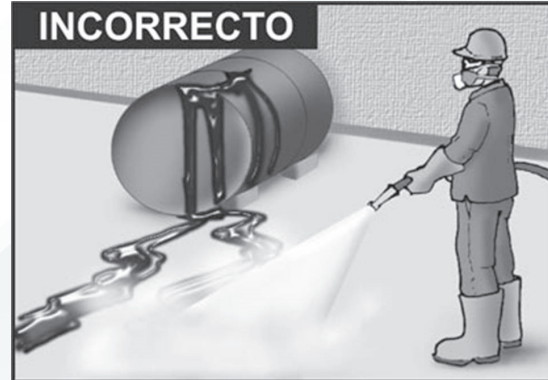
Es importante recordar que el material de limpieza que entra en contacto con el aceite que contienen PCBs es considerado como residuo contaminado con PCBs, por lo que, deberá recibir el mismo tratamiento que los elementos almacenados con PCBs.

**Figura 22.** Uso de absorbentes sólidos



Fuente: [minambiente.gov.co](http://minambiente.gov.co)

**Figura 23.** Prohibido el uso de agua



Fuente: [minambiente.gov.co](http://minambiente.gov.co)

**Figura 24.** Guardar todo lo recuperado



Fuente: [minambiente.gov.co](http://minambiente.gov.co)

En las Fig. 22, 23 y 24, se aprecia las formas correctas e incorrectas de realizar el procedimiento de limpieza ante algún derrame de aceites en el piso y la disposición final de lo recuperado.

Importante: Bajo ninguna circunstancia se debe emplear agua ante un derrame de aceite dieléctrico, puesto que en primera instancia se contaminaría el agua con el aceite, luego el agua dispersaría la contaminación en los suelos, y los suelos difícilmente pueden ser descontaminados, propagando de esta manera la contaminación.

### 6.6. Atención de Emergencias.

Cuando se presenta una emergencia (situación imprevista que requiere de una especial atención y deben solucionarse lo antes posible) lo primero que se debe hacer es llamar a los especialistas en el tema, es decir, personal capacitado, médicos, bomberos, policía, etc., para lo cual, se deberá tener siempre en un lugar cercano y visible (Fig.25) la lista de teléfonos a los cuales llamar para pedir cualquier tipo de auxilio.

**Figura 25.** Uso de teléfono para llamadas



Fuente: [unidad 4x4ayudaemergenciasperu.blog](http://unidad4x4ayudaemergenciasperu.blog)

Otro elemento que puede utilizarse es el empleo de una alarma sonora (Fig. 26) para alertar sobre el incidente o emergencia y recibir ayuda del personal que se encuentre en cercanías del evento, ante la ausencia de este se puede recurrir a utilizar un simple pito que también es válido para el efecto y que no requiere de energía eléctrica para funcionamiento.

**Figura 26.** Alarma sonora

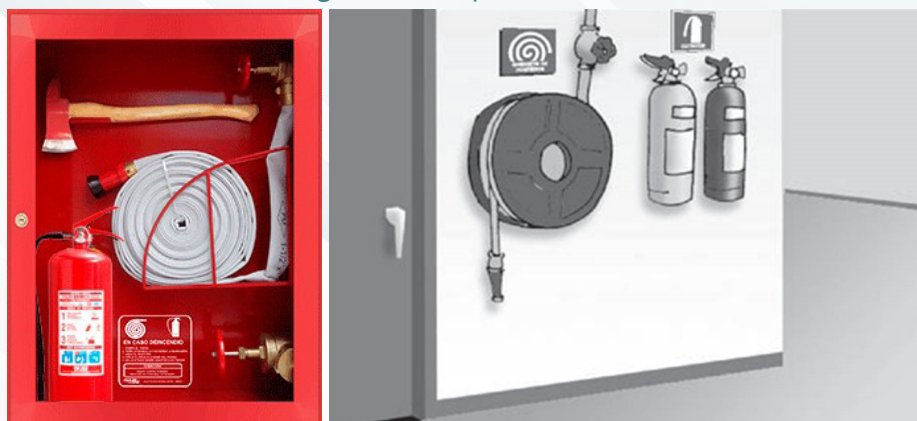


Fuente: [es.dreamstime.com](http://es.dreamstime.com)

La empresa poseedora de equipos, aceites, y residuos con PCBs, debe capacitar a su personal en la atención de emergencias puesto que son ellos quienes en primera instancia responderán ante cualquier emergencia por la cercanía y el conocimiento del lugar.

Ante una emergencia de incendio y que este imposibilitado el uso de material seco para su sofocación, se deber hacer uso de un Kit anti fuegos completo que incluya manguera, conexión a una fuente de agua, extintores, etc., como se aprecia en la Fig.27.

**Figura 27.** Kits para incendios



Fuente: [centrodeseguridadi.wixsit](http://centrodeseguridadi.wixsit); [minambiente.gov.co](http://minambiente.gov.co)

## 6.7. Elementos de Uso Inmediato ante Emergencias con Trabajadores

El uso de EPPs (Equipos de Protección Personal) es imperativo y cuando se presenta una emergencia que involucra la salud de los trabajadores lo primero que se debe hacer es utilizar los elementos disponibles en un botiquín de primeros auxilios completo, el cual debe estar ubicado en un lugar cercano y visible debidamente señalizado. Este debe contener elementos básicos para curaciones de cortes, quemaduras, medicamentos para dolores, vendas, cintas adhesivas, algodón, alcohol medicinal, tijera, etc. (Fig.28.)

Figura 28. Botiquín de primeros auxilios



Fuente: amazon.com.mx; vix.com; revistanacerycrecer.com

Si bien, se ha recomendado que la respuesta inmediata ante derrames de aceites debe de realizarse en seco, pero de darse el caso de un contacto directo del aceite dieléctrico que contiene PCBs con la piel de algún individuo, de manera inmediata se debe proceder a lavar con abundante agua dicho sector por un lapso de hasta 15 min utilizando jaboncillo. En el caso de salpicaduras en los ojos, se debe utilizar un lavador de ojos.

Pasado el incidente de forma inmediata se debe consultar a un médico especialista en el tema.

Figura 29. Lavador de ojos y ducha



Fuente: centrodeseuridadi.wixsit; minambiente.gov.co

En consecuencia, cerca al almacén de PCBs, se recomienda tener un sistema sanitario con disponibilidad de agua permanente, aspecto que debe ser controlada de manera periódica.

### **6.8. Responsables de los Almacenes**

El personal responsable de almacenes debe ser capacitado de manera permanente no solo en temas de inventarios, sino también en el control y monitoreo de PCBs, debido a que este personal será el primero en alertar sobre cualquier posible incidente.

La capacidad técnica o profesional del responsable de almacenes deberá estar respaldada con documentación que avale su calificación para desempeñar el cargo y mucho más en el caso particular de la gestión de PCBs.

La empresa poseedora de PCBs debe demostrar gestión en el tema, capacitando a su personal e implementando medidas que coadyuven al monitoreo y control de estos elementos almacenados de manera periódica antes de su disposición final.



7.

## TRANSPORTE DE EQUIPOS Y ACEITES CON PCB's



## 7. Transporte de equipos y aceites con PCB´s

### 7.1. Operación de Transporte

Durante el transporte de PCBs se pueden presentar accidentes con posibles efectos sobre el ambiente y la población cercana. La mejor forma de disminuir estos incidentes es controlar y monitorear frecuentemente todas las prácticas involucradas en el transporte. Para tal fin se recomienda establecer y verificar procedimientos para cada una de las actividades que abarca la operación y así garantizar un mínimo impacto al ambiente y a la salud de los trabajadores. Aprovechando la tecnología actual se puede implementar hasta un GPS (Global Positioning System) para monitorear toda la operación de transporte desde origen hasta el destino.

### 7.2. Manejo de Carga con PCB´s

Para el manejo de sustancias químicas y residuos con PCBs se deben establecer documentos para todo el personal que incluyan:

- Instrucciones para realizar una operación segura y correcta de todos los equipos incluyendo equipo de protección personal.
- Hojas de Seguridad sobre PCBs.
- Instrucciones y procedimientos sobre higiene, seguridad y medio ambiente.
- Instrucciones y procedimientos sobre emergencias.

Otro aspecto fundamental para un apropiado manejo de carga es su correcto embalaje y envase. Éstos deben ser resistentes a la manipulación y a las características químicas de la sustancia y deberán mantener la sustancia contenida en buenas condiciones sin causar cambios en sus propiedades.

No se debe aceptar ni transportar sustancias y residuos con PCBs que no hayan sido debidamente clasificados, embalados/envasados, etiquetados, descritos y certificados.

Nunca se debe compartir la unidad de transporte con alimentos y otras sustancias peligrosas

### 7.3. Carga y Descarga de Equipos, Aceites y Materiales con PCB´s.

Las estaciones de carga y descarga son los lugares en los que se realiza el traslado de la carga entre las unidades de transporte y los sitios de almacenamiento o viceversa, o bien el traslado entre instalaciones fijas y recipientes móviles. Deben garantizar condiciones de accesibilidad, maniobrabilidad y seguridad; además de suministrar condiciones adecuadas de ventilación.

Las actividades de carga y descarga deben ser realizadas por personal capacitado, entrenado y con experiencia. Es conveniente que antes de cargar y descargar un vehículo se lean y entiendan las Hojas de Seguridad de tal manera que se conozca la forma adecuada de manipular las sustancias peligrosas.

Contar con procedimientos claros, y que puedan ser ejecutados por todo el personal para las operaciones de carga y descarga garantiza una operación con mínimos riesgos e impactos al ambiente.

**Figura 30.** Movimiento de elementos con PCBs



Fuente: documentación.ideam.gov.co

Se recomienda colocar adelante, atrás y en los costados de los vehículos señalizaciones que indiquen que se está procediendo a la carga o descarga, además de tener activa un sistema de advertencia sonora cuando el vehículo de marcha atrás.

Durante la descarga se recomienda:

- Dejar que la carga se ventile 15 minutos antes de efectuar las maniobras de descarga si los materiales han sido transportados en cajas cerradas o tambores y cubiertos con lona.
- Evitar que el material caiga directamente al piso, así como evitar cualquier roce que pueda ocasionar un incendio.
- En caso de utilizar montacargas, verificar el peso de la sustancia y el límite de carga del transporte.
- Revisar que la etiqueta este acorde con la información descrita en los documentos de transporte.
- Verificar que la base donde se descargarán los materiales transportados sea solida (estable).
- Utilizar equipos de protección personal.

**Figura 31.** No permitir la carga de recipientes defectuosos

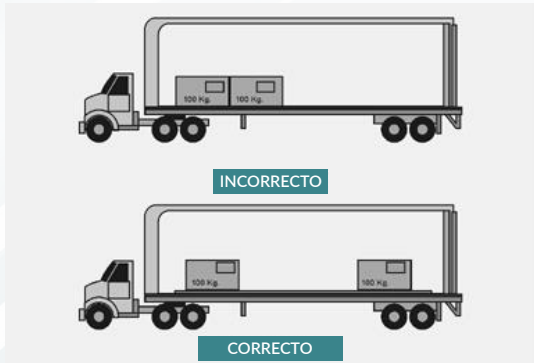


Fuente: documentación.ideam.gov.co

## 7.4. Distribución de la Carga en el Vehículo de Transporte

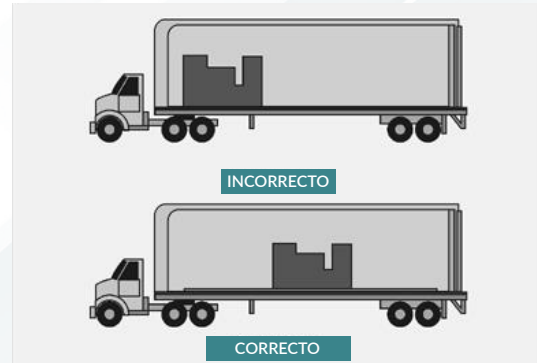
Antes de realizar cualquier envío es recomendable tener en cuenta los siguientes aspectos sobre una distribución adecuada de la carga en el vehículo de transporte, para tener una buena estabilidad del vehículo, tal como se muestran en las Fig.32, 33, 34:

**Figura 32.** Distribuir la carga en base a los ejes del vehículo



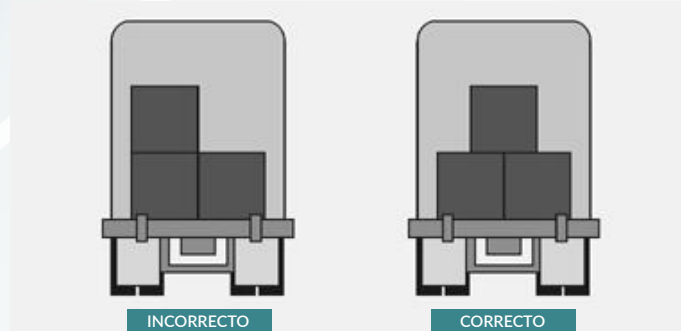
Fuente: documentación.ideam.gov.co

**Figura 33.** Distribuir uniformemente la carga en el vehículo



Fuente: documentación.ideam.gov.co

**Figura 34.** Balancear el peso de la carga para mantener el equilibrio

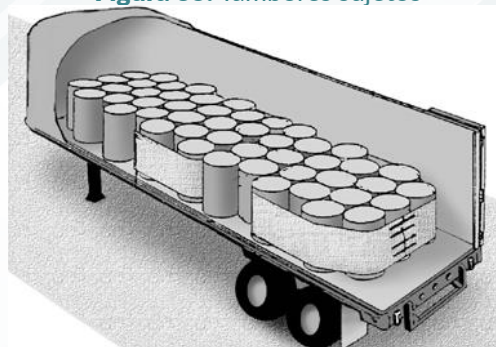


Fuente: documentación.ideam.gov.co

Para la distribución de la carga es importante tomar en cuenta el balanceo del peso de la carga., donde el peso cruzado debe ser igualmente distribuido, ya que una carga pesada no debe ser ubicada sólo a un costado, debido a que esto sobrecarga los amortiguadores y las llantas de ese lado, por lo cual es recomendable colocar la carga de tal forma que sea igual en las llantas traseras y se elimine la posible torsión de la estructura, y el sobrecargado del eje de soporte y el cojinete de la rueda.

Para el caso de tambores (turriles) afianzar correctamente la carga con bandas y de manera intercalada evitando dejar espacios vacíos entre turriles. (Fig.35)

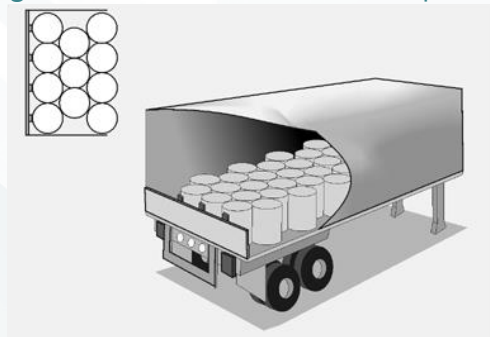
**Figura 35.** Tambores sujetos



Fuente: documentación.ideam.gov.co

Si el vehículo no cuenta con techo, cubrir la carga con lona a efecto de evitar el efecto de las inclemencias del clima sobre la carga.

**Figura 36.** Cubierta del material transportado



Fuente: documentación.ideam.gov.co

Asimismo, se recomienda:

- Que el peso transportado no sobrepase el 80% de la capacidad total de carga del vehículo.
- Que la carga no exceda en volumen los laterales y altura de la carrocería del vehículo.

### **7.5. Condiciones Técnicas y Medidas de Seguridad.**

En el transporte de sustancias químicas y residuos con PCBs se corren grandes riesgos si no se siguen los procedimientos establecidos.

Algunas situaciones que generan riesgo para la salud de los trabajadores o el medio ambiente son:

- Contenedores con fugas.
- Válvulas defectuosas de los depósitos.
- Emisión de vapores durante las operaciones de carga y descarga.
- Deficiencias de embalaje.
- Estibado incorrecto de sustancias químicas.
- Incendio, explosión o reacción química.
- Adoptar medidas de emergencia cuando no se está preparado o no se cuenta con elementos adecuados.
- Mantenimiento deficiente a la unidad de transporte.
- Condiciones inseguras en la vía

Se debe conceder a los conductores el tiempo necesario para inspeccionar con detalle su vehículo antes de partir. No debe ser objeto de sanción para el conductor el negarse a conducir si el funcionamiento del vehículo no es correcto. Si los conductores son responsables de la carga y la descarga, necesitan formación sobre técnicas de levantamiento de carga adecuadas y

deben disponer de carretillas, dispositivos elevadores, grúas u otros mecanismos apropiados para manipular la sustancia peligrosa sin realizar esfuerzos excesivos.

Concluido el servicio de transporte los vehículos deben ser sometidos a una limpieza en seco con paños para eliminar posibles residuos que pudieran haber quedado adheridos accidentalmente a la carrocería del vehículo. Tales elementos utilizados para realizar la limpieza deben quedarse almacenados junto a la carga transportada en el sitio de destino final.

- Utilizar equipos de protección personal durante estas labores.
- Limpiar los vehículos en caso de que se produzcan derrames de aceites con PCBs siguiendo procedimientos en seco.
- Apagar los motores de los vehículos durante la carga o la descarga, excepto para hacer funcionar el equipo de manipulación, por ejemplo, grúas.
- Disponer cerca elementos para contención de derrames y atención de emergencias.
- Tener vigilada la zona mientras dura la operación.
- Ante cualquier anomalía detener la operación y no continuar hasta realizar la corrección oportuna.

## **7.6. Planificación del Transporte.**

Antes de cada recorrido se debe elaborar y entregar al conductor un plan de transporte, de tal forma que se tenga un control y seguimiento de la actividad.

Un plan de transporte debe incluir:

- Hora de salida del origen.
- Hora de llegada al destino.
- Ruta seleccionada.
- Listado de los teléfonos para notificación en caso de una emergencia: de la empresa, o propietario de la sustancia peligrosa, destinatarios entidades regionales y/o locales para atención de emergencias, localizados en la ruta a seguir.
- Lista de puestos de control a lo largo de la ruta.

Se recomienda para la estructura del plan se tengan en cuenta los siguientes aspectos:

- Transportar las sustancias o residuos peligrosos en horas de poca congestión vehicular y peatonal.
- Seleccionar una ruta que ofrezca un mínimo de riesgos al tráfico, a terceros y al ambiente.
- Evitar en lo posible que el vehículo transite por zonas densamente pobladas o especialmente vulnerables a la contaminación por vertido, fuga o derrames.

- Cuando inevitablemente se tenga que cruzar centros poblados planificar la ruta de tal manera que se eliminen paradas innecesarias y se prevenga atravesar inmediaciones de centros de enseñanza, hospitales, terminales de transporte y otras instalaciones sensibles.

### **7.7. Documentación para el Transporte.**

Un plan de transporte debe incluir:

- Hora de salida del origen.
- Hora de llegada al destino.
- Ruta seleccionada.
- Listado de los teléfonos para notificación en caso de una emergencia: de la empresa, o propietario de la sustancia peligrosa, destinatarios entidades regionales y/o locales para atención de emergencias, localizados en la ruta a seguir.
- Lista de puestos de control a lo largo de la ruta.

### **7.8. Información del Vehículo Transportador.**

Los vehículos dedicados al transporte de PCBs deben cumplir con un mínimo de características especiales:

- El tipo, capacidad y dimensiones de sus carrocerías, deben contar con una estructura que permita contener o estibar el material peligroso de tal manera que no se derrame o se escape.
- También deben contar con elementos de carga y descarga, compuertas y válvulas de seguridad, de emergencia y mantenimiento, así como también de indicadores gráficos, luces reglamentarias y sistemas de alarma, aviso en caso de accidentes y sistema de comunicación para emergencias.
- Deben disponer de un equipo básico de emergencia para control de derrames.
- Deben tener los dispositivos que le permitan situar los rótulos para la identificación de los materiales peligrosos que transporta
- El vehículo debe ir provisto de al menos 2 cuñas o tacos de dimensiones apropiadas al peso del mismo, de un material resistente y que no genere chispas.
- El vehículo debe contar con un dispositivo sonoro o pito, que se active en el momento en que se encuentre en movimiento de reversa.

### **7.9. Información de la Empresa Transportadora.**

La empresa transportadora para poder funcionar debe tener:

- Certificado de Inscripción al Padrón Biométrico Digital del Servicio de Impuestos Nacionales
- Cédula de Identidad del Titular o Representante Legal, otorgada a ciudadanos

bolivianos o extranjeros por autoridad competente en Bolivia.

- Matrícula de Comercio otorgada por FUNDEMPRESA o Resolución de Personalidad Jurídica o Acta de Designación de Directorio Protocolizada o documento equivalente según el carácter de la entidad.
- Testimonio de Poder del Representante Legal para personas jurídicas.
- Certificado de Solvencia Fiscal emitido por la Contraloría General del Estado.
- Resolución Administrativa de Autorización de Operación o documento equivalente emitido por el Viceministerio de Transportes

#### **7.10. Información de la Empresa Propietaria de la Carga.**

La documentación que debe tener la empresa propietaria de los PCBs debe estar al día y debe contemplar:

- Representante legal o poder
- Sector
- NIT
- FUNDAEMPRESA

#### **7.11. Manifiesto de Transporte.**

Es el documento que ampara el transporte de sustancias peligrosas ante las distintas autoridades cuando éstas se movilizan en vehículos de servicio público mediante contratación a través de empresas de transporte de carga legalmente constituida y debidamente habilitadas por el Viceministerio de Transporte, por lo tanto, debe ser portado por el conductor del vehículo durante el transporte.

Este documento debe ser elaborado y expedido por la empresa transportadora y debe contener como mínimo la siguiente información:

- Datos de la empresa que expide el documento.
- Información del vehículo que transporta la sustancia peligrosa.
- Datos relacionados con el propietario o tenedor del vehículo.
- Datos relacionados con el conductor del vehículo.
- Información de la sustancia peligrosa transportada.
- Datos del remitente y destinatario.
- Información referente al flete.
- Datos de los seguros de transporte.

### **7.12. Riesgos en el Proceso de Transporte.**

En el transporte de sustancias químicas y residuos peligrosos se corren grandes riesgos si no se siguen los procedimientos establecidos. Algunas situaciones que generan riesgo para la salud de los trabajadores o el medioambiente son:

- Contenedores con fugas.
- Válvulas defectuosas de los depósitos.
- Emisión de vapores durante las operaciones de carga y descarga.
- Deficiencias de embalaje.
- Estibado incorrecto de sustancias químicas.
- Incendio, explosión o reacción química.
- Adoptar medidas de emergencia cuando no se está preparado o no se cuenta con elementos adecuados.
- Mantenimiento deficiente a la unidad de transporte.
- Condiciones inseguras en la vía



8.

**TRATAMIENTO Y/O ELIMINACIÓN DE EQUIPOS, ACEITES, MATERIALES Y DESECHOS CON CONTENIDOS DE PCB's**



## 8. Tratamiento y/o Eliminación de Equipos, Aceites, Materiales y Desechos con Contenidos de PCB's

### 8.1. Antecedentes.

Los PCB's (Bifenilos Policlorados) fueron sintetizados por primera vez en la década de 1880. Antes de que esto sucediera, el enfriamiento de los transformadores se lograba con aceite mineral. Este líquido tenía la ventaja de ser menos denso que el agua, buen conductor del calor aislante y biodegradable, pero tenía riesgos de combustibilidad y explosión.

Después de una serie de experimentos se descubrió que, si se introducía cloro a las partículas de benceno, desaparecía la combustibilidad del aceite y entonces podía ser usado como fluido dieléctrico resistente al fuego. Fue así como surgieron los PCB's.

Los primeros PCB's que se comercializaron para ser usados en transformadores y capacitores, fueron producidos en 1929 por la empresa Swann Chemical Company.

**Imagen 9.** Transformadores y capacitores



Fuente: mnografiyas.com; vamac.com.mx

### 8.2. Consideraciones para Seleccionar Tecnologías para Tratamiento y/o Disposición Final.

Existen varias tecnologías de tratamiento y recuperación de los componentes de los transformadores que contienen PCBs.

Para seleccionar la mejor tecnología de tratamiento y disposición final es necesario considerar varios criterios tales como: riesgos e impactos ambientales, que a menudo dependen del sitio geográfico, niveles de contaminación, volúmenes a tratar entre los más importantes.

La aplicabilidad del método es otro aspecto a considerar, eficiencia de destrucción, costo general, recursos, concentraciones mínimas, tiempo de tratamiento, confiabilidad, mantenimiento, costo post tratamiento y gestión de los residuos.

La Eficiencia de Destrucción (ED) es un criterio muy importante para valorar la tecnología de disposición de PCBs, la cual debe estar por encima del 99.99%. La Eficiencia de Destrucción se define como la masa total de un químico en un proceso, menos la masa del químico en todos los productos, sub-productos y emisiones ambientales, dividido por el ingreso de la masa (para darle un porcentaje). En el caso específico del PCBs se calcula según:

$$ED = (PCB \text{ ingreso} - \Sigma \text{egresos PCB}) / PCB \text{ ingreso}$$

Finalmente, el inventario de PCBs otorga las directrices y prioridades según los niveles de contaminación en ppm y riesgos a considerar para adoptar una u otra metodología de eliminación.

Asimismo, se puede considerar la aplicación no solo de una tecnología sino hasta de dos o tres de manera simultánea según las prioridades y resultados que se pretendan alcanzar en un determinado tiempo.

### 8.3. Descripción de Tecnologías de Eliminación de PCB's

#### 8.3.1. Incineración a Alta Temperatura

En el mundo existen empresas que ofertan el servicio de eliminación de PCBs por este método y muchas de estas se encuentran en Europa.

Las condiciones de incineración son cuidadosamente monitoreadas para asegurar la destrucción total (99.99%) de estos compuestos minimizando la generación de dioxinas y furanos.

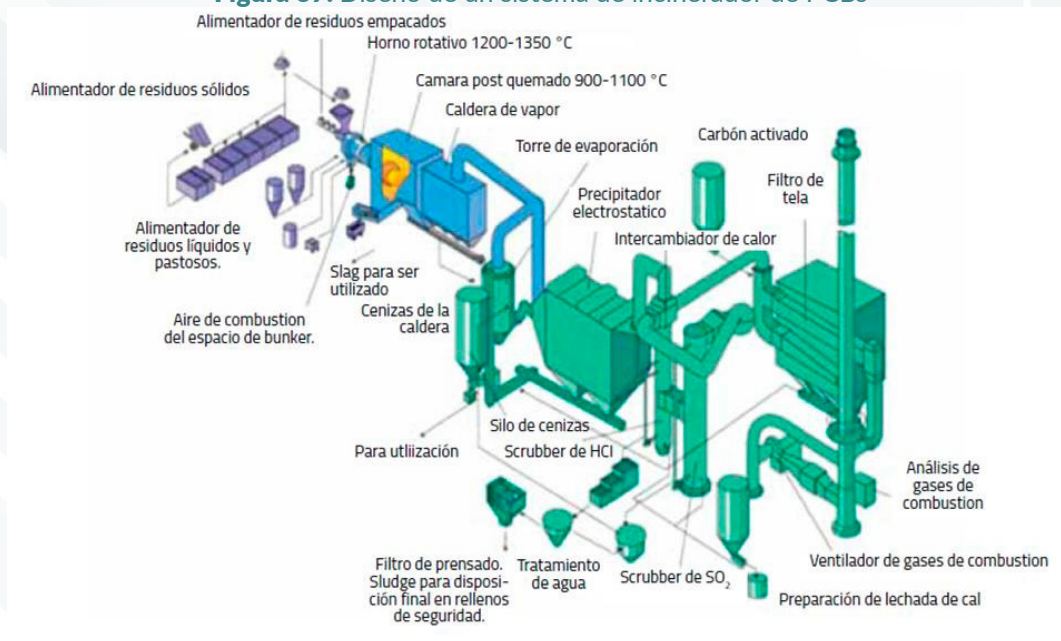
La química de la incineración es controlada por medio de la oxidación a altas temperaturas de los compuestos orgánicos principalmente para producir dióxido de carbono y agua.

La tecnología de incineración para la gestión de desechos peligrosos es muy compleja y requieren de un control cinético de las reacciones químicas bajo condiciones controladas (más abajo se muestra un ejemplo de tecnología de incineración utilizada por los países con estas capacidades).

El diseño de un incinerador de desechos peligrosos como los PCBs incluye una cámara principal (Llamada también la cámara primaria) para incinerar los PCBs y otros COP (Contaminantes Orgánicos Persistentes), esta cámara alcanza temperaturas superiores a 1200°C con alta turbulencia y dosis de oxígeno.

Después sigue una cámara secundaria la cual es usada para extender el tiempo de residencia para un máximo de destrucción del material y su oxidación térmica en gases y sólidos no inflamables. Posteriormente se tiene un sistema de enfriamiento rápido para gases a una temperatura segura en la cual no se produzcan dioxinas y furanos y se utilizan depuradores húmedos, captadores de cenizas y finalmente filtros de mangas para retener partículas milimétricas, evitando así su emisión al medio ambiente.

Figura 37. Diseño de un sistema de incinerador de PCBs



Fuente: A.G.R.S.A - a-g-r.es

### 8.3.2. Declinación (Reducción con Metales Alcalinos)

Este es uno de los métodos más utilizados y consiste en la reacción química entre el aceite dieléctrico conteniendo PCBs y sodio, litio o potasio metálico (metales alcalinos). El reactivo metálico reacciona con los átomos de cloro de los PCBs produciendo sales de cloruro y otros productos residuales no halogenados, eliminando los cloros de la molécula del PCB, que es el elemento que transforma al bifenilo en contaminante.

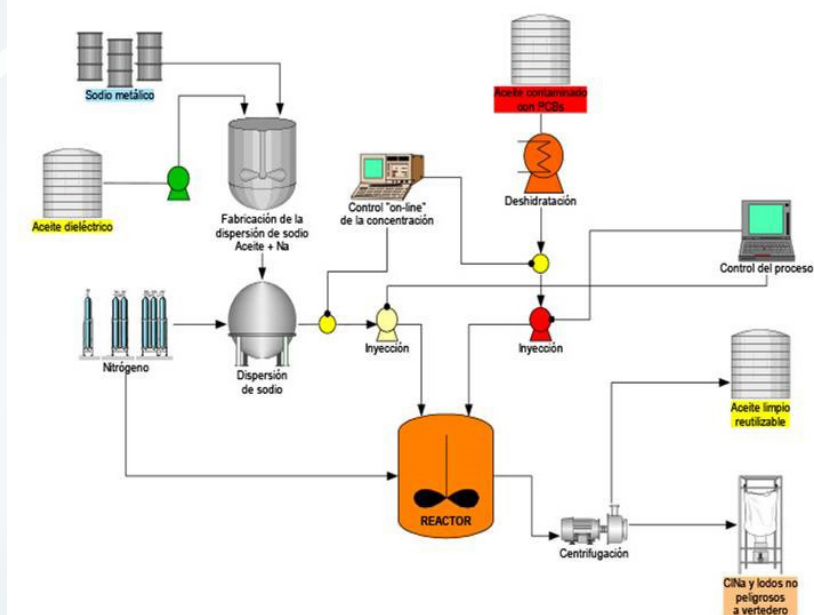
Las sales inorgánicas producidas pueden ser removidas de la fracción orgánica por medio de la filtración. Las reacciones se realizan bajo una atmósfera inerte.

Inicialmente para desarrollar la tecnología se debe determinar el contenido de PCBs, agua y acidez del aceite dieléctrico para estimar el consumo de reactivos durante la reacción y el tiempo que llevará la misma. Previo al tratamiento es necesario secar el fluido de forma que el contenido de agua sea menor a 100 ppm.

Durante la etapa de reacción, que puede durar entre 15 y 20 minutos, los PCBs y otros compuestos clorados son destruidos entre a una temperatura entre 150 a 300°C. Luego de la reacción, el fluido procesado es centrifugado para remover el metal que no ha reaccionado, los productos insolubles y lodos.

La gran ventaja de esta tecnología es que, si el fluido resultante está en buenas condiciones, se puede reutilizar siguiendo los tratamientos convencionales para su reacondicionamiento.

**Figura 38.** Diseño de un sistema de Declinación con metales alcalinos



Fuente: A.G.R.S.A - a-g-r.es

### 8.3.3. Proceso de Decloración con Base Catalítico.

La combinación de los procesos catalíticos de hidrodecloración y oxidación constituye una alternativa adecuada para la eliminación de PCBs. La etapa de hidrodecloración permite eliminar de forma rápida y segura los contaminantes clorados dando lugar a productos orgánicos no clorados. Éstos son posteriormente degradados hasta ácidos orgánicos de bajo peso molecular y parcialmente mineralizados en la etapa de oxidación,

En este proceso, el cloro de la molécula es sustituido por un átomo de hidrógeno liberándose al medio de reacción como HCl. Esta transformación permite disminuir de forma progresiva y sustancial la ecotoxicidad del efluente, transformando las moléculas cloradas en hidrocarburos libres de cloro. No obstante, el proceso no permite reducir la carga orgánica de la corriente, por lo que es necesario que los efluentes obtenidos sean sometidos a un tratamiento complementario.

Dadas las características del proceso de hidrodecloración, en el que se produce HCl, las condiciones finales del mismo son las deseables para el desarrollo del proceso Fenton, es decir, pH ácido.

La combinación de procesos se realizó empleando un catalizador bimetálico que contiene paladio y hierro (Pd-Fe), especies que han mostrado una elevada actividad en los procesos de HDC (hidrodecloración) y oxidación avanzada, respectivamente. El catalizador desarrollado presenta además propiedades magnéticas, lo que facilita su recuperación del medio de reacción.



#### 8.3.4. Descontaminación de Equipos y Material Sólido - Retrolleado.

Diseñado para descontaminar equipos en uso por medio de la reducción de las concentraciones de PCBs a un nivel que legalmente permitirá que el transformador se mantenga en servicio.

El retrolleado de un transformador implica el vaciar el equipo de su líquido dieléctrico y reponerlo con un aceite libre de PCBs.

Esta acción se la puede realizar utilizando bombas o acudir al vaciado por gravedad. Como la parte interna de un transformador es compleja, esta operación toma un poco de tiempo.

Un problema más serio es que el transformador usualmente contiene madera y posiblemente componentes de papel, estos materiales son porosos y retienen el aceite contaminado.

Por lo tanto, no es posible a un corto plazo, remover todo el aceite contaminado con PCB's. El resultado es que cuando el aceite limpio se introduce en el transformador, va a darse un pequeño lixiviado del PCB's residual de los componentes porosos.

A lo largo de unos meses, el nivel de PCB's medido en el aceite nuevo del transformador aumentara lentamente, aun a niveles superiores a los esperados, por lo que podría alcanzar o sobrepasar los niveles aceptados de PCBs 50 ppm (mg/kg). El tiempo que se requiere para que el lixiviado se acabe depende del tamaño y la estructura del equipo.

Una prueba de contenido de PCB's después de un retrolleado debe realizarse después de 5 meses de que el transformador este trabajando de nuevo. En algunos casos es posible que se tenga que realizar varias operaciones de retrolleado para llegar al nivel deseado.

El poder tomar una decisión sobre la viabilidad de una operación de retrolleado tiene que considerar varios factores locales. Estos son básicamente el costo de hacer la operación de retrolleado (puede que sea necesario más de una operación si la concentración es muy alta), incluyendo los costos de disposición final de los materiales contaminados producidos, así como al final de la vida útil de transformador, versus el costo de comprar un nuevo transformador, si el original se desecha.

Para realizar el retrolleado es importante estar seguro de lo siguiente:

- La descontaminación debe ser realizada por personal entrenado para evitar cualquier riesgo a la salud y al medio ambiente producto de un derrame accidental;

- La descontaminación debe hacerse en una superficie adecuada donde en caso de un derrame no se produzca una contaminación al suelo;
- Se deben tomar las precauciones adecuadas en caso que se dé un derrame/fuga;
- Todo el desecho generado en este proceso, incluyendo los solventes, etc., debe ser dispuesto como un desecho peligroso;

**Imagen 10.** Vaciado de aceite por gravedad



Fuente: docplayer.es

**Imagen 11.** Retrolenado empleando bombas



Fuente: docplayer.es

En el caso de transformadores grandes (más de 10.000 litros de fluido dieléctrico) puede resultar menos costoso y más eficiente descontaminar el transformador empleando un equipo de tratamiento móvil.



ESTADO PLURINACIONAL DE  
**BOLIVIA**

MINISTERIO DE  
MEDIO AMBIENTE Y AGUA

Viceministerio de Medio Ambiente, Biodiversidad,  
Cambios Climáticos y de Gestión y Desarrollo Forestal  
Calle Potosí esq. Calle Ayacucho N° 438 Casa Grande del Pueblo piso 18  
Telf: 2-2146382 - 2146385

Programa Nacional de Contaminantes Orgánicos Persistentes  
PRONACOPs