

CANADÁ-COLOMBIA

PROYECTO CERI-ACDI-COLOMBIA  
MEDIO AMBIENTE, HIDROCARBUROS Y MINAS

***MANUAL DE MANEJO DE PCBs PARA COLOMBIA***

***INFORME FINAL***

ELABORADO POR EL  
PROYECTO CERI-ACDI-COLOMBIA

EN COOPERACIÓN CON EL  
MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE, BOGOTÁ, COLOMBIA

Y

DOUGLAS WHITE AND ASSOCIATES

Julio de 1999

## ***RECONOCIMIENTOS***

Este documento se elaboró mediante el esfuerzo de cooperación entre los gobiernos de Canadá y Colombia. Canadá aportó los fondos mediante la Agencia Canadiense para el Desarrollo Internacional (ACDI) y Colombia mediante una contrapartida a través del Ministerio del Medio Ambiente.

El documento hace parte de los productos de uno de los componentes (Componente 109, Asistencia para el Manejo de PCBs), correspondiente al amplio programa de asistencia técnica entre CERI-Colombia-ACDI, el cual tiene una duración de cuatro años y un costo de \$11 millones, dirigido al gobierno colombiano en las áreas de minas, hidrocarburos y medio ambiente. CERI (Instituto Canadiense de Investigaciones en Energía), con sedes en Calgary y Bogotá, es la entidad ejecutora de ACDI (gerente del proyecto) para este programa.

CERI y ACDI desean reconocer la amable cooperación de los funcionarios del Departamento de Desarrollo Sostenible del Ministerio del Medio Ambiente y a todos quienes colaboraron con su tiempo y valiosa asistencia a la elaboración de este documento.

## TABLA DE CONTENIDO

<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>14</b>
1.1. ANTECEDENTES .....	14
1.2. PROPÓSITO DE ESTE MANUAL .....	14
1.3. ENFOQUE PARA LA PREPARACIÓN DE ESTE MANUAL.....	14
1.4. CÓMO UTILIZAR ESTE MANUAL .....	14
1.5. DÓNDE ENCONTRAR MÁS INFORMACIÓN .....	15
<b>2. PLAN DE ELIMINACIÓN DE LOS PCBS DE COLOMBIA .....</b>	<b>16</b>
<b>3. RESÚMENES - HISTORIA DE LOS PCBS Y PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DE LOS PCBS .....</b>	<b>17</b>
3.1. MANUFACTURA Y USOS .....	18
3.2. CONCIENCIA DE LOS PROBLEMAS AMBIENTALES Y DE SALUD .....	20
3.3. RESPUESTAS Y CONVENIOS NACIONALES E INTERNACIONALES.....	20
3.4. OPCIONES DE EXPORTACIÓN .....	21
3.5. ESTADO ACTUAL DEL USO DE PCBS EN COLOMBIA .....	22
<b>4. PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DE LOS PCBS.....</b>	<b>22</b>
4.1. PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS.....	22
4.2. SUBPRODUCTOS DE DIOXINAS Y FURANOS.....	23
<b>5. PROBLEMAS AMBIENTALES Y DE SALUD.....</b>	<b>23</b>
5.1. CÓMO CONTAMINAN EL AMBIENTE LOS PCBS .....	23
5.2. PROBLEMAS GLOBALES Y LOCALES .....	24
5.3. ASUNTOS CONCERNIENTES AL MEDIO AMBIENTE Y A LA SALUD HUMANA .....	24
<b>6. TIPOS DE EQUIPOS Y DESECHOS DE PCBS .....</b>	<b>25</b>
6.1. ASKAREL VS. TRANSFORMADORES DE ACEITE MINERAL .....	26
6.2. EQUIPO ASKAREL .....	26
6.2.1. <i>Transformadores Askarel</i> .....	26
6.2.2. <i>Condensadores</i> .....	27
6.2.3. <i>Balastos de luz</i> .....	27
6.3. TRANSFORMADORES DE ACEITE MINERAL CONTAMINADOS (TRANSFORMADORES CONTAMINADOS DE PCBS).....	28
6.4. OTROS EQUIPOS PCB .....	28
6.5. SECTORES DE LA INDUSTRIA QUE POSEEN PCBS .....	29
6.6. SITIOS CONTAMINADOS CON PCBS .....	29
6.7. IDENTIFICACIÓN DEL GRADO DE PELIGRO .....	30
<b>7. PREPARACIÓN DE UN INVENTARIO DE PCBS.....</b>	<b>30</b>
7.1. POR QUÉ ES IMPORTANTE UN INVENTARIO.....	31
7.2. CATEGORÍAS DEL INVENTARIO QUE SE DEBEN REPORTAR .....	32
7.3. REGISTRO DE DATOS .....	32

<b>8. ALMACENAMIENTO ADECUADO DE LOS PCBS .....</b>	<b>33</b>
8.1. PROPÓSITO DEL ALMACENAMIENTO ADECUADO.....	34
8.2. CARACTERÍSTICAS CLAVES DE UNA INSTALACIÓN DE ALMACENAMIENTO.....	35
8.2.1. Selección del lugar.....	35
8.2.2. Características de la instalación de almacenamiento.....	35
8.2.3. Recipientes de almacenamiento.....	35
8.2.4. Rotulación para PCBs en uso o almacenados.....	36
8.2.5. Seguridad.....	36
8.2.6. Registro de datos.....	37
8.2.7. Entrenamiento.....	37
8.2.8. Respuesta a emergencias.....	37
8.3. ALMACENAMIENTO TEMPORAL.....	37
8.4. ALMACENAMIENTO A LARGO PLAZO.....	38
8.5. OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE UNA INSTALACIÓN DE ALMACENAMIENTO.....	38
8.6. REGISTRO DE DATOS E INFORME DE NECESIDADES.....	39
<b>9. TRANSPORTE DE PCBs BAJO LAS CONDICIONES COLOMBIANAS.....</b>	<b>39</b>
9.1. EMBALAJE DE PCBs PARA TRANSPORTE.....	40
9.2. ROTULACIÓN.....	41
9.3. MANIFIESTOS.....	42
9.4. PLANES Y EQUIPOS PARA RESPUESTA A EMERGENCIAS.....	42
9.5. ENTRENAMIENTO.....	43
<b>10. TOMA Y ANÁLISIS DE MUESTRAS .....</b>	<b>44</b>
10.1. ¿POR QUÉ TOMAR MUESTRAS?.....	48
10.2. IMPORTANCIA Y UTILIZACIÓN DE PROTOCOLOS DE TOMA DE MUESTRAS.....	48
10.3. REQUISITOS DE CONTROL DE CALIDAD Y ASEGURAMIENTO DE CALIDAD (QC/QA).....	49
10.4. PROTOCOLOS GENERALES DE TOMA DE MUESTRAS PARA EVITAR LA CONTAMINACIÓN CRUZADA.....	49
10.5. FORMATOS DE CADENA DE CUSTODIA.....	50
10.6. MUESTREO DE TRANSFORMADORES.....	50
10.6.1. Transformadores “Askarel”.....	51
10.6.2. Transformadores de aceite mineral.....	51
10.7. MUESTREO DE CILINDROS DE LÍQUIDO.....	53
10.8. MUESTREO DE SUPERFICIES SÓLIDAS.....	53
10.8.1. Muestreo de superficies sólidas permeables.....	53
10.8.2. Muestreo de superficies sólidas impermeables.....	54
10.9. MUESTREO DEL MEDIO AMBIENTE.....	55
10.9.1. Muestreo de suelos superficiales.....	56
10.9.1.1. Planeación del programa de muestreo.....	56
10.9.1.2. Herramientas para el muestreo de suelos superficiales.....	57
10.9.1.3. Toma de muestras de suelo.....	58
10.9.2. Muestreo del subsuelo.....	58
10.9.2.1. Utilización de una retroexcavadora para el muestreo del subsuelo.....	58
10.9.2.2. Utilización de un taladro para tomar muestras del subsuelo.....	59
10.9.3. Muestreo de la superficie de cuerpos hidráulicos.....	60
10.9.4. Muestreo de aguas freáticas.....	61
10.9.5. Muestreo de sedimentos.....	61
10.9.6. Métodos de muestreo para calidad de aire externo.....	62

10.9.6.1. Métodos de muestreo de aire para PCBs .....	64
10.9.6.2. Muestreo de aire para PCDD-DF.....	67
10.9.7. Muestreo de biota.....	68
10.9.8. Muestreo estadístico.....	69
10.10. MÉTODOS ANALÍTICOS DE PCB Y PCDD/DF.....	69
10.10.1. Análisis de PCBs .....	71
10.10.1.1. Extracción.....	71
10.10.1.2. Limpieza .....	73
10.10.1.3. Método de determinación .....	75
10.10.1.4. Métodos de análisis de PCB recomendados para Colombia .....	
10.10.2. Análisis PCDD/DF.....	82
10.10.2.1. Métodos recomendados para análisis de PCDD/PCDF para Colombia .....	85
10.10.3. Garantía de Calidad/Control de Calidad (QA/QC).....	86
10.10.4. Sugerencias para el suministro de análisis.....	86
<b>11. SALUD OCUPACIONAL Y SEGURIDAD INDUSTRIAL.....</b>	<b>88</b>
11.1. VÍAS DE EXPOSICIÓN A LOS PCBs Y EL SENTIDO COMÚN .....	89
11.2. EQUIPO DE PROTECCIÓN PERSONAL (PPE) .....	89
11.2.1. Nivel “A” de PPE.....	89
11.2.2. Nivel “B” de PPE.....	90
11.2.3. PPE Nivel “C” .....	90
11.2.4. PPE del Nivel “D” .....	91
11.3. HIGIENE PERSONAL .....	91
11.4. CRITERIOS SOBRE CALIDAD DEL AIRE EN INTERIORES .....	91
11.5. CAPACITACIÓN EN SALUD Y SEGURIDAD INDUSTRIAL .....	92
11.6. VIGILANCIA MÉDICA .....	92
<b>12. CRITERIOS SOBRE PCBs PARA LA PROTECCIÓN DE LA SALUD Y EL MEDIO AMBIENTE.....</b>	<b>93</b>
12.1. RAZONES DE RESPALDO DE ESTOS CRITERIOS.....	94
12.2. CALIDAD DEL AIRE .....	94
12.3. CALIDAD DEL AGUA .....	95
12.4. CALIDAD DEL AGUA POTABLE .....	95
12.5. CALIDAD DE SEDIMENTOS .....	95
12.6. CALIDAD DEL SUELO .....	95
12.7. CALIDAD DE LA BIOTA.....	96
12.8. SUPERFICIES SÓLIDAS.....	96
12.9. ALIMENTOS .....	96
12.10. SANGRE HUMANA.....	97
<b>13. DESCONTAMINACIÓN, TRATAMIENTO, DESTRUCCIÓN Y ELIMINACIÓN ....</b>	<b>97</b>
13.1. DEFINICIONES.....	99
13.2. DESCONTAMINACIÓN DE TRANSFORMADORES DE ACEITE MINERAL CONTAMINADOS PARA REUTILIZACIÓN, RECICLAJE Y ELIMINACIÓN .....	99
13.2.1. Descontaminación de transformadores de aceite mineral contaminados para reutilización.....	99
13.2.1.1. Retrolenado.....	100
13.2.1.2. Descontaminación en línea.....	101
13.2.2. Descontaminación de transformadores con aceite mineral contaminado para reciclaje y eliminación .....	102

13.3. TRATAMIENTO DE ACEITE MINERAL CONTAMINADO.....	102
13.4. DESCONTAMINACIÓN DE TRANSFORMADORES ASKAREL PARA REUTILIZACIÓN, RECICLAJE Y ELIMINACIÓN.....	102
13.4.1. Descontaminación de transformadores Askarel para reutilización .....	102
13.4.2. Descontaminación con disolventes de los transformadores Askarel para su reciclaje y eliminación .....	104
13.5. DESCONTAMINACIÓN DE LOS CONDENSADORES Y BALASTOS DE LUZ.....	105
13.5.1. Condensadores grandes .....	105
13.5.2. Balastos de iluminación .....	105
13.6. DESTRUCCIÓN DE LOS LÍQUIDOS DE ASKAREL.....	106
13.7. INCINERACIÓN A ALTA TEMPERATURA.....	106
13.8. OTRAS TECNOLOGÍAS .....	107
13.8.1. Extracción térmica a baja temperatura .....	107
13.8.2. Piroлизador .....	107
13.8.3. Hornos de cemento y calderas de alta temperatura .....	107
13.8.4. Biodegradación .....	108
13.8.5. Eliminación en relleno sanitario.....	109
13.9. MÉTODOS DE LIMPIEZA AMBIENTAL .....	109
13.10. CRITERIOS DE EVALUACIÓN DE TECNOLOGÍAS .....	110
13.11. SITIO Y ESTÁNDARES DE DESEMPEÑO PARA TRATAMIENTO QUÍMICO .....	111
13.11.1. Selección del sitio.....	111
13.11.2. Estándares de rendimiento.....	112
13.12. SELECCIÓN DE SITIO Y ESTÁNDARES DE RENDIMIENTO PARA INCINERACIÓN .....	112
13.12.1. Selección de sitio.....	112
13.12.2. Requisitos de rendimiento .....	113
13.12.3. Otros requisitos .....	114
<b>14. PLAN DE RESPUESTA A EMERGENCIAS Y PROCEDIMIENTOS .....</b>	<b>115</b>
14.1. CARACTERÍSTICAS CLAVES DE LOS PLANES DE RESPUESTA DE EMERGENCIAS .....	115
14.2. RESPUESTA Y LIMPIEZA DE DERRAMES DE PCBS.....	117
14.3. RESPUESTA Y LIMPIEZA DE INCENDIOS DE PCBS .....	118
<b>15. ESTUDIOS DE CASOS .....</b>	<b>118</b>
15.1. ESTUDIO DE CASO #1 .....	119
15.2. ESTUDIO DE CASO #2 .....	120
<b>16. REFERENCIAS .....</b>	<b>122</b>

## ANEXOS

ANEXO A	Formato de Reporte Nacional de Inventario
ANEXO B	Formato de manifiesto
ANEXO C	Políticas colombianas de PCBs
ANEXO D	Reglamentación colombiana de PCBs
ANEXO E	Proveedores de equipo y servicios

## LISTA DE FIGURAS

Figura 4-1	Estructuras generales de PCBs, PCDDs y PCDFs
Figura 5-1	Rutas para la contaminación con PCBs

Figura 5-2	Transporte de PCBs de largo alcance
Figura 6-1	Localizaciones típicas de transformadores
Figura 6-2	Localizaciones típicas de capacitadores
Figura 8-1	Localización típica de rótulos en un transformador
Figura 8-2	Ejemplo de un instalación temporal de almacenamiento de PCBs
Figura 8-3	Diseño ideal de almacenamiento interior
Figura 9-1	Localizaciones típicas de rótulos para embarque de PCBs
Figura 10-1	Cadena de registro de custodia
Figura 10-2	Muestreo de transformador con cañón Hilti
Figura 10-3	Técnica de muestreo para las canecas
Figura 10-4	Superficies impermeables sólidas para amplio muestreo
Figura 10-5	Patrón de muestreo circular para área de derrame conocida
Figura 10-6	Ejemplo de patrón de malla de muestreo
Figura 10-7	Muestreo de suelo en superficie
Figura 10-8	Sondas de varilla sólida y varilla hueca
Figura 10-9	Muestreo de agua en superficie
Figura 10-10	Instalaciones típicas de pozos de monitoreo
Figura 10-11	Muestreador de aire Hi-Vol típico
Figura 10-12	Protocolos y métodos de análisis de PCB & PCDD/DF
Figura 13-1	Protocolos para la reutilización, reciclaje y disposición de transformadores de aceite mineral contaminado
Figura 13-2	Fenómeno de contra lixiviado en transformadores CMO retrolenados
Figura 13-3	Unidad de descloración química móvil (tratamiento)
Figura 13-4	Protocolos para la reutilización, reciclaje y disposición de transformadores de Askarel
Figura 13-5	Descontaminación de transformadores mediante desengrase con solvente
Figura 13-6	Proceso de descontaminación con solvente de Sanexen
Figura 13-7	Ilustración de proceso de incineración de PCBs
Figura 14-1	Ejemplo de comunicaciones o plan de notificación

### LISTA DE TABLAS

Tabla 10-1	Resumen de técnicas de extracción de PCBs
Tabla 10-2	Resumen de técnicas de limpieza usadas para PCBs
Tabla 10-3	Resumen de métodos de determinación de PCBs comúnmente usados
Tabla 10-4	Comparación de métodos comunes de determinación confirmatoria y 'screening'
Tabla 10-5	Resumen de algunos métodos analíticos de PCDD/DF comúnmente usados
Tabla 13-1	Ejemplo de hoja resumen de evaluación de tecnologías

## GLOSARIO DE TÉRMINOS

Absorción	Penetración de una sustancia en la estructura interna de otra
Aceite mineral	Aceite mineral contaminado PCBs (>50 ppm) en concentraciones bajas, generalmente menores de 1000 ppm PCBs
Adsorción	La adherencia de contaminantes como los PCBs en superficie de materiales (p.e., microporos)
Aceite mineral contaminado	Aceite mineral que se ha contaminado con PCBs en concentraciones bajas, generalmente menores de 1000 ppm PCBs.
Askarel	Fluido de equipo eléctrico de alta concentración de PCBs, que generalmente contiene entre 40-100% de PCB
Calidad del aire ambiente	Calidad del aire en el ambiente exterior
Calidad del aire	Calidad del aire dentro de un edificio o estructura, p.e., en el lugar de trabajo, los hogares, etc.
Descloración	La destrucción de la molécula PCB que remueve los átomos de cloro de la molécula PCB, con el objetivo de bajar la concentración del aceite a 2 ppm
Descontaminación	La remoción de PCBs de matrices de PCB
Desechos de PCBs	Cualquier equipo, líquido, sólido o sustancia PCB que no se puede volver a utilizar
Destrucción	La destrucción de la molécula PCB por medios térmicos
Disposición	La disposición del equipo PCB descontaminado en un relleno sanitario
Eliminación	La remoción permanente de servicio y almacenamiento del equipo PCB
Equipo PCB	Cualquier artículo fabricado, incluyendo cualquier transformador, condensador o intercambiador de calor, maquinaria hidráulica o compresor que contenga un líquido PCB o sustancia PCB
Líquido PCB	Todo líquido que contenga PCBs en concentraciones de más de 50 miligramos por kilo (50 ppm en peso) del líquido (ej., aceite mineral contaminado con PCB, suspensiones acuosas y Askarel)
PCB	Se definen como bifenilos policlorados aquellos clorobifenilos que tienen la fórmula molecular $C_{12}H_{10-n}Cl_n$ , donde n es mayor que 1.



Reciclaje	Recogida del equipo PCB, descontaminación y fundición de las partes metálicas de la recuperación de los metales
Reutilización	Retorno del equipo descontaminado de PCBs (<50 ppm) a equipo en servicio
“Screening”	Técnica analítica en la cual la confianza en la precisión del análisis se sacrifica por velocidad y/o simplicidad y/o costo, a fin de suministrar una respuesta de “si/no” o “más que/menos que”. Las técnicas de “screening” generalmente se consideran cualitativas o semi-cuantitativas y se pueden usar en el campo o en el laboratorio.
Sólido PCB	Un sólido que contiene más de 50 mg de PCB por kilogramo de sólido (50 ppm en peso)
Sustancia PCB	Una sustancia, diferente a PCB líquido o PCB sólido, que contenga más de 50 mg de PCB por kilogramo de la sustancia (50 ppm en peso)
Transformador PCB	Se refiere a cualquier transformador eléctrico que contenga un líquido PCB (en concentración $\geq 50$ ppm)
Transformador contaminado con PCB	Se refiere a un transformador de aceite mineral contaminado de manera inadvertida con PCBs (en concentración $\geq 50$ ppm, generalmente a niveles menores de 1000 ppm de PCBs)
Tratamiento	Utilizado generalmente para referirse a la descloración química

### ABREVIATURAS Y SIGLAS

AES Atomic Emission Spectroscopy	Espectroscopia de emisión atómica
APCS Air Pollution Control System	Sistema de control de contaminación del aire
ASTM American Society for Testing and Materials	Sociedad Americana de Pruebas y Materiales
CCME Canadian Council of Ministers of Environment	Consejo Canadiense de Ministros del Medio Ambiente
DMSO	Dimetilsulfóxido

Dimethyl Sulfoxido	
DNAPL Dense Non-Aqueous Phase Liquid	Líquido denso en fase no-acuosa
DRE Destruction and Removal Efficiency	Eficiencia de destrucción y remoción
EC	Medio Ambiente Canadá
ECD Electronic Capture Detection	Detección por captura electrónica
EI Electron Impact	Impacto electrónico
GC-ECD Gas Chromatography - Electron Capture Detection	Cromatografía de gas - Detección por captura de electrones
GC-HECD Gas Chromatography - Hall Electro-Conductivity Detector	Cromatografía de gas - Detección por conductividad eléctrica (Celda Hall)
GC-MS Gas Chromatography	Cromatografía de gases - Espectrometría de masas
HPLC High Performance Liquid Chromatography	Cromatografía líquida de alta eficacia
HRGC High Resolution Gas Chromatography	Cromatografía de gases de alta resolución
HRMS High Resolution Mass Spectrometry	Espectrometría de masas de alta resolución
IMDG International Marine Dangerous Goods	Materiales peligrosos marítimos internacionales
Kg	kilogramo

LR Low Resolution	Baja resolución
LRT Long Range Transport	Transporte de gran alcance
m <sup>2</sup>	metros cuadrados
m <sup>3</sup>	metros cúbicos
m	mili (10 <sup>3</sup> )
mg	miligramos
MMA	Ministerio de Medio Ambiente (Bogotá, Colombia)
MOE Ministry of Environment	Ministerio de Medio Ambiente (Ontario, Canadá)
MS Mass Spectrometry	Espectrometría de masas
n	nano (10 <sup>-9</sup> )
ng	nanogramo
NIOSH	National Institute for Occupational Safety and Health (Instituto Nacional de Higiene y Salud Ocupacional)
NMR	Nuclear Magnetic Resonance (Resonancia Magnética Nuclear)
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration (Administración Nacional Oceánica y Atmosférica)
OCDD	octa-cloro-dibenzo-p-dioxina
OECD	Organization for Economic and Cooperative Development (Organización para el Desarrollo Económico y Cooperativo)
OSHA	(U.S.) Occupational Safety and Health Administration (Administración para la Salud y la Seguridad Ocupacional) (Estados Unidos)
p	pico (10 <sup>-12</sup> )
pg/m <sup>3</sup>	picogramos por metro cúbico
PPE Personal Protection	Equipo de protección personal

## Equipment

ppm	partes por millón ( $10^{-6}$ )
ppb	partes por billón ( $10^{-9}$ )
ppt	partes por trillón ( $10^{-12}$ )
PCB	bifenilos policlorados
PCDDs	dibenzo-p-dioxinas-policloradas
PCDFs	dibenzo furanos policlorados
PCGL Packed Column Gas Chromatography	Cromatografía de gases de columna empacada
POPs Persistent Organic Pollutants	Contaminantes Orgánicos Persistentes (COPs)
PUF Polyurethane foam	Espuma de poliuretano
QA/QC Quality Assurance / Quality Control	Aseguramiento de calidad / Control de calidad
SAW Surface Acoustic Wave	Onda acústica de superficie
SFC Supercritical Fluid Chromotography	Cromatografía de fluido supercrítico
SVOC Semi-Volatile Organic Compound	Compuesto orgánico semi-volátil
TEQ Toxic Equivalency	Equivalencia tóxica
TOX Total Organic Halides	Haluros orgánicos totales
TSP Total Suspended Particulate	Partículas totales en suspensión

μ	micro (10 <sup>-6</sup> )
μg	microgramos
UNEP United Nations Environment Program	Programa Ambiental de las Naciones Unidas
USEPA United States Environmental Protection Agency	Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos
UV-VIS	Ultravioleta-Visible
WHO World Health Organization	Organización Mundial de la Salud
XRF	Fluorescencia de rayos X

## **1. INTRODUCCION**

### **1.1. Antecedentes**

Los bifenilos policlorados (PCBs) son una clase de químicos fabricados por el hombre para uso comercial por primera vez en 1929. Los PCBs fueron utilizados en una gran variedad de productos incluyendo, aunque no limitándose a éstos, tintas de impresión, pinturas, plásticos, aceites para máquinas, sellantes y también en equipos eléctricos, electromagnéticos, bombas de vacío, hidráulicos, compresores e intercambiadores de calor.

Desde finales de 1960, los PCBs han sido reconocidos por la comunidad científica como una amenaza tanto para el medio ambiente, como para la salud humana. Desde entonces, los países y las organizaciones internacionales han tomado acciones para manejar los PCBs de manera adecuada, con el fin de minimizar al máximo la exposición del medio ambiente y el hombre a las emisiones de PCBs.

### **1.2. Propósito de este Manual**

El propósito primordial de este Manual es ayudar a los propietarios de PCBs (p.e., compañías, entidades gubernamentales, individuos, etc., que posean equipo PCB, aceite contaminado de PCB o cualquier otra sustancia o desecho de PCB) y a otros que puedan tener responsabilidad en el manejo de los PCBs en la protección del medio ambiente y la salud humana.

### **1.3. Enfoque para la preparación de este Manual**

Este Manual es el resultado de un esfuerzo de colaboración entre los Gobiernos de Canadá y Colombia. Canadá adoptó por primera vez la legislación sobre el manejo de los PCBs en 1977 y, desde entonces, ha actualizado regularmente su legislación con documentos de guía sobre asuntos nacionales e internacionales relativos al manejo de los PCBs.

Gran parte del material sobre el manejo de los PCBs incluido en este Manual refleja el modelo canadiense. A diferencia de los Estados Unidos, donde existe una legislación muy detallada y compleja, Canadá ha tratado de mantener, tanto su legislación sobre los PCBs, como el material guía, lo más simple y concreto posible. Nosotros creemos que si se adapta a las condiciones técnicas, económicas y ambientales del país, éste también será un enfoque muy apropiado para Colombia.

### **1.4. Cómo utilizar este Manual**

Físicamente, este Manual se encuentra en una pasta de tres argollas, de tal manera que en el futuro se puedan hacer actualizaciones y revisiones por parte del MMA y enviar las páginas modificadas a los usuarios del Manual.

El Manual está dividido en seis secciones introductorias (1-6) sobre asuntos generales como la historia, las propiedades y los efectos para la salud de los PCBs, seguidas por diez secciones (7-16) relativas al manejo de los PCBs, tales como métodos de inventario, almacenamiento, transporte, entre otros.

En la primera parte de cada sección o grupo de secciones en el Manual hay un breve resumen del contenido de cada sección, lo cual facilita su uso. Estos resúmenes están diseñados para quienes no estén interesados en la parte técnica y los detalles de esta sección, sino más bien en encontrar la información básica que “deben saber”.

En la última parte del Manual hay anexos con espacio para las políticas y normas colombianas sobre PCBs, las cuales se anexarán en la medida que sean expedidas por el MMA. El contenido de este Manual pretende ser consistente con las Políticas y Normas. Además, también se encuentra una lista de equipos para el manejo de los PCBs y los proveedores de servicio.

### **1.5. Dónde encontrar más información**

Los PCBs han sido reconocidos como una amenaza para el hombre y el medio ambiente desde finales de 1960. Actualmente existe una gran cantidad de información sobre el tema de PCBs, sus efectos sobre la salud y el medio ambiente y su correcto manejo. Además, muchos países han hecho esfuerzos para manejar correctamente los PCBs y han desarrollado pautas de manejo y legislaciones que reflejan las características culturales y económicas específicas de cada país, así como la envergadura y complejidad de los problemas relativos a los PCBs. Por lo tanto, hay diferentes enfoques para su manejo. Sin embargo, también hay mucha consistencia a nivel internacional en cuanto al contenido básico de las guías y la legislación para el manejo de los PCBs. Todo esto se debe tener en cuenta cuando se revise la literatura internacional.

Para mayor información se recomiendan las siguientes fuentes:

- Para aclarar dudas sobre el contenido de este Manual, el lector debe ponerse en contacto con la Dirección General de Desarrollo Sostenible del MMA, Calle 37 No. 8-40, Santa Fe de Bogotá D.C., Colombia. Teléfono: (91) 338-3900 y Fax: (91) 288-9725.
- Bibliotecas públicas, universitarias, gubernamentales;
- Ministerios del Medio Ambiente en otros países;
- Conferencias, seminarios y talleres nacionales e internacionales sobre los PCBs y “contaminantes orgánicos persistentes”;
- Páginas de Internet tales como:
  - Environment Canada’s en [www.ec.gc.ca](http://www.ec.gc.ca)

- La Home Page sobre PBC de la EPA en los Estados Unidos [www.epa.gov/opptintr/pbc](http://www.epa.gov/opptintr/pbc)

El Programa Ambiental de las Naciones Unidas (UNEP sobre POPs) en <http://irptc.unep.ch/pops>

## 2. PLAN DE ELIMINACION DE LOS PCBs DE COLOMBIA

El gobierno y la industria desarrollarán un Plan de Eliminación de los PCBs durante los próximos años. Este Plan de Eliminación debe tener en cuenta los actuales inventarios de PCBs en Colombia, la capacidad existente en el país para el manejo de los PCBs, las normas existentes y la necesidad de contar con nueva reglamentación en materia de PCBs, las instalaciones necesarias para probar y eliminar los PCBs, la solidez de la economía y otros factores. Un paso adicional para el avance de este Plan de Eliminación será la elaboración del Análisis Costo/Beneficio de diversas estrategias para el tratamiento (descloración) y destrucción de PCBs para Colombia. Esto con el objeto de proporcionarle directrices generales al Plan de Eliminación.

A continuación se presenta un recuento de las normas colombianas que en la actualidad dan el marco de referencia para las actividades relacionadas con el almacenamiento, transporte, tratamiento, destrucción, importación o exportación de residuos peligrosos, incluyendo los PCBs.

**Decreto-Ley 2811 de diciembre 18 de 1974:** por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente. En el TITULO III, reglamentado por la Resolución 2309 de 1986, el artículo 35 establece la prohibición de descargar, sin autorización, los residuos, basuras y desperdicios y, en general, los desechos que deterioren los suelos o causen daño o molestia a individuos o núcleos humanos.

**Decreto 1541 de 1974:** por el cual se reglamenta la utilización de las aguas.

**Decreto 02 de 1982 del Ministerio de Salud:** Normas y parámetros de calidad del aire, rangos y límites de emisión permisibles.

**Decreto 1594 de 1984:** el cual reglamenta los usos del agua y los vertimientos.

**Resolución 2309 de febrero 24 de 1986,** emanada del Ministerio de Salud, la cual dicta normas referentes a Residuos Especiales.

**Convenio de Basilea de marzo 22 de 1989:** establece los procedimientos para el Control de los Movimientos Transfronterizos de los Desechos Peligrosos y su Eliminación; en el artículo 4o numeral 2c sobre Obligaciones Generales, establece que cada país miembro debe velar porque las personas que participen en el manejo de los desechos peligrosos y de otros desechos adopten las medidas necesarias para impedir que ese manejo dé lugar a una contaminación.

El mismo artículo, en el numeral 7a, establece la prohibición a todas las personas sometidas a la jurisdicción nacional del país miembro, de transportar o eliminar desechos peligrosos y otros desechos, a menos de que estas personas estén autorizadas o habilitadas para realizar ese tipo de operaciones.



**Ley 99 de diciembre de 1993:** por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reorganiza el sector público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental -SINA- y se dictan otras disposiciones.

**Decreto Reglamentario 1753 de agosto 3 de 1994,** modificado por la Resolución 655 de 1996: Por el cual se reglamentan parcialmente los Títulos VIII y XII de la Ley 99 de 1993 sobre licencias ambientales. En el art. 8 numeral 9, se establece la competencia de las CARs para otorgar licencia ambiental de almacenamiento y transporte de residuos peligrosos.

**Resolución 189 de julio 15 de 1994** emanada del Ministerio del Medio Ambiente: dicta regulaciones para impedir la introducción al territorio nacional de residuos peligrosos, establece criterios de clasificación de los Residuos Tóxicos y presenta la Lista de Sustancias, Elementos o Compuestos que confieren toxicidad a un Residuo, en la cual se encuentran contenidos los compuestos orgánicos halogenados, incluyendo los bifenilos policlorados, PCBs.

**Decreto 948 de junio 15 de 1995:** emanado del Ministerio del Medio Ambiente: Prevención y control de la contaminación y de la calidad del aire.

**Ley de la República 253 de 1996:** mediante la cual Colombia adhiere al Convenio de Basilea.

**Ley 430 de enero 16 de 1998:** “por la cual se dictan normas prohibitivas en materia ambiental referentes a los desechos peligrosos y se dictan otras disposiciones”, regula lo relacionado, entre otros, con la responsabilidad por el manejo integral de los desechos peligrosos generados en el país y en el proceso de producción, gestión y manejo de los mismos.

**Resolución 0415 de mayo 13 de 1998** del Ministerio del Medio Ambiente: se establecen los casos en los cuales se permite la combustión de desechos y las condiciones técnicas para realizar la misma”.

**Decreto 321 del 17 de febrero de 1999:** “por el cual se adopta el Plan Nacional de Contingencia contra derrame de hidrocarburos, derivados y *sustancias nocivas*”, firmado por el Presidente de la República y por los ministros del Interior, del Medio Ambiente, de Defensa Nacional, de Desarrollo Económico, de Minas y Energía y de Transporte.

El decreto establece, en el artículo 8, que “los lineamientos, principios, facultades y organización establecidos en el Plan Nacional de Contingencia, PNC, deberán ser incorporados en los planes de contingencia de todas las personas naturales y jurídicas, públicas o privadas, que exploren, investiguen, exploten, produzcan, almacenen, transporten, comercialicen o efectúen cualquier manejo de hidrocarburos, derivados o *sustancias nocivas*, o que tengan bajo su responsabilidad el control y prevención de los derrames en aguas marinas, fluviales o lacustres.”

### **3. HISTORIA DE LOS PCBS Y PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS DE LOS PCBs**

#### **RESUMENES**

- **Los PCBs fueron fabricados por primera vez** en 1929 y su uso se extendió rápidamente, principalmente como fluidos de equipo eléctrico.

- **Como fluidos eléctricos**, los PCBs se mezclaron con clorobenzenos para crear los fluidos comúnmente conocidos como Askarel, vendidos bajo una variedad de nombres, tales como Pyranol, Interteen, Arochlor, etc.
- **Los fluidos de Askarel** en los transformadores son 40 - 80% PCB, mientras que los fluidos de Askarel en los capacitadores tienen hasta un 100% PCB.
- **La molécula de PCB** es muy estable y resistente a la descomposición química, biológica y térmica. Fueron estas propiedades las que popularizaron los PCBs como químicos industriales y que representan un problema cuando se liberan al ambiente.
- **Debido a los problemas ambientales y de salud**, la mayoría de los países suspendieron la fabricación de los PCBs a finales de la década de los 70 y a comienzos de los años 80.
- **Existen varios acuerdos y programas internacionales**, de los cuales Colombia hace parte, dirigidos a promover el manejo seguro y la eliminación de los PCBs. La mayoría de los países desarrollados han establecido reglamentaciones para manejar y controlar los equipos de PCBs y los materiales con concentraciones de PCB mayores de 50 ppm.
- **Colombia** está en el proceso de desarrollar un inventario inicial de PCBs, a fin de desarrollar un Plan Nacional de Eliminación de PCBs, lo cual refleja la situación de los PCBs en Colombia.
- **En general los PCBs puros o las mezclas de Askarel son:**
  - más pesadas que el agua
  - muy estable
  - no inflamable
  - tienen baja presión de vapor
  - tienen baja solubilidad del agua

**Dioxinas y Furanos** (PCDDS y PCDFs) son químicos muy tóxicos y aunque los PCBs son relativamente no inflamables, se quemarán a temperaturas más altas y pueden producir un humo que contiene estos químicos. Las temperaturas para producir estos químicos tóxicos son generalmente entre 300<sup>0</sup>C y 600<sup>0</sup>C. A temperaturas mucho más altas (1.200<sup>0</sup>C), los PCBs, las dioxinas y los furanos se pueden destruir.

### 3.1. Manufactura y usos

Los PCBs fueron fabricados por primera vez, para uso comercial, en 1929. La molécula PCB fue producida por medio de un proceso químico que liga los átomos de cloro a una molécula bifenil (hidrocarburo). Los PCBs son moléculas muy estables y, por lo tanto, resisten la descomposición química, biológica y térmica. Los PCBs también son buenos conductores de calor y aislantes eléctricos. Estas características los hacen muy atractivos como químicos industriales.

Algunos de los primeros usos de los PCBs fueron en plastificantes de resina para recubrimientos protectores. A medida que la industrialización continuó, se les encontraron más y más usos. La producción anual de PCBs en el mundo alcanzó gran

auge en 1971, con aproximadamente 52.000 toneladas anuales y las plantas de Monsanto en los Estados Unidos producían más de la mitad de la producción mundial. Otros países importantes en producción de PCBs fueron Alemania, Francia, Italia, España, la Unión Soviética y Japón. Es claro que muchos otros países fabricaban productos y equipos que contenían PCBs para exportación, importando PCBs puros de los países productores. Después de 1971, la producción declinó debido a las preocupaciones relativas a la salud y el medio ambiente. La mayoría de los países occidentales industrializados cesaron la producción de PCBs a finales de la década de los 70 o principios de los 80. Se entiende que los países que conformaban el Bloque Oriental continuaron la producción más allá de esas fechas.

La producción mundial total de PCBs de 1929 a 1977 se calcula en 1.2 millones de toneladas (OMS 1993).

Por lo general, los PCBs puros eran comprados por los grandes fabricantes de químicos y con frecuencia se mezclaban con otros productos para venderlos luego bajo diferentes marcas o nombres para la fabricación de equipos eléctricos y otros usos. Algunos de los nombres comerciales más comunes para las mezclas de PCB son:

Aceclor	Duconol	Geksol	P-53
Arubren	Clophen	Hivar	PCB
ALC	Chlorinol	Hydol	P-296
Apirolio	Clorphen	Hyvol	Phenoclor
Arochlor	Chlorofen	Inclor	Pydraul
Asbestol	Disconon	Inerteen	Pyralene
ASK	Diaclor	Kanechlor	Pyranol
Askarel	DK	Kennechlor	Pyroclor
Adkarel	Dykanol	Magvar	Polychlorinated Biphenyl
Capacitor 21	EEC-18	MCS 1489	Santotherm
Bakola	Dialor	Montar	Saf-T-Kuhl
Biclор	Delor	Monter	Santovac 1 y 2
Chlorinated Biphenyl	Eucarel	Nepolin	Sovtol
Chlorobiphenyl		Nitrosovol	Solvol
Chlorextol	Elemex	No-Flamol	S-42
Chlorinted Diphenyl	Fenchlor	Líquido Inflamable	Sovol
	Galovacs		Siclonyl
			Therminol FR
			Trichlorodiphenyl
			Turbinol

\*Askarel también es el término genérico utilizado para las mezclas de PCBs en equipos eléctricos. La mezcla química más común con los PCBs para la producción de Askarel es con clorobenceno, que también son peligrosos para el ambiente y la salud humana.

### **3.2. Conciencia de los problemas ambientales y de salud**

A principios de la década de los 60, las técnicas de laboratorio e instrumentación mejoradas permitieron a los científicos detectar trazas de contaminantes químicos en el ambiente. En ese tiempo, los científicos estaban preocupados por el aumento de la contaminación ambiental debida al uso de pesticidas orgánicos clorados como el DDT. Uno de los químicos que más sorpresa causó a los científicos, cuando lo encontraron en muestras de aire, agua y tierra, fue el PCB.

Al mismo tiempo, los científicos también empezaron a relacionar los problemas observados en la reproducción de la vida salvaje y la disminución de la población, con los químicos orgánicos clorados encontrados en el ambiente. No pasó mucho tiempo antes de que los PCBs se unieran al DDT para ser considerados como químicos implicados en el daño ambiental observado en todo el mundo.

En 1968, más de 1000 personas en el Japón cayeron gravemente enfermas cuando utilizaron aceite de cocina contaminado con PCBs que se habían escapado del equipo eléctrico en la planta de producción de aceite para cocina (conocido como el incidente de Yusho). Las personas afectadas desarrollaron Cloracné (erupciones en la piel), cambios en el pigmento de la piel y problemas gastrointestinales. Estudios posteriores de estas personas demostraron una reducción en el peso de sus hijos al nacer, así como un C.I. (coeficiente intelectual) más bajo y un desarrollo motriz desmejorado.

Otros estudios de la exposición de los seres humanos a los PCBs han indicado los siguientes síntomas: cloracné (una forma severa de acné), irritación en los ojos, problemas neurológicos, menor peso de los niños al nacer y posibles cánceres rectales y del hígado. Aunque existe muy poca evidencia científica para demostrar que los PCBs pueden causar cáncer, la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) los considera potencialmente cancerígenos para los humanos.

Los estudios también señalan que las mezclas de PCBs con frecuencia están contaminadas de dibenzo-dioxinas policloradas (PCDDs) y dibenzo-furanos policlorados (PCDFs), que son considerados más tóxicos que los PCBs y pueden ser la causa de algunos síntomas adversos de la salud.

### **3.3. Respuestas y convenios nacionales e internacionales**

En 1972 hubo un movimiento en muchos países para prohibir o limitar el uso de los PCBs en aplicaciones de “dispersión”, como por ejemplo pinturas, tintas, aceites anticorrosivos, aceites para supresión de polvo y otras aplicaciones, donde los PCBs se dispersan en el ambiente por medio de estas aplicaciones. Pocos años más tarde, en la década de los 70, los países desarrollados promovieron un movimiento para prohibir o restringir la fabricación, venta e importación de PCBs y equipos con contenido de PCBs (con frecuencia denominados “sistemas cerrados” o “usos no de dispersión”).

Estos esfuerzos fueron seguidos por más reglamentos en los años 80 y 90 tendientes a lograr un mejor manejo de los PCBs, con el fin de minimizar los riesgos para la salud y el medio ambiente. Estos reglamentos contemplan requisitos muy estrictos para los

inventarios, la manipulación, el almacenamiento, el transporte, el tratamiento y la destrucción de los PCBs y el equipo contaminado con PCB.

A nivel internacional, uno de los primeros convenios internacionales para el manejo adecuado de los desechos peligrosos fue la “Declaración de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Ambiente Humano” en 1972. (Estocolmo, Suecia)

A ésta le siguieron, en 1973, las recomendaciones de la Organización para la Cooperación Económica y el Desarrollo (OCED) a los países miembros, para que restringieran el uso del PCB a usos no dispersos (ej., solamente en sistemas cerrados como equipos eléctricos), establecieran un sistema común de rotulación, limitaran las exportaciones de PCBs y desarrollaran medios seguros para el transporte y destrucción de los PCBs. En 1987, los miembros de la OECD se comprometieron a prohibir virtualmente todos los nuevos usos de los PCBs, acelerando la eliminación de los que se estaban utilizando y disponiendo de manera adecuada los desechos con contenido de PCBs.

Otras convenciones y convenios internacionales incluyen las “Pautas y Principios de El Cairo para el Manejo Adecuado de Desechos Peligrosos para el Medio Ambiente”, adoptados por el UNEP en junio de 1987 y, más recientemente, la “Convención de Basilea sobre el Control y Movimiento de Desechos Peligrosos y su Eliminación más allá de las Fronteras”.

La Convención de Basilea (marzo de 1989), de la cual Colombia ha formado parte desde 1996 (Ley 253 de la República, enero 9 de 1996), menciona a los PBCs como unos de los desechos peligrosos cubiertos por la Convención. La Convención de Basilea reconoce que los Estados deben tomar las medidas necesarias para asegurar que el manejo de los desechos peligrosos y otros desechos, incluyendo sus movimiento a través de las fronteras y su eliminación, sean consistentes con la protección de la salud humana y el medio ambiente, cualquiera que sea el sitio donde se eliminen”.

Más recientemente, los países miembros de las Naciones Unidas se han reunido activamente para discutir la forma de reducir o eliminar las emisiones de “Contaminantes Orgánicos Persistentes” (COPs), los cuales incluyen a los PCBs. En junio de 1998, se elaboró un borrador de protocolo. El borrador pretende eliminar el uso de los PCBs que sobrepasen 500 ppm para el año 2010 y la destrucción de todos los PCBs y la descontaminación de los equipos contaminados con PCBs tan pronto como sea posible, pero en todo caso antes del año 2015.

### **3.4. Opciones de exportación**

La Convención de Basilea, mencionada anteriormente, establece algunos principios para regular el movimiento de desechos peligrosos entre los países participantes (Partes de la Convención) como sigue:

- No se podrán exportar desechos a países donde está prohibida la importación de dicho desecho.
- No se podrán exportar desechos a países que no hayan aceptado expresamente por escrito la importación de ese embarque particular de desechos.

- No se podrán exportar desechos a países que no puedan eliminar los desechos de una manera segura desde el punto de vista ambiental.
- No se podrán exportar desechos a ningún país que no sea Miembro de la Convención de Basilea.
- No se podrán exportar desechos a áreas que se encuentren al sur de 60° de latitud.
- El país exportador se compromete a volver a aceptar los desechos que, por cualquier razón, sean rechazados por el país importador.
- La responsabilidad de los desechos y el daño que puedan causar a través de accidentes o eliminación inadecuada, no se ha discutido todavía.

Actualmente, existen varias partes (países) de la Convención de Basilea que aceptan importaciones de PCBs para su eliminación (destrucción / tratamiento). Estos incluyen a Francia y Gales.

### **3.5. Estado actual del uso de PCBs en Colombia**

A comienzos de 1998 se realizó un inventario preliminar de PCBs en Colombia. El inventario está incompleto y solamente el 22% de las compañías encuestadas respondieron. Con base en esta información, se estima que en Colombia las existencias de PCBs ascienden a 2000 toneladas; sin embargo, al igual a lo que se ha determinado en otros países, los cálculos iniciales pueden haber sido subestimados.

El MMA solicitará un inventario más formal mediante reportes de los propietarios, tal como se menciona en la Sección 7.

## **4. PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DE LOS PCBs**

### **4.1. Propiedades físico-químicas**

Los PCBs son moléculas compuestas de átomos de carbón, hidrógeno y cloro. Se producen sustituyendo entre uno y diez átomos de hidrógeno por átomos de cloro en la molécula bifenil, Ver Figura 4-1. Esto da como resultado un potencial de 209 combinaciones posibles de estos átomos (isómeros o compuestos de PCB); sin embargo, en el comercio, por lo general, se utilizaban muchos menos isómeros de PCB. De manera general, los compuestos de PCB más altamente clorados, son los más persistentes y más peligrosos de la mezcla.

Compañías como Monsanto en los Estados Unidos clasificaban sus PCBs comerciales puros, conocidos como Arocloros, de acuerdo con su contenido de cloro. Por ejemplo, el Aroclor 1254 se refiere a PCBs con 54% de cloro. Los Arocloros más populares utilizados para maquillar los fluidos dieléctricos (Askarels) eran los Arocloros 1242, 1254 y 1260. Cada uno de estos Arocloros tiene propiedades un poco diferentes, pero en general éstas son:

- aceites móviles
- más pesados que el agua
- muy estables
- no inflamables

- tienen bajas presiones de vapor, y
- tienen bajas solubilidades en el agua

En las aplicaciones de equipo eléctrico, los PCBs se mezclaban con diferentes cantidades de clorobenzenos (como solvente) para producir fluidos dieléctricos, comúnmente conocidos como Askarels, los cuales generalmente contienen entre 40/100% de PCBs. Estos fluidos de Askarel retienen las propiedades químicas y físicas generales mencionadas anteriormente.

#### 4.2. Subproductos de dioxinas y furanos

Al calentarse, o cuando están sometidos a temperaturas de combustión dentro del rango de 300 a 600°C, los Askarels o cualquier PCB sólido o líquido pueden producir subproductos muy peligrosos conocidos como dioxinas y furanos. (Nota: son los clorobenzenos en el Askarel los que producen las dioxinas.) Estos químicos son muy tóxicos y se pueden encontrar trazas en mezclas de Askarel, que han estado sometidas a calor, chispas internas o fuego a dichas temperaturas.

### 5. PROBLEMAS AMBIENTALES Y DE SALUD RESUMEN

- **Las propiedades de los PCBs** que los hicieron valiosos como químicos industriales, p.e., resistentes a las fallas, también los convierten en problema cuando se liberan al ambiente.
- **Cuando hay un derrame de PCBs**, estos pueden migrar al suelo, al agua subterránea y al aire y pueden abarcar grandes distancias, contaminando tanto el ambiente local, como el global. Los pescados, animales y cultivos en áreas contaminadas con PCBs pueden no ser aptos para el consumo.
- **La bio-acumulación de PCBs** ocurre cuando los PCBs entran al cuerpo humano o animal a través del aire, los alimentos y la piel. Puesto que los PCBs son resistentes a la descomposición, éstos se almacenan y concentran en el cuerpo, produciendo así la bio-acumulación.
- **La bio-ampliación de PCBs** ocurre cuando las especies contaminadas ubicadas en los niveles bajos de la cadena alimenticia (p.e., los peces) son consumidas por animales más altos en la cadena alimenticia (incluyendo a los humanos) y las concentraciones de PCBs que se producen en estos animales ubicados en un nivel más alto serán mucho más altas.

**Se ha determinado que la exposición por largo tiempo** a altas concentraciones de PCBs son causa de enfermedades de la piel y, según sospechan las autoridades del sector salud, son causantes de cáncer.

#### 5.1. Cómo contaminan el ambiente los PCBs

Muchas de las propiedades que hacen que los PCBs sean químicos industriales valiosos, hacen que representen un problema para el medio ambiente. A diferencia de muchas

otras moléculas basadas en hidrocarburos, el cloro en los PCBs hace que sean muy resistentes a la degradación natural. Por lo tanto, una vez que han sido liberados a la atmósfera, los PCBs persisten por un largo tiempo.

Los PCBs generalmente son liberados al medio ambiente a través de un manejo inadecuado de los equipos PCB. Cuando los líquidos PCB se derraman, pueden migrar a través de la tierra u otro material de la superficie a las aguas subterráneas, a las aguas superficiales o al aire.

De igual forma, si el equipo PCB se afecta durante un incendio, el humo y las emanaciones pueden contener altas concentraciones de PCBs y de dioxinas y furanos más tóxicos. El humo y las emanaciones pueden contaminar grandes áreas de aire, tierra, edificios, agua y plantas de los alrededores, volviéndolas inutilizables mientras no se haga una limpieza completa, la cual es muy costosa.

## **5.2. Problemas globales y locales**

Cuando los PCBs entran al medio ambiente, pueden migrar a los suelos y aguas subterráneas y pueden ser arrastrados por las aguas superficiales y los vientos a otras regiones, países y continentes. Localmente, cuando los PCBs entran al suelo, el agua subterránea y el agua superficial los pueden convertir en no aptos para uso y consumo. También, los animales, los peces y los cultivos que se encuentran en dichas áreas contaminadas, pueden volverse no aptos para el consumo. Ver Figura 5-1.

Globalmente, los PCBs pueden ser llevados lejos de su origen por los vientos atmosféricos superiores y luego ser depositados en las tierras y aguas de otros continentes. Ver Figura 5-2.

El transporte de “Contaminantes Orgánicos Persistentes” (COPs), al igual que los PCBs, se ha convertido en un problema ambiental internacional que los países miembros de las Naciones Unidas están tratando de resolver.

Por lo tanto, por las razones arriba mencionadas, hay impactos locales significativos para el medio ambiente, así como impactos globales derivados del manejo inadecuado de los PCBs.

## **5.3. Asuntos concernientes al medio ambiente y a la salud humana**

Cuando los PCBs son liberados al medio ambiente, pueden entrar al cuerpo humano y al de los animales a través de la inhalación (aire), contacto dérmico (piel), o ingestión (bebidas o alimentos). Como se indicó en la Sección 3, los PCBs son peligrosos para la salud humana y de los animales.

Cuando los PCBs entran al cuerpo humano y al de los animales se resisten a la descomposición y no son expulsados mediante los procesos de excreción o secreción, sino que, por el contrario, se quedan y conservan en los tejidos grasos y en los órganos del cuerpo. Por lo tanto, las personas y los animales que entran en contacto (respiración, contacto de piel, bebidas o alimentos) con los PCBs pueden, con el tiempo, acumular



más y más concentraciones de PCBs en su organismo. Este efecto de concentración de los PCBs en el organismo con frecuencia es llamado “bio-acumulación”.

Otro efecto muy importante de los PCBs en el medio ambiente es el conocido como “bio-ampliación”. La bio-ampliación ocurre cuando los PCBs entran a las cadenas alimenticias de los hombres y los animales y se concentran más y más, a medida que se desplazan por la cadena alimenticia. En la atmósfera, los PCBs se detectan con frecuencia en concentraciones bajas o trazas, especialmente si se encuentran lejos de la fuente original.

En estas concentraciones bajas los PCBs son consumidos rápidamente por los individuos y luego se concentran en el organismo de los animales que se encuentran en los niveles bajos en la cadena alimenticia, por ejemplo, el plancton en el océano o los gusanos en el fondo de un río. Cuando los peces comen este plancton o estos gusanos, consumen los PCBs acumulados en estos animales ubicados en los niveles bajos de la cadena alimenticia, aumentando los PCBs en su propio organismo.

De esta manera, lo que comenzó como una baja concentración de PCBs en el aire o el agua, se concentra más y más, a medida que los PCBs van subiendo por la cadena alimenticia. Puesto que los seres humanos se encuentran en la parte superior de dicha cadena, este es un aspecto muy importante de los PCBs.

En los datos sobre el PCB del Ártico canadiense (donde hay muy pocas fuentes de PCBs) se encuentran ejemplos del efecto de la migración, de la bioconcentración y la bioampliación. A continuación se dan algunos ejemplos de datos de concentración de los PCBs del Ártico: aire 0.014 ng/m<sup>3</sup>, nieve, 0.086 ng/L, agua de mar 0.007 ng/L, zooplancton 0.11 ug/g, ballenas esturiones 3.79 ug/g, osos polares 5.4 ug/g, leche humana 1.05 ug/g (Fiedler, 1998).

## 6. TIPOS DE EQUIPOS Y DESECHOS DE PCBs

### RESUMEN

- **Cualquier equipo, líquido, sólido u otro material que contenga más de 50 ppm** de PCBs se considera contaminado con PCBs y debe dársele el manejo adecuado.
- **El equipo eléctrico Askarel**, como los transformadores y condensadores, fueron diseñados y fabricados para operar utilizando fluidos dieléctricos de alta concentración de PCBs (usualmente 40 - 80% PCB para transformadores y hasta 100% para condensadores). La fabricación de equipo Askarel se suspendió en 1979 en Norteamérica y en 1983 en Europa occidental. Debido a la alta concentración de PCBs en este equipo, se considera que presenta el más alto nivel de riesgo.
- **7-15% de todos los transformadores de aceite mineral** se han contaminado inadvertidamente con PCBs a niveles bajos, generalmente menos de 1000 ppm o 0.1% de PCBs durante la fabricación y las posteriores actividades de mantenimiento. Mucha de esta contaminación es el resultado de mantener transformadores de aceite mineral con equipo contaminado con PCBs (p.e., mangueras, bombas, contenedores) utilizado para los transformadores de Askarel.

- **Los transformadores Askarel por lo general se identifican** por la información en la placa en la que dice el tipo de fluido y será por lo general una de las marcas de Askarel que se mencionan en la Sección 3.0. También puede ser de utilidad conocer el tipo de uso del transformador, p.e., cuando el uso se inicia con “L”, tal como en LNAN, LNAF, LNWF, etc., esto significa que es un transformador Askarel.
- **Se puede considerar que todos los condensadores** fabricados antes de 1979 en Norteamérica y antes de 1984 en Europa Occidental contienen Askarel. Los balastos de las luces fluorescentes también contienen pequeños condensadores.
- **Los transformadores de tipo aceite mineral** por lo general tienen la designación de uso comenzando con la “O”, tal como en ONS, ONAN, ONWF, etc. El único método para determinar la concentración de PCBs en un transformador de aceite mineral es el de muestreo y análisis.
- **Los fluidos de PCB** también fueron empleados en equipos de transferencia de calor, compresores y equipo hidráulico. En ocasiones se puede utilizar la placa del nombre o de información para identificar cuáles de estos equipos contienen PCBs. De manera alternativa, se puede utilizar el método de muestreo y análisis.
- **Los derrames de PCBs** que tienen como resultado la contaminación del suelo o del agua, se deben limpiar, a fin de proteger la salud y el medio ambiente. Esto puede ser muy costoso, razón por la cual es mejor darle un buen manejo a los PCBs, de manera que se eviten los derrames.

### 6.1. Askarel vs. transformadores de aceite mineral

Los equipos eléctricos Askarel, por ejemplo los transformadores Askarel, fueron diseñados y fabricados para operar con fluidos eléctricos Askarel de alta concentración de PCB (generalmente 40-80% PCB). Los transformadores llenados con aceite mineral no fueron diseñados para contener PCBs, pero se pueden contaminar de PCBs, especialmente en los niveles bajos (menos de 1000 ppm o 0.1% de PCBs) en actividades de mantenimiento, que han dado servicio a transformadores, tanto de Askarel como de aceite mineral. Estos transformadores de aceite mineral contaminados con frecuencia se conocen como “transformadores contaminados de PBCs”.

La Figura 6-1 ilustra instalaciones típicas de transformador.

### 6.2. Equipo eléctrico con Askarel

Debido a la muy alta concentración de PCBs y clorobencenos, estos equipos puede representar una amenaza muy seria para el medio ambiente. Por consiguiente, no deben ser instalados al lado ni cerca de alimentos o áreas de preparación de comida, incluyendo las plantas de tratamiento de aguas o las fuentes de agua.

#### 6.2.1. Transformadores Askarel

Los transformadores se usan para elevar o disminuir el voltaje. Vienen en diferentes tamaños, desde transformadores pequeños para colocar en un poste, hasta

transformadores de tamaño superior al de un carro y se encuentran en las subestaciones y plantas generadoras. Los transformadores de tipo seco no contienen PCB.

Debido a las propiedades retardantes de fuego de los PCBs, los transformadores Askarel se utilizaron mucho en los edificios. Para determinar si un transformador de Askarel, se debe verificar la placa del nombre y/o el manual de operaciones que indique el país y la fecha de fabricación y el tipo de fluido dieléctrico. También hay que verificar la placa del nombre para saber de qué tipo es. Si la designación del tipo empieza con “O”, como por ejemplo ONS, ONAN, ONWF, etc., el transformador contiene aceite mineral. Si empieza con la letra “L”, como por ejemplo LNAM, LNAF, LNWF, etc., el transformador está lleno de un líquido no inflamable y, si fue fabricado antes de 1979 en los Estados Unidos o antes de 1984 en Europa Occidental, es posible que contenga Askarel.

El Askarel también se puede diferenciar del aceite mineral por el fuerte olor de los clorobenzenos que algunos describen como un olor ácido. Sin embargo, no se debe inhalar PCB a propósito.

Otra manera de distinguir entre los transformadores Askarel y los de aceite mineral es tomar unas gotas del líquido del transformador y verterlas en un recipiente pequeño que contenga agua. Como el PCB es más pesado que el agua, el líquido Askarel se va al fondo, mientras que el aceite mineral flota, cuando está contaminado con PCB en los niveles bajos que son usuales. Se pueden utilizar unos “kits” de prueba que se encuentran en el comercio, pero la manera más segura de identificarlos es practicando una prueba de laboratorio.

#### 6.2.2. Condensadores

Los condensadores varían en tamaño, desde el igual a un cubo de hielo pequeño, hasta unos más grandes que un refrigerador. Los condensadores grandes se emplean para mejorar los factores de voltaje y potencia de los sistemas de energía eléctrica. Los condensadores pequeños se usan en aparatos pequeños, balastos de luz fluorescente y equipo industrial. La Figura 6-2 muestra una instalación típica de condensadores.

Los condensadores producidos en Norteamérica antes de 1979, generalmente contienen líquidos Askarel en concentraciones de 75-100%. Los condensadores de Europa Occidental contenían Askarel hasta aproximadamente 1984. Los condensadores en cuya placa aparece la indicación “no contiene PCB”, o que contienen líquidos dieléctricos como WEMCOL, FARADOL 100, DIELKETRO II o DPO, no contienen PCB.

Si no es posible obtener la placa u otra información, los propietarios deben verificar con el fabricante. A diferencia de muchos de los transformadores más grandes, los condensadores son unidades selladas y es muy difícil obtener muestras para probar el líquido.

#### 6.2.3. Balastos de luz

Los balastos de luz fluorescente se fabricaban con condensadores de PCB pequeños antes de 1979 en los Estados Unidos y antes de 1984 en Europa Occidental. Los

propietarios también pueden enviar a los fabricantes los números del modelo para identificar la presencia de PCB.

Debido a su tamaño pequeño, los balastos de luz, individualmente, se incluyen dentro de la regla de excepción de cantidades pequeñas en muchos países. Sin embargo, la mayoría de los países también aconsejan a los dueños de grandes cantidades de accesorios de luz fluorescente instalados, por ej., edificios de oficinas e institucionales, que recojan y eliminen de manera adecuada los balastos que contienen PCB identificados.

### **6.3. Transformadores de aceite mineral contaminados con PBCs**

Refiérase a la sección 6.2.1, que indica los métodos para distinguir los transformadores Askarel de los de aceite mineral. Los transformadores de aceite mineral representan la mayoría de los transformadores utilizados en los sistemas de distribución de energía en las ciudades. El más común es el transformador que va encima de un poste. En Norteamérica, el porcentaje de transformadores de aceite mineral contaminados con PCBs por encima de 50 ppm, fluctúa entre aproximadamente 7 y 15% y el porcentaje de estos transformadores contaminados con concentraciones entre 50 y 500 ppm es, generalmente, de 90%. No obstante, estas estadísticas dependen de diferentes factores, entre ellos el tipo de actividades de mantenimiento asociadas con estos transformadores. (p.e., con frecuencia el equipo de mantenimiento y los materiales son los que esparcen los PCBs entre los transformadores).

Puesto que los transformadores de aceite mineral no fueron fabricados a propósito como contenedores de PCBs, no hay una fecha que pueda ayudar a identificar un transformador de aceite mineral contaminado. Como regla general, si una persona tiene un transformador Askarel en su inventario de transformadores, es de sospechar que todos los transformadores minerales en existencia contengan PCBs, debido a las actividades de mantenimiento y, por lo tanto, es necesario examinarlos.

### **6.4. Otros equipos PCBs**

El Askarel se usó en gran variedad de equipos. Este Manual se centra en el uso de los PCBs como componentes del fluido dieléctrico en equipos eléctricos. Sin embargo, vale la pena referirse brevemente a su uso en otro tipo de equipos.

Primero, es importante observar que al intentar identificar si cualquiera de estos otros equipos contiene Askarel, la fecha de fabricación es el punto de partida. Si el equipo se fabricó en Canadá o en Estados Unidos, no se fabricó con fluidos de Askarel instalados después de 1979. Para la mayoría de los países de Europa occidental, la fecha que se debe tener en cuenta es aproximadamente 1984.

Algunos de los principales equipos que potencialmente pueden contener PCBs, incluyen equipos de transferencia de calor, sistemas hidráulicos y compresores de gas.

El Askarel se utilizó en equipos de transferencia de calor fabricados para uso industrial, incluyendo las industrias química, de plásticos y refinería de petróleo. Un fluido de PCBs de transferencia de calor muy común en los Estados Unidos fue el Therminol 66.

Este equipo se puede descontaminar rápidamente (a menos de 50 ppm) drenando los líquidos PCBs (se requiere un manejo y almacenamiento adecuado de estos fluidos) y reemplazándolos por fluidos substitutos, no PCB, recomendados por el fabricante.

Los PCBs se utilizaron en sistemas hidráulicos industriales para empresas dedicadas a la fundición y formación de metales. Un fluido PCB de uso común en los Estados Unidos para este equipo era el Pydraul. Este equipo se puede descontaminar fácilmente drenando los líquidos PCBs (se requiere un manejo y almacenamiento adecuado de estos fluidos) y sustituyéndolos por otros líquidos, no PCB, recomendados por el fabricante.

La contaminación de PCBs en los compresores de las tuberías de gas natural y en los compresores de gas natural resulta del uso de aceite lubricante PCB como el Turbinol. También es posible que las tuberías de gas natural estén contaminadas de PCBs y, por lo tanto, dichas tuberías no se deben volver a utilizar nunca para transportar agua u otros alimentos para actividades de producción de comidas.

### **6.5. Sectores de la industria que poseen PCBs**

Los sectores de la industria que pueden tener cantidades importantes de equipos PCB incluyen la minería, las fundiciones de hierro y acero, la industria petroquímica, las compañías fabricantes de oleoductos o gasoductos, los servicios eléctricos (generación y distribución), pulpa y papel, otras industrias pesadas e instalaciones gubernamentales e institucionales.

### **6.6. Sitios contaminados con PCBs**

Cuando los PCBs se derraman o gotean en el medio ambiente, el suelo, el agua y las superficies de edificaciones, estos materiales se pueden considerar no aptos para el uso humano mientras no se termine la limpieza. Debido a los bajos niveles de concentración para concluir la limpieza de los PCBs, este proceso puede ser muy costoso y largo. Por ejemplo, un sitio de almacenamiento de PCBs mal manejado en el Canadá le ha costado hasta ahora al gobierno de la Provincia de Ontario más de \$40 millones (Dólares Canadienses) para limpiarlo y la limpieza no ha terminado aún.

Cuando los fluidos Askarel se derraman y entran a las aguas subterráneas, la complicación es aún mayor, porque los PCBs son más pesados que el agua y, por lo tanto, pueden penetrar en la tabla de agua, en lugar de flotar en la parte superior como sucede con otros hidrocarburos, como por ejemplo los combustibles de petróleo. Por lo tanto, los fluidos Askarel pueden contaminar volúmenes de agua mucho más grandes y son muy difíciles de remover. Por ejemplo, un tambor de 205 litros de PCB puro podría contaminar aproximadamente  $50 \times 10^9$  litros de agua potable por encima de la concentración estándar recomendada de 3 ppb.

Como se indica en la Sección 4.2, cuando los PCBs se queman a bajas temperaturas, por ejemplo durante un incendio, pueden producirse subproductos muy tóxicos, como dioxinas y furanos. El humo del incendio puede cubrir las superficies de los edificios con concentraciones de dioxinas y furanos peligrosas para el contacto humano. La limpieza en un edificio en Canadá el cual se vio involucrado en un incendio de PCBs costó \$5 millones (Dólares Canadienses), hasta llevarlo a los niveles de seguridad

necesarios para volver a ocuparlo. El costo de la limpieza puede ser tan enorme, que muchos edificios alrededor del mundo han debido ser abandonados y derrumbados en lugar de limpiarlos.

#### **6.7. Identificación del grado de peligro debido a los altos costos de descontaminación**

En términos prácticos, se puede decir que mientras más alta sea la concentración de PCBs en un material, más peligroso es el material y, por lo tanto, se debe poner mayor cuidado a su manejo. También, la movilidad de los PCBs en el material es un factor muy importante y, por consiguiente, los líquidos que contienen PCB, por lo general, deben recibir un manejo más cuidadoso que los sólidos tales como los suelos contaminados.

Por lo tanto, los líquidos Askarel (que contienen una alta concentración de mezclas de PCB y clorobencenos) son los más peligrosos de los materiales PCB. Sin embargo, hay que tener en cuenta que una concentración de 50 ppm de PCB es la norma internacional aceptada para determinar si un material se considera como material PCB o no. Además, el solo hecho de que una sustancia esté contaminada a menos de 50 ppm de PCBs, no significa que se puede disponer de ella de cualquier manera. Por ejemplo, una sustancia líquida con 50 ppm de PCBs, también podría contaminar una fuente de agua potable, si no se elimina de una manera adecuada.

### **7. PREPARACION DE UN INVENTARIO DE PCBs RESUMEN**

- **Es importante preparar un inventario** a fin de poder manejar adecuadamente sus PCBs, además de otros motivos de salud y seguridad.
- **El MMA desarrolló un formato especial** (ver Anexo A) para reportar los PCBs “En Uso” o “En Almacenamiento”.

**El inventario se debe presentar al MMA en diskette**, conforme a un cronograma que será desarrollado por el MMA, en colaboración con los dueños de los PCBs, los laboratorios y las Corporaciones Autónomas Regionales.

- **Probablemente se pueda obtener la información necesaria para diligenciar el Formato de Inventario** de la placa del equipo u otra información suministrada por el fabricante. Es posible que los propietarios deban desarrollar y ejecutar un plan de muestreo de los equipos y materiales, con el fin de diligenciar el formato.
- **Los transformadores de Askarel** con frecuencia se pueden identificar por el tipo de fluido dieléctrico, según lo que aparezca en la placa de identificación del equipo u otra información del fabricante. Se puede suponer que cualquier condensador fabricado antes de 1979 en Norteamérica y antes de 1983 en Europa contiene Askarel, a no ser que se cuente con una certificación del fabricante en el sentido de que no contiene líquidos de PCB.
- **Para el equipo de aceite mineral** no hay método para determinar si está contaminado con PCBs, si no se le somete a una prueba. El equipo pudo haberse contaminado con PCBs

durante el proceso de fabricación, si fue fabricado antes de 1983, año en que los fabricantes, en general, cambiaron los métodos de fabricación; también pudo haberse contaminado en cualquier momento después de la instalación, durante algún mantenimiento de rutina.

**Se debe implementar un programa de muestreo de los transformadores de aceite mineral**, de la siguiente manera:

- Para equipos nuevos (por ejemplo, equipos ya adquiridos, pero no instalados aun) y equipos usados fabricados hasta e incluyendo 1983, el 100% de estos equipos se deben someter a una prueba para determinar presencia de PCBs.
- Para equipos usados fabricados después de 1983, el 100% de estos equipos se deben someter a una prueba para determinar la presencia de PCBs.
- Para equipos nuevos fabricados después de 1983, se requiere de una constancia del fabricante en el sentido de que el transformador no contiene PCBs, a fin de considerarlo como transformador “sin PCBs”. En caso de no tener esta certificación, el propietario debe someter a prueba mínimo el 25% del inventario y, en caso de detectar un transformador que contenga más de 50 ppm de PCBs, el 100% del resto de estos equipos se debe someter a prueba.
- El empleo de kits de prueba económicos, debidamente aprobados, se considera aceptable para clasificar los inventarios de transformadores de aceite mineral en busca de resultados positivos (es decir, resultados que excedan 50 ppm). Ver Sección 10.6.2.1 para mayor información. Se debe hacer un seguimiento de los resultados positivos mediante análisis de laboratorio, a fin de determinar la concentración real de PCBs. El uso del análisis de muestras compuestas también se considera aceptable. No obstante, se advierte a los dueños que deben interpretar los resultados de manera correcta desde el punto de vista técnico --- ver Sección 10.6.2.1 para información adicional. Es posible que se requiera hacer seguimiento del análisis y el muestreo de transformadores individuales para verificar cuáles transformadores dentro de un grupo más amplio están contaminados con más de 50 ppm.

### **7.1. Por qué es importante un inventario**

Las siguientes son algunas de las razones por las cuales es importante hacer un inventario de PCBs:

- Con el fin de manejar una situación de manera adecuada debemos entender primero la naturaleza y extensión o tamaño y complejidad del problema.
- Por razones de seguridad, las personas que potencialmente pueden estar en contacto con los PCBs (ej., trabajadores de empresas públicas de servicios, personal de mantenimiento, bomberos, el público en general, entre otros) deben ser advertidos de la presencia de tal equipo con PCBs y, por lo tanto, se deben mantener alejados o manejar ese equipo de manera adecuada y protegerse.
- Es importante saber qué tipos de equipo PCB y sustancias PCBs se encuentran en su inventario de PCBs, porque esto afecta el grado de peligro, las necesidades de almacenamiento y transporte y el tipo de tratamiento o destrucción que se requieren para eliminar los PCBs de una manera segura.
- Los convenios internacionales y las leyes de Colombia exigen que los materiales y desechos peligrosos como los PCBs sean manejados de una manera adecuada.

## **7.2. Categorías del inventario que se deben reportar**

Los inventarios de PCBs se deben reportar por separado para PCBs “En uso” y “PCBs Almacenados”, en los formatos aprobados por el MMA, según el Anexo A, en que aparece el respectivo formulario.

## **7.3. Programa para el reporte de inventarios**

El MMA suministrará formatos especiales (en diskette) para el reporte de los inventarios de PCBs tanto “en uso” como “almacenados” (ver Anexo A). Estos formatos se deben diligenciar y enviar al MMA, preferiblemente de forma electrónica. El MMA se compromete a trabajar con las empresas de servicios públicos, con otros dueños de PCBs que tengan grandes inventarios, con los laboratorios y las Corporaciones Autónomas Regionales, a fin de desarrollar un programa viable para la realización de los inventarios.

- Inicialmente, el MMA pedirá el inventario del equipo eléctrico con Askarel por parte del dueño
- Esto será seguido, en fases, por los inventarios de transformadores de aceite mineral contaminados.
- Una vez que el MMA haya implementado este programa de inventarios, cualquier cambio a los mismos debe enviarse al MMA dentro de los 30 días siguientes al cambio. Esto incluye el traslado de equipo con PCBs del inventario de “en uso” al de “en almacenamiento”.
- Los inventarios se deben actualizar cada año y se deben enviar para el 30 de noviembre.

## **7.4. Intensidad de muestreo para el inventario**

Tal como se mencionó anteriormente, los transformadores de Askarel se pueden identificar frecuentemente por el tipo de fluido dieléctrico en la placa de identificación del equipo u otra información del fabricante. Se debe suponer que cualquier condensador fabricado antes de 1979 en Norteamérica o antes de 1983 en Europa contiene Askarel, a no ser que exista una certificación del fabricante determinando que no contiene líquidos de PCB.

Para el equipo de aceite mineral no existe un método para determinar si el equipo está contaminado con PCBs, si no se le somete a una prueba. El equipo se pudo haber contaminado durante el proceso de fabricación, si fue fabricado antes de 1983, cuando los fabricantes por lo general cambiaron sus métodos de fabricación para prevenir la contaminación inadvertida de este equipo, o pudo haberse contaminado en cualquier momento después de su instalación durante las actividades de mantenimiento de rutina, tal como se menciona en la Sección 6.3.

Para los transformadores de aceite mineral se debe seguir el siguiente programa de toma de muestras.

- Para equipos con fecha de fabricación anterior a 1984, bien sea usados o nuevos, el 100% de estos equipos se deben someter a una prueba para determinar presencia de PCBs.



- Para equipos usados fabricados después de 1983, el 100% de estos equipos se deben someter a una prueba para determinar la presencia de PCBs.
- Para equipos nuevos fabricados después de 1983, se requiere de una constancia del fabricante en el sentido de que el transformador no contiene PCBs, a fin de considerarlo como transformador “sin PCBs”. En caso de no tener esta certificación, el propietario debe someter a prueba mínimo el 25% del inventario y, en caso de detectar que un transformador contiene más de 50 ppm de PCBs, el 100% del resto de estos equipos se debe someter a prueba.

El empleo de kits de prueba aprobados, que no son costosos, es aceptable para clasificar las existencias en busca de resultados positivos (es decir, resultados superiores a 50 ppm). Ver Sección ? para información adicional al respecto. Se debe hacer seguimiento a los resultados positivos mediante análisis de laboratorio, a fin de determinar la concentración real de PCBs.

Antes de realizar cualquier muestreo, se debe desarrollar un plan de muestreo, según lo indicado en la Sección 10.

### **7.5. Mantenimiento de registros**

Todo propietario de PCBs debe llevar registros detallados de sus existencias, de manera que puedan darles un manejo adecuado. Durante las inspecciones por parte del gobierno, estos registros les resultarán útiles a los propietarios. La información se debe mantener organizada, de manera que el inventario se pueda actualizar anualmente y pueda ser consultado con facilidad por las autoridades.

## **8. ALMACENAMIENTO ADECUADO DE LOS PCBs**

### **RESUMEN**

- El principal objetivo del almacenamiento de los PCBs es prevenir que estos se escapen al ambiente y prevenir su contacto con las personas, hasta el momento en que puedan ser debidamente tratados y destruidos.
- Unas buenas instalaciones de almacenamiento también le permitirán a los propietarios de PCBs a mantener control sobre su inventario de equipo PCB.
- Las principales características de unas instalaciones adecuadas de PCBs incluyen lo siguiente:
  - situadas por lo menos a 100 metros de puntos sensibles tales como cuerpos de agua, alimentos y áreas de preparación de los mismos, escuelas, hospitales, etc.
  - situados lejos de áreas de tráfico congestionado, zonas peatonales y llanuras de inundación.
  - construidas sobre un piso impermeable, con techo y rodeadas de contención secundaria, con capacidad de contener al menos el 125% de los líquidos almacenados.
  - las instalaciones necesitan seguridad en cuanto a las paredes o cercas que las rodean (dos metros de altura), con alambre de púas en la parte de encima y con una reja o puerta con candado.

- se deben colocar avisos de prevención acerca de los PCBs en la cerca y la puerta.
  - colocar y asegurar los contenedores y equipos de PCB en estibas.
  - los líquidos contaminados de PCBs se deben almacenar en tambores de acero, con doble empaquetadura.
  - las piezas pequeñas de equipos PCB se deben colocar también en tambores de acero.
  - las piezas grandes de equipos PCB se deben colocar en bandejas de derrame si las instalaciones no cuentan con contención secundaria.
- Los requisitos de rotulación para los equipos y otros elementos de PCB incluyen lo siguiente:
    - etiquetas permanentes (100 mm x 100 mm) o (250 mm x 250 mm), que no se puedan desprender con facilidad y que contengan la información apropiada -- ver Sección 8.2.4:
  - Los requisitos para los registros que se deben mantener en el lugar de almacenamiento son los siguientes:
    - los registros de inventario se deben llevar en el mismo formato del informe que se presenta a las autoridades ambientales.
    - Además, se debe llevar registro de los recibos y despachos de PCBs, de todas las inspecciones al sitio de mantenimiento, las actividades de mantenimiento, los nombres de los visitantes y la capacitación del personal.
    - los registros de inventario exigidos por las autoridades ambientales se deben presentar digitados sobre los formatos del software suministrado por el MMA, a más tardar el 30 de noviembre todos los años, o dentro de los 30 días siguientes a cualquier cambio en el inventario del propietario.
  - Los requisitos de capacitación incluyen:
    - asuntos de salud y seguridad industrial, protocolos de inspección, requisitos de operación y mantenimiento y planes de respuesta a emergencia o plan de contingencia.
  - Los Planes de Respuesta a Emergencia deben incluir lo siguiente:
    - acciones que se deben tomar en caso de derrame, incendio, vandalismo, etc.
    - un Plan de Comunicaciones en el que se indiquen los nombres y números de teléfono de las personas con las que es necesario comunicarse.
    - quién necesita capacitación y qué clase de entrenamiento necesitan.
    - Plan de Respuesta a Emergencias e inventario y ubicación de material.

### **8.1. Propósito del almacenamiento adecuado**

El principal propósito del almacenamiento de los PCBs es impedir el escape de los mismos hacia el medio ambiente e impedir el contacto de los seres humanos con ellos. Una instalación de almacenamiento es donde se guardan equipos para el manejo de los PCBs sacados de servicio y otras sustancias contaminadas con PCBs (colectivamente denominadas “desechos de PCBs”), en espera de su eliminación definitiva. Una instalación de almacenamiento bien organizada ayuda a los propietarios de PCBs a hacer el seguimiento de sus desechos de PCB y a manejarlos de manera apropiada.

## 8.2. Características claves de una instalación de almacenamiento

Toda instalación de almacenamiento, sea ésta para almacenamiento transitorio o a largo plazo, tiene ciertas características claves tendientes a proteger el medio ambiente y la salud humana, a saber:

### 8.2.1. Selección del lugar

La instalación de almacenamiento debe estar localizada:

- Al menos a 100 m de distancia de cualquier receptor sensible, como por ejemplo cuerpos de agua, acequias, hospitales, escuelas, alimentos o instalaciones para la preparación de los mismos, plantas de tratamiento o almacenamiento de agua, tomas de aire de edificios, entre otros.
- En terrenos no inundables, apartados de vías de comunicación o peatonales y lejos de movimientos de maquinaria pesada.

### 8.2.2. Características de la instalación de almacenamiento

- Piso de material impermeable
- Protección contra la lluvia
- Contención secundaria de derrames para cualquier recipiente o equipo que contenga líquidos. (Un piso impermeable con una berma impermeable adecuada [capaz de contener el 125% del líquido almacenado] a su alrededor, puede obrar como contenedor secundario).
- Situar los equipos y recipientes con PCBs sobre estibas de apoyo y sujetarlos a las mismas de manera apropiada.
- Ventilación
- Señalización colocada de manera visible sobre materiales peligrosos o prevención

### 8.2.3. Recipientes de almacenamiento

- Los líquidos deben ser guardados en tambores de acero, de doble orificio con tapa (calibre 18 o superior). Los líquidos deben tener contención secundaria, como puede ser una bandeja de derrame, almacenamiento en doble tambor, o un piso impermeable con bermas adecuadas.
- Los aparatos eléctricos pequeños deberán tener contención secundaria, como por ejemplo tambores de acero de parte superior abierta (calibre 18 o superior) con tapa asegurable.
- Los aparatos eléctricos grandes pueden ser situados en bandejas de derrame, capaces de contener el 125% de los líquidos del aparato.
- Otras sustancias sólidas contaminadas con PCBs, tales como tierra contaminada, pueden ser depositadas en tambores de parte superior abierta con tapas asegurables, en cajas de volumen, o si hay grandes cantidades, éstas podrán ser apiladas con

cubiertas a prueba de lluvia en la parte superior y separadores impermeables en la parte inferior.

#### 8.2.4. Rotulación para PCBs “En Uso” o “Almacenados”

Con el fin de reconocer los equipos y las sustancias contaminadas con PCBs que se encuentren en uso o almacenados, se deberán marcar con etiquetas (100 mm x 100 mm) o rótulos (250 mm x 250 mm) indelebles que no se desprendan fácilmente (ver Figura 8-1) y que contengan la siguiente información:

<p><b>PELIGRO</b></p> <p><b>CONTIENE</b> <b>PCBs</b></p> <p><b>(bifenilos policlorados)</b></p> <p><b>CONCENTRACIÓN:</b> _____ <i>ppm</i></p> <p><i>sustancia “tóxica”</i></p> <p><i>sustancia clase 9 (ONU)</i></p> <p><b>REQUIERE MANEJO ESPECIAL</b> <b>No quemar, perforar, ni derramar</b></p> <p><i>En caso de accidente o derrame, reportarlo a:</i></p> <p><i>Gerencia Ambiental de la Empresa Tel: _____</i> <i>Ministerio del Medio Ambiente, <u>Tel. (091) 3 38 39 00, ext. 468, 365</u></i> <i>Corporación Autónoma Regional o DAMA de la jurisdicción. Tel: _____</i></p>
--

#### 8.2.5. Seguridad

Se necesita de la seguridad con el fin de proteger a otros trabajadores y al público de entrar en contacto con los PCBs, así como para impedir el vandalismo. Las características fundamentales de seguridad son las siguientes:

- Un muro o una cerca de malla de acero de 2m de altura, con 3 hileras de alambre de púas en la parte superior.
- La entrada a la instalación de almacenamiento deberá tener una puerta bien asegurada.
- Sólo tendrán acceso personas que efectúen labores de mantenimiento o inspección de la instalación.
- Deberán colocarse señales de advertencia sobre PCBs.
- Deberán colocarse números telefónicos de emergencia.

#### 8.2.6. Registro de datos

- Se debe registrar la información del inventario en el mismo formato que los informes de inventario al MMA, incluyendo las fechas de recibo y embarque de los PCBs.
- Se debe registrar cualquier cambio en el inventario.
- Se deben registrar todas las actividades de mantenimiento e inspección, incluyendo las fechas y el personal o las compañías que efectúen el trabajo.
- Se deben registrar los nombres de los visitantes y las fechas de las visitas.
- Se deben registrar todas las actividades de entrenamiento de personal, incluyendo nombres y fechas.

#### 8.2.7. Entrenamiento

Toda persona que lleve a cabo labores de mantenimiento o inspección de instalaciones de almacenamiento de PCBs deberá recibir el siguiente entrenamiento:

- Salud y seguridad
- Protocolos de inspección
- Requisitos de operación y mantenimiento
- Protocolos de respuesta a emergencias

#### 8.2.8. Respuesta a emergencias

Las siguientes deberán ser características claves de los requisitos de Respuesta a Emergencias de las instalaciones de almacenamiento de PCBs:

- Plan de Respuesta a Emergencias que identifique las acciones que deberán emprenderse ante diferentes eventualidades (v.g., derrames, incendios, vandalismo, entre otros). Deberá especificar quienes son los responsables de adelantar tales acciones y cómo entrar en contacto con dichas personas (v.g., un Plan de Comunicaciones y Contingencias).
- Entrenamiento en respuesta a emergencias para el personal de inspección y mantenimiento de la instalación de almacenamiento de PCBs.
- Equipos de respuesta a emergencias que incluya equipo para limpieza de derrames (v.g., materiales absorbentes, palas, escobas, tambores vacíos, mallas para cubrimiento de alcantarillas, equipo de protección personal [PPE] y extintores de incendio (de tipo seco, v.g., espuma, dióxido de carbono).
- Números telefónicos de respuesta de emergencia, dispuestos en lugar visible.

### 8.3. Almacenamiento temporal

Aunque el objetivo último para el almacenamiento de los PCBs es que sea una instalación de almacenamiento dotada de todas las características claves mencionadas, en ocasiones es necesario contar con una instalación temporal para ser usada a corto plazo. El almacenamiento transitorio debe ser máximo de treinta días.

Si se puede encontrar un lugar apropiado, lo mejor es el almacenamiento temporal bajo techo. Como ejemplo de lugar apropiado podemos tomar bodegas bajo llave, que no estén en uso, con piso de material impermeable. (Debe asegurarse de que la ventilación de este lugar no llegue a otras donde vivan o trabajen personas.) También se debe asegurar el taponamiento de todos los drenajes del piso ante la eventualidad de una fuga o derrame accidental.

Entre las instalaciones apropiadas para el almacenamiento a la intemperie se encuentran los contenedores para embarque marítimo de acero y con cerrojo, los remolques con cerrojo, u otros semejantes. Si no se dispone de estos contenedores, se debe seleccionar un área de terreno plano, cubrirla con abundantes capas de plástico y rodearla de una berma de tierra. Se debe colocar la cubierta de plástico de forma continua sobre la berma, enterrando el borde por fuera de la berma.

Luego se debe colocar cuidadosamente el equipo PCB, u otros materiales PCB, sobre estibas de apoyo sujetas a la cobertura de plástico y luego cubrirse todo con abundantes capas de plástico o lonas impermeables, con el fin de que la lluvia corra por el plástico hacia fuera de la berma. Se debe verificar que la cubierta plástica se encuentre asegurada de forma que el viento no pueda desplazarla. Esto puede llevarse a cabo apilando tierra en el borde externo de la cubierta, como se ilustra en la Figura 8-2. El área de almacenamiento deberá tener una cerca temporal y señales de advertencia sobre la presencia de PCBs.

#### **8.4. Almacenamiento a largo plazo**

El almacenamiento a largo plazo debe tener todas las características claves enumeradas en la Sección 8.2. Puede usarse un cuarto dentro de un edificio, o construirse un edificio especial para este propósito. (Véase la Figura 8-3 sobre las mejores características de diseño.) Si hay personas que viven o trabajan en el edificio, se necesita ventilación activa hacia el exterior del mismo. Si se usa el edificio para otros propósitos, es muy importante la protección contra incendios, a causa del humo tóxico que se puede generar en un incendio en que se vean involucrados los PCBs.

Si se usa un contenedor de embarque marítimo o un remolque para almacenamiento a largo plazo, puede adaptársele una bandeja de derrame, de acero, de longitud parcial o total, para contención secundaria. Debe incorporarse alguna forma de ventilación pasiva al contenedor o remolque.

En toda instalación de almacenamiento a largo plazo, los tambores y aparatos deben almacenarse sobre estibas de apoyo y sujetarse a éstas, con el fin de que cualquier fuga sea detectada inmediatamente. Los tambores que contienen líquidos, dispuestos sobre estibas de apoyo, no deben apilarse en más de dos niveles. Deben dejarse corredores entre las filas para que las inspecciones puedan hacerse fácilmente.

#### **8.5. Operación y mantenimiento de una instalación de almacenamiento**

Las operaciones incluyen:

- registro de datos, v.g., registro de cambios en el inventario, fechas de inspección,

- personal, etc.
- inspecciones mensuales de detección de fugas, daños, determinación de reparaciones a realizar
- entrenamiento del personal de inspección y mantenimiento

El propósito clave de las actividades de mantenimiento es asegurar que los PCBs no se liberen hacia el medio ambiente y que el público y los trabajadores estén protegidos del contacto con los PCBs. Por consiguiente, todos los aspectos de la instalación de almacenamiento deben mantenerse en buen estado, particularmente los elementos de seguridad, los techos y los contenedores secundarios.

### **8.6. Registro de datos e informe de requisitos**

El MMA establecerá formatos especiales para reportar los inventarios de PCBs en uso y en almacenamiento (Ver Anexo A y Sección 7.3).

## **9. TRANSPORTE DE PCBs BAJO CONDICIONES COLOMBIANAS RESUMEN**

- La Sección 9 comprende exclusivamente el transporte terrestre de PCBs. Los requisitos para transporte marítimo y aéreo de PCBs están amparados por acuerdos internacionales, tales como el Código Marítimo Internacional de Materiales Peligrosos (International Maritime Dangerous Goods - IMDG) o el de la Organización Internacional de Aviación Civil (International Civil Aviation Organization - ICAO).
- Objetivo clave: al igual que en todos los aspectos sobre manejo de PCBs, el objetivo de un transporte adecuado de PCBs es prevenir que estos se liberen al ambiente y proteger a los trabajadores y al público del contacto con PCBs.
- Los siguientes son los principales requisitos para el transporte terrestre seguro de los PCBs:
  - cualquier compañía o persona que transporte PCBs debe tener licencia expedida por la autoridad ambiental competente (es decir, CARs o DAMAs)
  - Los desechos de PCB se deben mantener de manera segura tal que no exista posibilidad de escape, derrame, descarga o cualquier otra condición insegura que pudiese ocurrir durante las condiciones normales de transporte. Los contenedores de desechos o equipos de PCB se deben soportar, bloquear, anclar, amarrar o atar al vehículo de manera segura, a fin de prevenir que se caigan durante el transporte.
  - todos los contenedores o equipos que contengan líquidos deben tener contención secundaria tal como las bandejas de contención o los dobles tambores.
  - la aplicación de la Norma Técnica ICONTEC NTC 1692 para Transporte de Materiales Peligrosos, Clasificación, Rotulación y Marcas es obligatoria.
  - el Anexo B contiene el Formato de Manifiesto recomendado por el MMA.
  - los Planes de Respuesta a Emergencia y el equipo para responder en caso de derrame y/o incendio.
  - los vehículos deben estar en excelentes condiciones de reparación y mantenimiento y ser sometidos frecuentemente a inspección durante los envíos de PCBs. Los vehículos que transportan PCBs no se deben dejar solos, a no ser que estén parqueados en una zona de parqueo segura.

- El entrenamiento para el personal que transporta PCBs debe incluir las instrucciones relativas a todos los anteriores requisitos.

## **9.0 TRANSPORTE DE PCBs BAJO CONDICIONES COLOMBIANAS**

Tal como sucede en otras actividades de manejo de PCBs, el objetivo de transportarlos apropiadamente es impedir que escapen hacia el medio ambiente en caso de que ocurra un accidente, y proteger a los trabajadores y al público del contacto con ellos.

Esta sección abarca los requisitos para el transporte de equipo PCB en uso, equipo con chatarra de PCB y desechos PCB, por vía terrestre, dentro de las fronteras de Colombia. Los embarques internacionales de desechos PCB tienen requisitos adicionales que este Manual no cubre. En el caso de embarques internacionales, consultar el Convenio de Basilea y comunicarse con el Ministerio del Medio Ambiente, entidad que colaborará en los requisitos de los trámites de la Convención.

Este Manual cubre los requisitos para transporte por carretera y ferrocarril. Los embarques aéreos de cualquier cantidad de PCBs están cubiertos por las Instrucciones Técnicas de la Organización Internacional de Aviación Civil (ICAO) y no se incluyen en este Manual. (Las publicaciones de ICAO se pueden acceder a través del sitio web: <http://hazmat.dot.gov/interpub.htm> o escribiendo a: ICAO Document Sales Unit, 999 University Avenue, Montreal, P.Q., Canadá).

Los embarques de 500 g, o más, de desechos PCB por transporte marítimo, están cubiertos por el Código Internacional de Materiales Marítimos Peligrosos (IMDG) y no están cubiertos en este Manual. El código IMDG puede obtenerse con UNZ & Company (New Jersey, Estados Unidos) a través del sitio web: (Source Book) [www.unzexport.com/sourcebook/regulations.html](http://www.unzexport.com/sourcebook/regulations.html).

Como regla general, todo embarque de equipo PCB, o cualquier sustancia contaminada con PCBs que pese más de 20 kg y que se transporte por carretera o ferrocarril, debe embarcarse cumpliendo con los requisitos que se presentan a continuación.

Toda compañía o persona que transporte PCBs debe tener licencia ambiental de la autoridad ambiental regional competente (CARs o DAMAs).

### **9.1 Embalaje de PCBs para transporte**

Los desechos de PCB deben ser contenidos de manera segura, de tal forma que exista poca probabilidad de que se produzcan filtraciones, derrames, descargas o cualquier otra situación peligrosa durante el transporte en condiciones normales. Los contenedores de desechos o equipos PCB deben ir debidamente soportados, bloqueados, sujetos o atados al vehículo, con el fin de prevenir que se desplacen durante el transporte.

Se debe observar la Norma Técnica Colombiana NTC 3972 de **ICONTEC**, de obligatorio cumplimiento, sobre “Transporte de Mercancías Peligrosas Clase 9, Sustancias Peligrosas Varias. Embalaje/Empaque y Transporte Terrestre por Carretera”.

Cualquier contenedor o equipo que contenga líquidos necesita contención secundaria de



derrames, semejante a los requisitos de almacenamiento. Algunos ejemplos son los siguientes:

- Los tambores de líquidos (tambores de doble empaquetadura, de tapa cerrada, calibre 18 o superior) deben ser introducidos en un segundo tambor, ligeramente mayor, llamado a veces “tambor de recuperación”, o pueden también ser puestos en bandejas de derrame.
- Los aparatos eléctricos pequeños deben ponerse en tambores y se deben añadir materiales absorbentes, si algún aparato presenta indicios de escape.
- Los equipos grandes deben ponerse en bandejas de derrame, y se deben añadir materiales absorbentes si se detecta alguna pequeña fuga. Si el equipo no se encuentra en buenas condiciones físicas, por ejemplo si parece que el pilote pudiera romperse, etc., deberá drenarse cuidadosamente hacia los tambores apropiados para el embarque de líquidos. Deberán taparse o sellarse todas las aperturas del equipo drenado antes del embarque, y debe colocarse el aparato en una bandeja de derrame.
- Todas las bandejas de derrame y su contenido deben cubrirse adecuadamente con plástico grueso o lona para impedir que la lluvia entre en contacto con superficies contaminadas con PCBs.

Los sólidos contaminados con PCBs, como puede ser la tierra, no necesitan contención secundaria, pero sí deben contenerse y protegerse del viento y la lluvia, por ejemplo:

- Los sólidos, tales como tierra o escombros contaminados, deberán ponerse en tambores de parte superior abierta (calibre 18 o superior) u otros contenedores pesados de acero y tapados en forma segura.

Nota: 1) los contenedores usados para transportar PCBs o cualquier equipo o sustancia PCB no deben venderse para uso general, pues podrían llegar a ser usados para almacenar alimentos o forraje.

2) Los envíos de PCBs no se deben combinar en el mismo vehículo con ningún otro material, bines, desechos, equipos y otros que no contengan PCBs.

## 9.2. Rotulación

La norma técnica NTC 1692 del ICONTEC sobre Transporte de Mercancías Peligrosas, Clasificación, Etiquetado y Rotulado (Transport of Dangerous Goods. Classification, Labeling, and Marking) es de obligatorio cumplimiento, la cual establece el tamaño, colores, forma y diseño de etiquetas (100 mm x 100 mm) y rótulos (250 mm x 250 mm) para las diferentes categorías de mercancías peligrosas, incluyendo las de “Clase 9”, según la clasificación de la ONU, la cual agrupa las “*sustancias peligrosas varias*”, de la cual hacen parte los PCBs. Según esta norma, corresponde a los equipos y sustancias que contengan PCBs la siguiente leyenda\*:

\* Se deben utilizar etiquetas que sean durables y resistentes a caídas durante el manejo y el transporte. Ver Figura 9-1 para la colocación común de la etiqueta.

### 9.3. Manifiestos

Favor referirse al Anexo B para ver el Formato del Manifiesto.

### 9.4. Planes y equipos para respuesta a emergencias

Es necesario tomar todas las precauciones posibles para prevenir accidentes con los PCBs. Sin embargo, no podemos descartar totalmente la posibilidad de un accidente y, por ende, debemos estar preparados y tener un plan para limitar los daños que se generen.

El Decreto Presidencial No. 321 del 17 de febrero de 1999, “por el cual se adopta el Plan Nacional de Contingencia contra derrames de hidrocarburos, derivados y *sustancias nocivas*”, firmado por el Presidente de la República y por los Ministros del Interior, Medio Ambiente, Defensa Nacional, Desarrollo Económico, Minas y Energía y Transporte.

El decreto establece, en el artículo 8, que “los lineamientos, principios, facultades y organización establecidos en el Plan Nacional de Contingencia - PNC, deberán incorporarse a los planes de contingencia de todas las personas naturales y jurídicas, públicas o privadas, que exploren, investiguen, exploten, produzcan, almacenen, transporten, comercialicen o efectúen cualquier manejo de hidrocarburos, derivados o *sustancias nocivas*, o que tengan bajo su responsabilidad el control y la prevención de los derrames en aguas marinas, fluviales o lacustres”.

El Plan de Respuesta a Emergencias debe comprender los siguientes ítems:

- Plan de Comunicaciones:
  - Cómo debe iniciarse la comunicación, v.g., mediante teléfono celular en el vehículo de transporte.
  - A quiénes debe avisarse del accidente, v.g., a la autoridad ambiental regional competente, al MMA, a la Policía para que controle el acceso, al hospital, al propietario de los PCBs, al dueño del medio de transporte, entre otros.
- Entre las acciones inmediatas se incluyen las siguientes:
  - Iniciación del Plan de Comunicaciones
  - Prevenir que cualquier derrame se extienda y/o extinguir el fuego empleando el equipo, los materiales y la ropa protectora de respuesta de emergencia que se lleva en el camión
  - Debe ser prioritario el impedir que los PCBs entren en contacto con aguas superficiales o alcantarillados.
- El Equipo de Respuesta a Emergencias incluye lo siguiente:
  - Palas, escobas, materiales absorbentes, barredoras de petróleo para agua superficial, mallas de caucho para alcantarilla, tambores vacíos para almacenar desechos de limpieza.
  - Equipo de Protección Personal que incluya overoles desechables de Tyvek,

guantes desechables, respiradores con filtro de cartucho (ver Sección 11.2 para mayor información)

- Planes de limpieza para diversos escenarios de derrame o incendio, por ejemplo:
  - Limpieza de sólidos como tierra, concreto, asfalto, entre otros.
  - Limpieza de PCBs en agua superficial.  
(ver Sección 14 para mayor información)

## **9.5. Entrenamiento**

Toda persona (incluyendo los bomberos) que manipule o transporte PCBs debe ser entrenada en las siguientes materias:

- Naturaleza y características de los PCBs
- Requisitos de empaque y rotulación para PCBs
- Requisitos de manifiesto para PCBs
- Precauciones especiales para el transporte de PCBs
- Requisitos de reporte cuando se transportan PCBs
- Acciones de emergencia que deben emprenderse y Equipo de Protección Personal que se debe usar en caso de una eventualidad peligrosa
- Naturaleza y uso del equipo y los procedimientos de respuesta de emergencia

Los empleadores son responsables de entrenar a su personal en estas materias, de llevar registros del material de los cursos y de cuáles empleados han recibido entrenamiento, así como de expedirles certificados de que han completado el entrenamiento. Los conductores deben llevar consigo estos certificados en el vehículo de transporte y tenerlos disponibles para su inspección.

## **9.6. Vehículos y operaciones para el transporte de PCBs**

A los camiones empleados para el transporte de PCBs se les debe dar un buen mantenimiento y mantenerse en excelentes condiciones de operación. El propietario de los PCBs y la compañía o persona responsable de despachar los PCBs deben garantizar que tanto el conductor como el resto del personal que maneja los PCBs han recibido la capacitación adecuada y que el envío de PCBs está debidamente embalado, tal como ya se mencionó con anterioridad.

El conductor estará presente durante el cargue del envío de PCBs y se asegurará de que estén debidamente asegurados al vehículo. El conductor estará en el vehículo durante todo el transporte de los PCBs desde el lugar de despacho hasta el lugar de destino. El vehículo no se debe dejar solo, a no ser que esté parqueado dentro de una zona de parqueo segura (p.e., un área con una reja segura y cerrada con candado).

El conductor inspeccionará visualmente el vehículo y el envío de PCBs cada 200 kilómetros o cada cuatro horas, dependiendo de que ocurra primero. En caso de que el conductor observe cualquier indicio de problema mecánico del vehículo o de los PCBs, debe tomar acción inmediata para corregir los problemas.

Si el vehículo se contamina con PCBs, debe ser descontaminado antes de volver a utilizarlo. Los criterios de descontaminación (limpieza) se explican en la Sección 12, y los métodos de descontaminación en la Sección 13.

## 10. TOMA Y ANÁLISIS DE MUESTRAS

### RESUMEN

**Las metodologías y protocolos sobre tomas y análisis de muestras** puede resultar un tema altamente técnico. Esta sección del Manual y este Resumen solamente sirven como introducción al tema. Existe una amplia variedad de literatura para los lectores interesados en el tema.

**El principal objetivo de las muestras y el análisis** es producir información que refleje con precisión las características de la matriz analizada. A fin de lograr este objetivo, es necesario aplicar protocolos de muestreo y análisis consistentes.

**Los protocolos sobre muestras** típicamente abarcan aspectos tales como:  
 identificar los parámetros de interés o un parámetro objetivo que sea representativo;  
 planear los sitios para la toma de muestras y el control espacial;  
 especificar las metodologías, equipos y materiales apropiados para tomar las muestras, incluyendo la descontaminación o eliminación del equipo de recoger las muestras después de cada toma;  
 especificar las actividades de Control de Calidad/Aseguramiento de Calidad;  
 evitar la “contaminación cruzada” de las muestras;  
 uso de las formas “Cadena de Custodia”;  
 requisitos de salud y seguridad industrial, incluyendo el equipo de protección personal (PPE).

**La toma de muestras en transformadores** por lo regular incluye los siguientes aspectos:  
 las muestras de los transformadores en uso solamente deben ser tomadas por técnicos eléctricos o, de lo contrario, los transformadores deben estar eléctricamente aislados. La ASTM ofrece mayor información en la página web: [www.astm.org](http://www.astm.org).

En los transformadores de Askarel se toman las muestras del grifo de fondo y se colocan en un frasco transparente, limpio, con tapa a prueba de fugas (2.5 ml), preferiblemente de teflón o de papel de aluminio lavadas con solventes.

En los transformadores de aceite mineral se toman las muestras del grifo de fondo; de no tener grifo, se puede utilizar un inyector especial “Hilti”. Puesto que el aceite mineral es más liviano que el agua, cualquier cantidad de agua acumulada en el transformador puede salir por el grifo de fondo durante la toma de la muestra. Se debe usar el mismo tipo de frasco de tomar muestras que se especificó para los transformadores de Askarel.

**En los tambores de líquido** es mejor tomar las muestras con un tubo de vidrio limpio, transparente, de diámetro estrecho que llegue casi hasta el fondo del tambor. Con este método se extrae una muestra representativa de la profundidad total del tambor. Se deben utilizar los mismos frascos mencionados anteriormente para mantener la muestra.

- **La toma de muestras en superficies sólidas permeables** tales como el concreto sin pintar, resulta mejor tomando una muestra de corazón a lo largo de toda la profundidad de la

contaminación. De esta manera, es posible evaluar una concentración promedio, o se puede cortar el corazón horizontalmente a fin de evaluar los diferentes grados de contaminación según la profundidad.

- **La toma de muestras en superficies impermeables** tales como el concreto o el metal con pintura epóxica resulta mejor siguiendo un protocolo estándar empleado en Canadá y Estados Unidos, conocido como la “Prueba de Lavado”.
- **En la toma de muestras ambientales** (v.g., suelo, agua, aire) por lo general se intentan detectar trazas de PCBs y, por lo tanto, los protocolos sobre muestreo cobran más importancia. Por esta razón, se debe preparar un Plan de Muestreo en el que se determinen los objetivos y los protocolos de muestreo mencionados anteriormente.
- **En la toma de muestras de aceite superficial**, en un sitio en que se conozca o se sospeche que contiene PCBs, es necesario establecer un control horizontal de los sitios de muestreo, utilizando un enmallado de muestras u otro patrón que se tenga mojones permanentes de referencia.
- **En la toma de muestras de suelo superficial**, se requiere control tanto horizontal como vertical. A profundidad somera (típicamente menos de 4 metros), es más fácil tomar muestras con una retroexcavadora. Por razones de seguridad, el personal no debe realizar excavaciones de más de 1.5 metros de profundidad. Por lo regular se utilizan taladros de perforación cuando la profundidad de la contaminación supera la capacidad de una retroexcavadora o cuando la excavación interrumpa otras actividades en superficie. Debido al carácter especializado de estos taladros, la perforación y las operaciones de toma de muestras deben ser supervisadas por un geólogo o hidrogeólogo familiarizado con los más recientes protocolos ambientales en cuanto a toma de muestras se refiere.
- **En la toma de muestras de agua superficial**, se debe tener en cuenta que los líquidos de Askarel son más pesados que el agua y que los aceites minerales son más livianos que el agua. Este hecho, además de otras características de los PCBs, hace que también se encuentren PCBs en los sedimentos de fondo un poco después de que han ingresado al cuerpo de agua. Es posible que los métodos de muestreo sean sencillos, utilizando baldes limpios, botellas, embudos, alambres o postes sumergidos.
- **La toma de muestras de agua subterránea** por lo general es una labor más complicada que la de aguas superficiales. Primero, es necesario utilizar un taladro especializado, como se mencionó anteriormente para las muestras de suelos subterráneos. Aquí también se requiere de la supervisión de un hidrogeólogo experimentado en los más recientes métodos de muestreo. Es muy importante usar diseños de construcción de pozos, de manera que se evite la contaminación cruzada y se reconozcan las características del Askarel de mayor peso que el agua.
- **La toma de muestras de sedimentos** (sedimentos someros) al igual que la de suelos superficiales, por lo general requiere el uso de enmallados de localización del muestreo, u otros patrones, además de un control horizontal. Se utilizan dos categorías principales de recogedores de muestras de sedimentos: los corazonadores y los recogemuestras “split-spoon”. La toma de la muestra se puede hacer desde plataformas fijas tales como puentes o

plataformas flotantes, como botes o balsas. En ocasiones es muestras a mano, utilizando buzos para ello.

- **La toma de muestras del aire ambiente** por lo general debería requerir bastante planeación previa, equipo especializado y personal entrenado. El aparato empleado para tomar muestras de PCBs y/o PCDD/DF en el aire es similar al que se usa para otros compuestos orgánicos semi-volátiles. Por lo regular, el aparato para recoger las muestras consta de un filtro, un absorbente y un mecanismo o control para medir la tasa de flujo. La concentración total de químicos en el aire es determinada por la cantidad encontrada en el absorbente (y el filtro, si se utiliza) dividido por el volumen de aire probado.
- **Cuando se toman muestras de la biota** para determinar la concentración de PCBs se debe tener en cuenta que la vegetación normalmente no se considera un indicador constante de la contaminación ambiental, mientras que los peces y crustáceos, además de las aves marinas y sus huevos, roedores y otros mamíferos superiores se consideran buenas especies indicadoras.
- **Los métodos analíticos** para analizar muestras de PCBs y PCDD/DFs. En la muestra, se analiza con el fin de obtener información relativa a: a) la concentración y 2 (posiblemente) patrones homólogos y congéneres de PCBs y/o PCDD/DF. Existen numerosos métodos analíticos para este grupo de químicos.
- **Para el análisis de PCBs**, se llega a tomar la decisión sobre el método analítico a utilizar después de considerar las respuestas a varias preguntas, entre ellas:
  1. ¿Cuál es la matriz de ejemplo?
  2. ¿Cuál es la concentración de PCBs esperada?
  3. ¿Qué uso se le dará a los datos? ¿Se necesita un nivel de datos de confirmación o de “screening”? ¿Se utilizarán los datos para fines internos, informes reglamentarios o cumplimiento de normas? Esta probablemente es la principal pregunta para basar la elección del método analítico.
  4. ¿Qué límites de detección y cuantificación se requieren para el análisis?
  5. ¿Qué tiempo de respuesta se necesita para el análisis?
  6. ¿Cuál es el patrón esperado de PCBs en la muestra? Se requiere información específica de Aroclor, homólogos o congéneres?
  7. ¿De qué presupuesto se dispone?
  8. ¿Qué tan lejos queda el laboratorio aceptable más cercano?
  9. ¿De qué instrumentación y personal se dispone para realizar el análisis?
- **En el análisis de laboratorio** por lo general se emplea un método de determinación, tal como el de Cromatografía de Gas (CG), en combinación con un detector, como un Espectrómetro de Masa (EM). Antes del análisis, el laboratorio debe preparar cuidadosamente la muestra que se va a analizar, a la cual generalmente se le llama “extracción” y “limpieza”.
- **El análisis con kit de pruebas de PCBs** generalmente se utiliza para “screening” de muestras en el campo, a fin de reducir el costo general del programa de muestreo y proporcionar resultados rápidamente. Los kits de prueba se encuentran para “screening” de aceite de transformadores y para muestras ambientales. Existen dos tipos generales: los kits

de reducción de sodio tales como los kits de Dexsil, que por lo general solo da resultados “positivos” o “negativos” (o sea si el resultado es mayor o menor que un número objetivo, p.e., 50 ppm) y kits para inmuno-ensayos, los cuales por lo general arrojan resultados más precisos. Los usuarios de los kits deben estar conscientes de las limitaciones de éstos y, por lo tanto, diseñar sus programas de muestreo acuerdo con ello.

**Para el análisis de PCDD/DF** los pasos generales a seguir son los mismos que para los PCBs. Sin embargo, los PCDD/DF por lo regular están presentes en el ambiente en concentraciones dos o tres veces (o más) más bajas. Los principales retos en el análisis con PCDD/DF son los límites de detección más bajos. Los métodos analíticos de PCDD/DF requieren un mayor nivel de capacitación y conocimientos del personal debido a la mayor toxicidad de los PCDD/DF en relación con los PCBs, un mayor número de requisitos de limpieza, la susceptibilidad a las interferencias y la sofisticada instrumentación necesaria para la determinación de PCDD/DF. Estos requisitos adicionales tienen como consecuencia tiempos más largos de entrega de resultados, menos laboratorios en capacidad de hacer los análisis y mayor costo de los análisis. Por consiguiente, por lo regular se utilizan menos análisis para PCDD/DF con respecto a los PCBs, excepto en casos en que se sospeche su existencia tales como en un incendio de PCBs o un percance térmico. Los kits de prueba por lo general no se consideran apropiados para el análisis PD/DF; sin embargo, la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos está en proceso de evaluación de un kit de inmuno-ensayo para este fin.

## 10.0 TOMA Y ANÁLISIS DE MUESTRAS

Los métodos y las técnicas de toma y análisis de muestras pueden ser una cuestión muy técnica e interesante. Existe en la literatura mundial una gran cantidad de información técnica. A causa de la amplitud del tema, esta sección del Manual solamente puede proveer información y orientación básica. Debe ser suficiente para llamar la atención del lector sobre la importancia del tema y la observancia de los protocolos de toma y análisis de muestras. Los lectores interesados en el tema deberían consultar los manuales técnicos detallados desarrollados por agencias gubernamentales extranjeras, tales como:

- Consejo Canadiense de Ministros del Medio Ambiente, web site [www.ccme.ca/ccme](http://www.ccme.ca/ccme). Es de particular utilidad la sección “Publications” (“Publicaciones”) de este web site, donde pueden solicitarse manuales completos de orientación acerca de “Sampling, Analysis, and Data Management” (“Toma y análisis de muestras y manejo de datos”) y un “Subsurface Assessment Handbook” (“Manual de evaluación del subsuelo”).
- Ministerio del Medio Ambiente de Ontario (Departamento del Canadá), web site [www.ene.gov.on.ca](http://www.ene.gov.on.ca). Son de particular utilidad los manuales “Guidelines for the Cleanup of Contaminated Sites in Ontario” (“Lineamientos para la limpieza de sitios contaminados en Ontario”) y sus manuales complementarios “Guidance on Sampling and Analytical Methods for Use at Contaminated Sites in Ontario” (“Orientación sobre métodos analíticos y de toma de muestras para ser usados en sitios contaminados en Ontario”).
- Los web sites de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos [www.epa.gov/epahome](http://www.epa.gov/epahome) o [www.epa.gov/superfund](http://www.epa.gov/superfund) o [www.epa.gov/epaoswer/hazwaste](http://www.epa.gov/epaoswer/hazwaste).

### 10.1. ¿Por qué tomar muestras y planear?

En su nivel más elemental, la toma de muestras es importante porque nos proporciona la información necesaria para evaluar la situación, establecer prioridades en las acciones y manejar adecuadamente la situación. A modo de ejemplo, las siguientes decisiones dependen, en gran medida, de la concentración de PCBs.

- Las medidas de salud y seguridad necesarias para la manipulación de PCBs
- La evaluación de los riesgos sanitarios y ambientales de las emisiones de PCBs
- Los requisitos para la limpieza de derrames de PCBs o incendios en que haya presencia de PCBs
- Métodos y costos de tratamiento y destrucción de PCBs
- Las prioridades en el plan de eliminación por fases de diferentes tipos de equipos PCB
- Las prioridades del plan de eliminación para distintos tipos de equipo PCB

Antes de emprender la toma de muestras, se debe elaborar un plan. Entre más amplio sea el programa de muestreo, más detallado debe ser el plan. Este plan debe incluir lo siguiente como mínimo:

- Objetivos del muestreo y el análisis
- Los protocolos de muestreo que se utilizarán
- El equipo y los elementos requeridos para el muestreo

### 10.2. Importancia y utilización de protocolos de muestreo

Existen numerosas fuentes de error(es) y/o sesgo en el proceso de muestreo y análisis. El proceso de muestreo y análisis puede ser una fuente de errores significativos, y a veces, la principal fuente de ellos. Se recomienda emplear protocolos de muestreo para todos los programas de muestreo, con base en las siguientes razones.

- Para garantizar que se obtengan muestras representativas, teniendo en cuenta aspectos como la variabilidad geográfica y temporal
- Para garantizar que se obtengan resultados de muestreo que se puedan reproducir, en el ámbito de una heterogeneidad de muestras
- Para garantizar que el muestreo se realice de manera que se produzcan ubicaciones de muestras resueltas geográficamente
- Para garantizar que se minimice la variabilidad entre las muestras, permitiendo así comparar muestras obtenidas en diferentes fechas y/o por diferentes personas
- Para minimizar problemas de contaminación, para garantizar que se sigan procedimientos adecuados de recolección, conservación y descontaminación de muestras
- Para garantizar que se haya establecido claramente el fin o propósito de un programa de muestreo y que se cumpla dicho propósito
- Para definir los parámetros de interés
- Para definir la ubicación y la frecuencia del muestreo
- Para garantizar que se sigan procedimientos adecuados para el almacenamiento y



transporte de muestra, incluyendo la Cadena de Custodia

<b>ELEMENTO PRINCIPAL</b>	<b>SUB-ELEMENTOS</b>
Parámetros de interés	Componentes químicos para garantizar que se obtengan
Ubicaciones	Sitio, profundidad, frecuencia espacial y temporal
Recolección de muestras	Mecanismos, materiales de construcción, metodologías
Manejo de muestras	Conservación, “screening”, formatos para el campo y los viajes, aglomerantes de matriz
Definición del campo	Especies inestables y otras variables de muestreo
Almacenamiento y transporte de muestras	Conservación de la integridad física y química de la muestra
Procedimientos de aseguramiento y control de calidad (QA/QC) (ver siguiente sección)	Cuantos duplicados, aglomeraciones, formatos

### **10.3. Requisitos de Control y Aseguramiento de la Calidad (QC/QA)**

Los protocolos de Control de Calidad (QC) son actividades específicas que se llevan a cabo con el propósito de mantener la calidad en la recolección, el análisis y el registro de muestras. Son primordialmente una función científica o técnica llevada a cabo por personal técnico.

El Aseguramiento de la Calidad (QA) es un sistema para:

- detallar procedimientos que aseguren que la calidad de las muestras y la información sea aceptable,
- documentar potenciales fuentes de error y de variación, y especificar verificaciones de control de calidad para cada una,
- especificar el método de documentación de los resultados de estas verificaciones de QC,
- establecer planes de campo de QC que detallen los tipos de observaciones de campo que han de hacerse durante la toma de muestras y la terminología que deberá ser usada en su descripción,
- establecer el número y tipo de muestras de campo de QC que el personal de campo debe entregar al laboratorio,
- fijar el número de muestras de referencia que deben ser entregadas al laboratorio (para comparación de la variabilidad del lote) y
- fijar la localización de las estaciones de toma de muestras propuestas, debidamente referidas a algún punto físico de reparo.

### **10.4. Protocolos generales de toma de muestras para evitar la contaminación**

## **cruzada**

Es parte importante de los protocolos de toma de muestras el evitar la “contaminación cruzada” de las muestras. En general, la contaminación cruzada ocurre cuando se transfiere accidentalmente la contaminación de una muestra a otra, lo cual hace que los resultados del análisis de la segunda muestra sean inválidos (v.g., que no sean representativos del medio en el que se toma la muestra).

La contaminación cruzada puede ocurrir por reutilizar equipos para toma de muestras o recipientes contaminados. Por consiguiente, los equipos para toma de muestras y recipientes deben ser desechables o limpiados mediante la observación de protocolos reconocidos, como sigue:

- Lavado físico con detergente (sin fosfato)
- Enjuague con agua destilada o desionizada
- Enjuague triple con solvente de grado reactivo con solvente orgánico grado reactivo (v.g., la acetona es el mejor porque es el menos tóxico; puede usarse también metanol, hexano o pentano)

La contaminación cruzada también puede resultar de la manipulación humana del equipo de toma de muestras y de los recipientes para muestras. En consecuencia, deben emplearse los guantes desechables apropiados (véase la Sección 11.2), los cuales deben cambiarse después de tomar cada muestra (v.g., después del muestreo de cada transformador).

En general, cuanto menor sea el nivel de contaminación esperado, tanto mayor deberá ser el cuidado que se tome para evitar la contaminación cruzada. Por ejemplo, si se está tomando muestra de una fuente de agua potable e intentando establecer si el agua satisface un estándar de 3 ppb, este nivel de contaminación puede fácilmente ser representado de modo erróneo si una traza de PCBs procedente del equipo de toma de muestras, de los recipientes o de los guantes produce contaminación cruzada de la muestra.

### **10.5. Formatos de cadena de custodia**

Los formatos de cadena de custodia son parte de los protocolos de QA/QC y se usan para registrar información importante, tal como quién tomó la muestra, dónde y cuándo se tomó, el tipo de medio del que se tomó, el tipo de análisis que se requiere y para cuáles parámetros, etc. En la Figura 10-1 se ilustra un formato estándar de cadena de custodia. Quien toma la muestra debe conservar una copia del formato y otra copia se incluye junto con las muestras para informar al laboratorio y para los registros del laboratorio.

### **10.6. Muestreo de transformadores**

Primero que todo, los transformadores bajo tensión no solamente deben ser probados por personal eléctrico capacitado, sino que éstos deben aislar los transformadores eléctricamente antes de tomar las muestras.

Los estándares técnicos para prueba de los transformadores pueden encontrarse en

American Society for Testing and Materials (ASTM) [Sociedad Americana de Pruebas y Materiales] en la dirección electrónica [www.astm.org](http://www.astm.org). Los estándares se pueden ordenar en línea de la siguiente manera: ASTM.D117-96, ASTM.D923-97 y ASTM.D3613-92.

#### 10.6.1. Transformadores “Askarel”

Los transformadores Askarel por lo regular contienen una alta concentración de líquidos PCB (40 a 80% de PCB) y, por lo tanto, se deben tomar precauciones estrictas para evitar la exposición humana y evitar derrames. Favor revisar la Sección 11.2 sobre el equipo de protección personal recomendado y otras sugerencias de salud y seguridad.

Las muestras de aceite Askarel (2-5 ml) se deben recolectar del fondo del grifo en el transformador, en un recipiente pequeño, limpio y transparente, con una tapa a prueba de derrames (se prefiere una tapa con recubrimiento de teflón o de papel aluminio lavado con solventes). Los recipientes se deben rotular apropiadamente y se deben llenar los formatos de cadena de custodia --- ver Sección 10.5.

No se debe reutilizar ningún equipo que tenga contacto con PCBs, a no ser que se limpie completamente --- ver Sección 10.4 para las instrucciones de limpieza.

#### 10.6.2. Transformadores de aceite mineral

Los transformadores de aceite mineral contaminados, usualmente contienen contaminaciones de aceite en concentraciones por debajo de 1000 ppm (o 0.1% de PCB). Se deben tomar medidas de precaución para evitar derrames de PCB líquido al medio ambiente o el contacto con la piel o la ropa. Se deben usar los guantes apropiados para proteger las manos --- ver Sección 11.2.

Los transformadores de aceite mineral con grifos de fondo se pueden probar desde el grifo; pero debido a que el aceite mineral es más ligero que el agua, se debe tener cuidado al purgar el grifo de cualquier agua que se haya depositado en el fondo. Los transformadores de aceite mineral, sin grifos de fondo, se pueden probar mediante la remoción de la parte superior y utilizando un tubo de muestra (ver la sección más adelante sobre muestreo cilíndrico), o mediante la utilización de un inyector “Hilti gun” para insertar un grifo pequeño directamente por encima del nivel de aceite del transformador y luego sacar la muestra con un tubo, tal como se ilustra en la Figura 10-2.

Coloque la muestra (2-5 ml) dentro de un recipiente pequeño, limpio, con tapa anti-fugas (se prefiere una tapa con recubrimiento de teflón o de papel aluminio lavada con solventes). Los recipientes se deben rotular adecuadamente y se deben completar los formatos de cadena de custodia --- ver Sección 10.5.

No se debe reutilizar ningún equipo de muestreo que haya estado en contacto con PCBs, a no ser que se limpie completamente --- ver Sección 10.4 para las instrucciones de limpieza.

##### 10.6.2.1 Uso de ‘kits’ de prueba y muestreo compuesto de aceite mineral

## Transformadores

A fin de reducir el tiempo y/o los gastos asociados con las pruebas/el análisis de un gran número de transformadores, se pueden utilizar kits de prueba o muestreo compuesto.

Los kits de prueba, como el Dexsil “Chlor-in-Oil”, se encuentran disponibles para determinar si el aceite muestreado es de más o menos 50ppm (método 8078 de la EPA de Estados Unidos). No obstante, el usuario del kit debe tener mucho cuidado en seguir las instrucciones cuidadosamente, incluyendo la interpretación de los resultados. Por ejemplo, ya que el kit mide la cantidad de cloro en la muestra, el resultado debe calibrarse en relación con el tipo de arocloro presente (debido a que los distintos arocloros contienen diferentes concentraciones de cloro). Si el tipo de arocloro es desconocido (únicamente los análisis de laboratorio muy sofisticados pueden proporcionar esta información), entonces el enfoque conservador consiste en suponer que se trata del tipo de arocloro con bajo cloro, el cual se supone comúnmente que es 1242.

El muestreo compuesto se basa en tomar porciones de igual tamaño (peso) de varias muestras individuales separadas y mezclarlas a fondo entre sí para obtener una muestra “compuesta” más grande. El número máximo de muestras que debe mezclarse en una sola es de diez. Si se utilizan más de diez muestras, se pueden tener problemas con negativos falsos debido a asuntos de límites de cuantificación y detección analítica. Cuando se detectan PCBs en una muestra compuesta, se debe tomar un supuesto conservador (es decir, el supuesto del peor caso) de que todos los PCBs existen en una muestra y, por lo tanto, el nivel objetivo de 50ppm se convierte en 5ppm (es decir, 50ppm dividido por las diez muestras).

Por ejemplo, si se mezclan diez muestras de 1 g de aceite de transformador, el nivel de preocupación sería  $50 \text{ mg/kg} / 10 = 5 \text{ mg/kg}$ . En la práctica, una concentración de  $>3$  o  $4$  ppm quizás sería motivo de preocupación, debido a la variabilidad analítica y aspectos de heterogeneidad de la muestra. Si una muestra compuesta contiene una concentración mayor a la del nivel de preocupación calculado para la muestra compuesta, entonces cada submuestra debe analizarse individualmente (mediante kit de prueba o un método más cuantitativo, a fin de determinar si alguna de las muestras contiene más del límite reglamentario).

Debido al límite de detección inferior requerido (al menos 5ppm o menos) por el análisis de una muestra compuesta, los kits de prueba como el Dexsil “Chlor-in-Oil” no son útiles. Se requiere una metodología cuantitativa más sofisticada, como el uso del instrumento L2000 con electrodo selectivo de iones (método 8079 de la EPA de Estados Unidos). Hay otros instrumentos selectivos de iones. También existe la opción más costosa, es decir, enviar la muestra a un laboratorio para análisis de cuantificación mediante GCMS u otro método de laboratorio reconocido.

Si hay preguntas sobre cómo preparar muestras compuestas, o cómo interpretar los resultados, se le sugiere al lector comunicarse con el Ministerio del Medio Ambiente.

## **10.7. Muestreo de cilindros de líquido**

Después de un tiempo, los líquidos pueden estratificarse en diferentes capas de densidad, si no han sido perturbados. Por lo tanto, para tomar una muestra que sea representativa del contenido del recipiente, se requiere de la utilización de un método de integración de las diferentes capas. Utilice los guantes apropiados y otros equipos de protección personal (PPE), tal como se especifica en la Sección 11.2.

El método más sencillo para recoger una muestra integrada es insertando un tubo largo (con una sección cruzada pequeña), preferiblemente de vidrio (se puede utilizar plástico, pero éste puede producir interferencias en el análisis, según lo informa el laboratorio), dentro de la profundidad total del recipiente y luego colocar el dedo sobre la parte superior y cuidadosamente retirar la muestra y pasar el contenido completo a un recipiente de muestra del tamaño apropiado, limpio y transparente (ver Figura 10-3). Rotule el recipiente y llene el formato de cadena de custodia --- ver Sección 10.5.

No reutilice ninguno de los equipos de muestreo o recipientes de muestras que hayan tenido contacto con PCBs, a no ser que se limpien apropiadamente --- ver Sección 10.4.

## **10.8. Muestreo de superficies sólidas**

A menudo es necesario tomar muestras de superficies sólidas en edificaciones, equipos o maquinaria, o en el ambiente en donde se han producido derrames de PCB o se han presentado incendios de PCB, o se sospeche que éstos hayan ocurrido. También, cuando se descontaminan de PCB las superficies internas de los transformadores u otros equipos, es necesario probar estas superficies con el fin de verificar que la tarea de descontaminación ha sido exitosa.

Las superficies sólidas se clasifican dentro de dos categorías: permeables e impermeables. Ejemplo de superficies permeables son aquellas en que los PCBs líquidos migran hacia la superficie e incluyen pavimento asfáltico, madera sin pintura, concreto sin pintura. Ejemplo de superficies sólidas impermeables pueden ser las superficies metálicas, cerámica, superficies pintadas donde la pintura se encuentra en buenas condiciones, etc.

### **10.8.1. Muestreo de superficies sólidas permeables**

Los líquidos PCB que ya han migrado a través de los materiales permeables, tales como la madera y el concreto sin pintura. Entre más tiempo transcurra desde que se presentó el derrame, mayor será la profundidad de la contaminación.

Para obtener muestras de estos materiales, es mejor tomar una muestra intacta del núcleo, utilizando un taladro y un descorazonador limpio. El núcleo recolectado puede entonces ponerse en un recipiente limpio, rotulado y luego se debe enviar al laboratorio junto con el formato de cadena de custodia. A veces es importante saber como cambia la concentración de PCBs dependiendo de la profundidad y, por lo tanto, en dichas circunstancias, se pueden hacer submuestras del núcleo y cada uno de estas submuestras deben remitirse en un recipiente por separado.

Utilice siempre los guantes y equipos de protección personal adecuados, tal como se especifica en la Sección 11.2.

Nunca reutilice los equipos de muestreo o recipientes de muestras que hayan estado en contacto con PCBs, a no ser que se limpien apropiadamente --- ver Sección 10.4 para las instrucciones de limpieza.

#### 10.8.2. Muestreo de superficies sólidas impermeables

Las superficies impermeables, tales como el metal, la madera o el concreto pintados, la cerámica, etc., son superficies donde los PCBs no pueden penetrar fácilmente la superficie exterior (cabe anotar, sin embargo, que con el tiempo los PCBs pueden disolver cierto tipo de pintura). A menudo es importante tomar muestras de estas superficies, a fin de valorar el riesgo de salud que representa para los humanos que puedan tener contacto con estas superficies contaminadas o para verificar el progreso o éxito de los trabajos de limpieza o descontaminación de equipos.

El protocolo EPA estándar canadiense y de los Estados Unidos para el muestreo de superficies impermeables sólidas (a menudo se hace referencia a “Wipe Sampling” - *Muestreo de Limpieza*) se detalla a continuación:

- Equipo de muestreo requerido
  1. Recipientes de vidrio para muestras limpios, cada uno con relleno de gasa
  2. Plantillas desechables
  3. Guantes desechables adecuados
  4. Tenazas o pinzas metálicas
  5. Botella de hexano con grado de pesticida con bureta de bomba
- Preparación previa a la toma de la muestra
  1. Coloque en cada uno de los recipientes de vidrio de 250 ml y previamente limpios, almohadillas de gasa estéril, de doce capas plegadas de 10 cm por 10 cm. Los recipientes se sellan, entonces, con tapas con revestimiento de papel aluminio limpiado con hexano o teflón.
  2. Se preparan plantillas desechables de tal manera que los bordes interiores representen una superficie mínima de 100 cm<sup>2</sup>. La plantilla puede ser de cualquier forma, apropiada para la superficie a ser probada (ej., cuadrada o rectangular, usualmente). Se pueden sacar muestras de superficies por debajo de los 100 cm<sup>2</sup>, si las circunstancias así lo requieren; sin embargo, con dicho procedimiento se puede correr el riesgo de no detectar los PCBs, debido a las limitaciones del equipo analítico del laboratorio. Generalmente, las plantillas se hacen de papel pesado o cartón y no se deben reutilizar entre muestras.
- Metodología para el muestreo (ver Figura 10-4)

1. Mediante la utilización de una plantilla desechable y utilizando guantes desechables, marque con un pedazo de tiza u otro marcador, el perímetro de  $100 \text{ cm}^2$  dentro de la superficie de la plantilla sobre la superficie a ser probada. Deseche el plantilla y luego los guantes.
2. Abra uno de los recipientes. Utilizando un par de guantes limpios, remueva la almohadilla de gasa que se encuentra en el interior del recipiente. Adicione 4 a 5 ml de hexano equivalente a la almohadilla de gasa de la bureta de bomba en la botella de solvente.
3. Empezando por una esquina, limpie por filas el área marcada previamente con una almohadilla de gasa, asegurándose que la superficie completa haya sido limpiada, utilizando una presión estable y uniforme. La almohadilla debe voltearse para exponer una superficie fresca a la mitad del proceso de limpieza de la superficie.
4. Abra la almohadilla y dóblela nuevamente para exponer una superficie fresca y luego limpie de nuevo la superficie, tal como se hizo anteriormente, pero en filas perpendiculares a las filas previas.
5. Ponga la almohadilla de gasa utilizada dentro del recipiente. Cierre la tapa y rotule el recipiente, deseche los guantes y complete el formato de cadena de custodia.
6. En el caso de muestreo de compuestos, se pueden utilizar varios pedazos de gasa (cada una se debe utilizar para un área de  $100 \text{ cm}^2$ ) en el mismo recipiente y enviar para análisis.
7. Los resultados analíticos reportados, si se reportan como una masa total de PCBs en ug, pueden ser utilizados como  $\text{ug}/100 \text{ cm}^2$ , o si se reporta como una concentración en el copo o la gasa, se puede convertir a PCB total, multiplicándolo por la masa de cambio (tenga cuidado de utilizar las unidades correctas de medida).

### **10.9. Muestreo del medio ambiente**

A menudo los niveles de contaminación que requieren investigación ambiental son a los que se refieren como niveles de “traza” y, por lo tanto, los protocolos de muestreo se deben observar estrictamente, con el fin de que la contaminación cruzada y otros problemas de muestreo no interfieran con los resultados.

Cuando se elaboren planes para un programa de muestreo ambiental, uno de los primeros pasos es establecer por escrito los objetivos del programa. Es necesario definir y describir en detalle los objetivos. Esto asegura que el trabajo esencial se lleve a cabo y que las actividades que nos sean esenciales se descarten. Si es un programa extenso se puede dividir en subprogramas.

Los siguientes protocolos son adecuados para PCBs y otros químicos semivolátiles. Se deben utilizar protocolos diferentes para los químicos volátiles e inorgánicos.

## 10.9.1. Muestreo de suelos superficiales

### 10.9.1.1. Planeación del programa de muestreo

Los muestreos de suelos se llevan a cabo generalmente después de la ocurrencia de un derrame, o cuando se sospeche que éste ha ocurrido. La extensión del área de derrame (p.e., tierras manchadas) puede ser visible o no serlo. De todas maneras, es importante recoger tanta información como sea posible acerca de la ocurrencia del derrame y practicar un reconocimiento visual completo (se deben tomar fotos) del sitio, antes de la planeación del programa de muestreo.

Los programas de muestreo utilizan, por lo general, uno o una combinación de los siguientes patrones de localización para el muestreo.

- Según criterio: se elige el lugar en donde se localiza el muestreo con base en la historia del sitio, por medio de valoración visual u opinión técnica
- Sistemático: según el cual una red de muestreo sistemático se efectúa sobre el área de interés
- Al azar: mediante el cual se sacan muestras al azar del área de interés
- Combinación: en el que se utiliza cualquier combinación o variación de los métodos anteriormente expuestos

Cualquiera que sea el enfoque del muestreo utilizado, es importante ejercer alguna forma de control de referencia de distancia horizontal física, con el fin de que las redes se expongan adecuadamente y con referencia a otras características físicas. Se necesitarán planos para registrar la localización de los puntos de muestreo, como suele suceder, poder retornar a los puntos de muestreo y tomar muestras nuevamente después de la limpieza, con el fin de realizar otras verificaciones.

El número de muestras a tomar es una decisión de utilizar el mejor criterio, basada en las siguientes consideraciones:

- El área estimada de la contaminación afectará el número total de muestras, en donde generalmente las áreas más extensas requieren de más muestras, aunque, por lo regular, se requieren muestras de menor densidad, por ejemplo, en una área de 100m<sup>2</sup> alguien puede decidir tomar cuatro muestras, con un resultado de una densidad de una muestra/20m<sup>2</sup> y en un área de 10.000m<sup>2</sup> se podría decidir que se necesitan veinte muestras, lo cual resulta en una densidad de una muestra/500m<sup>2</sup>.
- El propósito del muestreo (ej., muestreos preliminares para localizar el derrame, muestreo detallado para delinear la extensión real de la contaminación, el muestreo para guiar los trabajos de limpieza, o el muestreo para verificar que se ha completado la limpieza)
- La localización y la importancia de cualquier receptor sensible dentro o cerca del área de contaminación
- La seguridad de los márgenes de error aceptables
- La relación costo-beneficio del muestreo

Si se trata de un derrame visible, se puede planear el programa primero, calculando la



ubicación del centro del derrame y luego exponiendo las ubicaciones propuestas para el muestreo. A menudo se expone una red de círculos concéntricos, tal como se ilustra en la Figura 10-4, lo cual tiene como resultando una concentración mayor de muestras recolectadas cerca del centro y menos muestras a medida que se aleja del centro hacia los límites fuera del derrame. Es importante que en cualquier programa de muestreo se tomen muestras lo suficientemente lejos del centro del derrame, con el fin de poder definir los límites fuera del derrame. Esto es generalmente cuestión de opinión, pero, si se lleva a cabo correctamente, puede evitarse el tener que regresar al sitio para realizar muestreos posteriores con el objeto de definir los límites horizontales del derrame.

Si la evidencia del derrame no es visible pero, en general, se conoce el área, entonces un procedimiento adecuado sería un sistema de red cuadrada, con muestras recogidas en cada nodo de red, tal como se ilustra en la Figura 10-5.

Los muestreos compuestos se utilizan a menudo, ya sea para reducir costos en un programa preliminar de muestreo en una área extensa (ej.: media hectárea o más), o para encontrar la concentración promedio de contaminación dentro de una área pequeña.

En caso de una área extensa, se pueden combinar muestras de varios nodos de red. Vale la pena tener en cuenta que cuando se hace la valoración de los resultados analíticos de una muestra compuesta en este contexto, siempre se deberá interpretar el resultado como el escenario más grave, ej., que todos los PCBs detectados son de sólo una de las muestras dentro del compuesto, en vez de un promedio y que, por lo tanto, el resultado de la concentración de PCBs, en el peor escenario, es el resultado de multiplicar la concentración promedio por el número de muestras en el muestreo compuesto. La distancia de la red dependerá del tamaño del área en que se van a sacar las muestras y otras condiciones, tal como se enumeraron anteriormente.

En otro caso, en que por cualquier razón se presente una variación grande en los niveles de contaminación a nivel de superficie, sería beneficioso recolectar una muestra compuesta en cada nodo de red. Por ejemplo, se pueden recoger de cinco a diez muestras por separado dentro de un radio de 1 m del nodo de la red y se combinan dentro de la muestra compuesta.

Si es el caso, cuando no hay evidencia visual del derrame y sólo se tiene una idea muy general sobre el lugar donde ha podido ocurrir el derrame, el área de muestra puede ser bastante amplia y, por lo tanto, se tendrá que utilizar una gran red con compuestos de varios puntos de red, o utilizar el sistema de muestreo al azar.

A menudo se requiere de un seguimiento del muestreo después de la primera ronda preliminar de muestreo, con el fin de definir mejor la extensión de la contaminación.

#### 10.9.1.2. Herramientas para el muestreo de suelos superficiales

Se requieren las siguientes herramientas para tomar muestras de suelos superficiales para el análisis de PCB (por ejemplo: se requieren diferentes herramientas para el muestreo de sustancias inorgánicas).

- Pala pequeña de acero inoxidable o cromo, o espátula de acero inoxidable de 15 cms.

de longitud

- Una serie de recipientes limpios y transparentes para muestras, con tapas revestidas interiormente con teflón o papel aluminio lavado
- Etiqueta para recipientes y formatos de cadena de custodia
- Equipo y materiales de descontaminación para descontaminar los palustres, incluyendo agua destilada, acetona o hexano
- Cinta de medición para levantar el plano del área de muestreo y las distancias de referencia de las marcas
- Libro de registro para escribir y reseñar el patrón de muestreo, las referencias de las marcas y otra información pertinente
- Estacas para marcar los puntos de la red
- Guantes adecuados y otros equipos de protección personal, tal como se recomienda en la Sección 11.2

En la Figura 10-7 aparece un ejemplo de equipos de muestreo.

#### 10.9.1.3. Toma de muestras de suelo

Se deben tener en cuentas los siguientes pasos y consideraciones en la toma de muestras de suelos superficiales para el análisis de PCB:

- Usualmente se considera que el suelo superficial son los 15 cms. de tierra de la capa superior; por lo tanto, cuando se toman muestras de superficie, se deben integrar los 15 cms. de tierra de la capa de encima.
- Un método sencillo para integrar un palustre o pala llena de tierra, es utilizar un recipiente de muestra para colocar cuidadosamente una copa de tierra dentro del recipiente, a los largo de la totalidad de la profundidad de la capa de la tierra removida del hueco de excavación.
- Descontaminar la pala o espátula después de cada muestra, con una serie de enjuagues compuestos por agua destilada, acetona, o hexano.
- Rotule los recipientes y complete el formato de cadena de custodia.
- Almacene el recipiente en un enfriador, en donde la temperatura pueda mantenerse por debajo de los 10°C hasta que se analice la muestra.

#### 10.9.2. Muestreo del subsuelo

Una vez se haya delineado la totalidad de la contaminación de la superficie, generalmente es necesario regresar al sitio para determinar la extensión vertical de la contaminación. Hay dos métodos para hacer esto; la utilización de una retroexcavadora, o la utilización de un equipo especializado para barrenado.

##### 10.9.2.1. Utilización de una retroexcavadora para el muestreo del subsuelo

El método más fácil y menos costoso para el muestreo en profundidad, es con una retroexcavadora neumática, la cual puede usualmente alcanzar profundidades de 3 a 4 metros. Se pueden excavar, bien sea fosos discretos para pruebas, o zanjas continuas para muestras. Si se está investigando un área extensa, usualmente se utilizan las pruebas de fosos.

A medida que se excavan el foso de muestra o la zanja, el investigador le solicitará al operador de la retroexcavadora que se detenga cuando se necesite tomar muestras. El investigador, entonces, entra a la excavación y recolecta la muestra. Para tomar una muestra, el investigador primero remueve una capa delgada del suelo de la superficie de la pared de la excavación con un palustre limpio, con el propósito de exponer una superficie fresca para el muestreo (ya que el balde de la retroexcavadora puede haber contaminado la superficie del suelo con la que tuvo contacto). Se puede, entonces, recolectar una muestra raspando el recipiente a través del área de interés sobre la superficie de la excavación expuesta o mediante la utilización de un palustre limpio de acero inoxidable para raspar una capa delgada de tierra dentro de un plato de aluminio. Después de homogeneizar la muestra recolectada en el plato de aluminio, se puede tomar una submuestra y se deposita en un recipiente limpio.

En general el investigador no integra más de aproximadamente 0.3 metros de profundidad de suelo en una muestra. Debido a que los contaminantes siguen a menudo los horizontes del suelo o las capas de los cimientos con diferentes permeabilidades, éstos horizontes de suelo diferente normalmente no deben integrarse en una muestra.

Cuando la prueba de foso o zanja alcanza una profundidad de más de 1.5 metros, el investigador no deberá entrar a la excavación por razones de seguridad. Para obtener muestras en estas profundidades, el investigador debe formular sus recomendaciones desde la superficie y dirigir al operador de la retroexcavadora para que saque un balde de tierra en el área de interés. Una vez el balde de tierra se ha depositado cuidadosamente en la superficie, el investigador puede, con un palustre limpio, abrir el montón de tierra para exponer una parte de ésta que no haya sido tocada por el balde (para evitar la contaminación cruzada). El investigador puede entonces tomar una muestra de esta tierra expuesta.

#### 10.9.2.2. Utilización de un taladro para tomar muestras del subsuelo

Los taladros se utilizan, por lo regular, cuando la profundidad de la contaminación está fuera del alcance de una retroexcavadora, o cuando las pruebas de fosos o zanjas puedan ser muy destructivas para la superficie o actividades en el sitio (ejemplo: cuando el concreto cubre la superficie del sitio, o el sitio está localizado en un lugar ocupado por una actividad similar).

Hay muchos requisitos de control y aseguramiento de calidad (QA/QC) asociados con la realización de un muestreo mediante la utilización de un taladro. En este Manual no se tratará el tema en detalle, pero se mencionará de forma breve, de tal manera que los lectores tengan una idea sobre el tema. Se recomienda por medio de los lineamientos aquí expuestos, que si se llegase a necesitar un taladro, se contraten los servicios de un geólogo o hidrogeólogo para que supervise este trabajo. Asegúrese de que ellos estén familiarizados con las últimas técnicas de muestreo ambiental.

Se han empleado un sinnúmero de métodos de perforación para tomar muestras del subsuelo. El método mas versátil para la recolección de muestras de suelo inalteradas y para la instalación de pozos de monitoreo lo constituye la barrena hueca (ver figura 10-8). Como lo dice su nombre, la barrena es hueca, pero durante la perforación se coloca un tapón en la parte inferior de la misma para evitar el acceso de materiales a la barrena.

Una vez alcanzada la profundidad deseada, se detiene la barrena, se retira el tapón y puede obtenerse una muestra inalterada utilizando un sacamuestras de cuchara ('split spoon sampler'), que es una especie de sacamuestras de corazón se martilla en el suelo a través del fondo del vástago hueco. Una vez en la superficie, el sacamuestras en la superficie puede abrirse y realizarse un submuestreo, o conservarlo intacto.

Cuando se perfora a través de áreas contaminadas, resulta muy importante emplear técnicas complementarias para evitar la contaminación cruzada de las muestras, al igual que la migración de la contaminación en el hueco. Para evitar estos hechos, se debe instalar el revestimiento y fijarlo con cemento.

Antes de intentar aplicar las técnicas de perforación mencionadas, utilice como referencia los textos estándar o manuales relacionados con este tema. Uno de dichos manuales es "Manual de evaluación de subsuelo para sitios contaminados" (Subsurface Assessment Handbook for Contaminated Sites) - CCME – documento EPC–NCSRP–48E, preparado por el Centro de Investigación de Agua del Subsuelo, Universidad de Waterloo, Ontario, Canadá. Puede encargarse en el sitio web de CCME: [www.ccme.ca/ccme](http://www.ccme.ca/ccme).

### 10.9.3. Muestreo de cuerpos de agua en superficie

Las siguientes son algunas de las características generales importantes de los PCB, para tener en cuenta cuando se toman muestras de agua para PCBs:

- Los líquidos PCB de alta concentración ("Askarels") son más pesados que el agua.
- Los PCBs pueden existir como burbujas del producto puro, a las cuales se refiere como "Líquidos Densos no Acuáticos" o "DNAPLs".
- La máxima solubilidad de los PCBs en agua es relativamente baja y varía de 1.2ppt a 5.5ppm, dependiendo del congénere.
- Los PCBs tienen elevado coeficiente de partición de octanol-agua y, por lo tanto, cuando se liberan los PCBs hacia sistemas acuáticos, tienden a incorporarse en los sedimentos --- Ver Sección 10.9.5.

La mayoría de los requisitos relativos a los muestreos para el análisis de aguas de superficie se pueden cumplir por medio de métodos de muestreo manual, utilizando un equipo de campo simple (el cual a menudo se refiere como "recogemuestras"), incluyendo baldes, embudos y cables de diferentes largos o postes inmersos. Los materiales deberán ser de vidrio, acero inoxidable, teflón u otros materiales químicamente inertes o compatibles. El equipo debe limpiarse entre muestreos, utilizando un detergente sin fosfatos, seguido por enjuagues múltiples con agua destilada.

Las siguientes son algunas técnicas sencillas de muestreo:

- Se puede utilizar un balde para tomar una muestra superficial.
- Se puede utilizar una botella asegurada a una vara larga para recoger muestras profundas integradas, bajando la botella abierta, a una tasa igual a la tasa de llenado.
- Es posible recoger muestras específicas de profundidad bajando una botella cerrada hasta la profundidad de interés y luego halando la botella hacia el borde para abrirla.
- Las muestras se deben recoger o guardar en botellas llenas, de color marrón, de un

- litro y con tapa de teflón.
- Las muestras se deben refrigerar a una temperatura por debajo de los 10°C antes del análisis.

En la Figura 10-9 aparece un ejemplo de muestreo de aguas superficiales.

#### 10.9.4. Muestreo de aguas freáticas

Teniendo en cuenta las características DNAPL de los PCBs mencionadas en la sección anterior, se debe tener mucho cuidado al tomar las muestras de aguas freáticas, en donde se sospeche la existencia de PCBs, para así evitar la contaminación cruzada de los acuíferos (ej., para evitar que se expanda la contaminación de PCB encontrada de un acuífero a otro que se encuentre a una profundidad diferente). Por esta razón, las investigaciones sobre los DNAPLs en aguas freáticas deben ser supervisadas por un hidrogeólogo que esté familiarizado con las últimas técnicas de perforación y muestreo ambiental.

Una vez perforado el hueco, conforme a la descripción de la Sección 10.9.2, se puede instalar un pozo adecuado para el monitoreo. La selección correcta del diseño del pozo de monitoreo y el método de instalación dependen de:

- El tipo de material del subsuelo
- El número de puntos de monitoreo verticales requeridos para cada hueco
- El método de perforación utilizado
- Los tipos de contaminantes a monitorear
- El (los) uso(s) final(es) del dispositivo de monitoreo

La construcción de un pozo típico de monitoreo de aguas freáticas se ilustra en la Figura 10-10. El muestreo se debe llevar a cabo una vez se haya alcanzado un equilibrio en el pozo (ej., se haya recuperado el nivel del agua en el pozo de monitoreo). Inmediatamente antes de tomar las muestras del pozo, se debe haber “desarrollado” mediante la remoción de tres volúmenes de agua del pozo. Las muestras se ponen entonces en botellas de un litro, de color marrón, con tapas de teflón y rotuladas. Se deben diligenciar los formatos de Cadena de Custodia y luego refrigerarse, a menos de 10°C, hasta que se analice.

#### 10.9.5. Muestreo de sedimentos

Se pueden utilizar los mismos tipos de patrones de muestreo que se describen bajo el anterior muestreo de suelos superficiales para el muestreo de sedimentos. Hay una variedad disponible de dispositivos de muestreo de sedimentos que se pueden dividir en dos categorías: el recogemuestras “grab” o al azar, y el de “core”, o de núcleo. Dependiendo de la cantidad y de la profundidad del agua, los recogemuestras pueden ser operados por buzos (muestreos pequeños tomados a mano) o empleando plataformas estables tales como botes, puentes o muelles.

Los muestreadores al azar son dispositivos en forma de quijada diseñados para recoger sedimentos superficiales mediante excavación de un área definida de sedimento superficial. Tres de los probadores al azar “grab” más comunes son las dragas Ekman, Shipek y Ponar. Su capacidad para recolectar una muestra depende fundamentalmente de la firmeza del sedimento.

Los sedimentos muy rígidos se deben probar con probadores de núcleo.

Los muestreadores de núcleo son dispositivos en forma de tubo que pueden penetrar el sedimento a un grado superior de los probadores al azar. El dispositivo de núcleo típico, operado desde una plataforma, consiste en una longitud de tubería con una cabezal de 50 a 200 kg. Dentro de la tubería se encuentra un revestimiento (se recomienda que sea de teflón). A un extremo de la tubería se encuentra un cortador metálico de núcleo, el cual ayuda a que el descorazonador penetre sedimentos rígidos y un recogedor de núcleo para retener los sedimentos en el revestimiento. En el extremo superior se encuentra una válvula de bola o pistón que también ayuda a retener los sedimentos en el revestimiento cuando el dispositivo de núcleo se extrae del sedimento.

Cuando se está investigando un área de sedimentos para encontrar evidencias de un derrame reciente, se deben bajar muy despacio los muestreadores, a medida que se acerquen al fondo, de manera que no se perturben los sedimentos y el contaminante. Por esta razón, a menudo se prefiere utilizar buzos con probadores pequeños.

La preservación de las muestras y las medidas de aseguramiento y control de calidad son similares al muestreo de suelos.

#### 10.9.6. Métodos de muestreo para calidad del aire exterior

Esta sección trata el muestreo de aire para PCB y/o PCDD/DF. Para los propósitos de este manual sólo se trata el muestreo de aire ambiente(respirable). Existen otros tipos de muestreo de aire tales como muestreo de chimeneas (o de fuentes), los cuales tienen sus propios métodos y retos. Los principios generales del muestreo de aire para PCB y/o PCDD/DF han sido revisados en Erickson, Keith, Dann. (Dann, 1998).

El muestreo de Aire para PCBs y/o PCDD/DF se hace típicamente por una de las razones indicadas a continuación:

1. Para determinar si las concentraciones de PCB y/o PCDD/DF en el aire son preocupantes para una población y/o determinar el trasfondo de la exposición.
2. Para determinar si un sitio o sitios en particular están dando como resultado una exposición a PCB y/o PCDD/DF fuera del sitio.
3. Para determinar si los procedimientos de almacenamiento o de limpieza están controlando efectivamente la exposición a emisiones de aire.
4. Para monitorear una zona de respiración para propósitos de higiene industrial (IH), para determinar si las prácticas en el lugar de trabajo están dando como resultado una exposición significativa de los trabajadores y/o si se necesitan equipos de protección personal adicionales tales como respiradores.

El objetivo(s) de cualquier programa de muestreo de aire ambiente para determinar la presencia de PCB y/o PCDD/DF debe decidirse con anticipación, ya que éstos tendrían un impacto sustancial en el diseño del programa de muestreo. Los resultados analíticos para PCB y/o PCDD/DF de las muestras de aire se toman generalmente entre dos y cuatro semanas; por lo tanto cabe anotar que la información sobre el muestreo de aire es de alguna manera histórica en naturaleza.

Las localizaciones del muestreo de aire deben escogerse con base en los siguientes asuntos:

1. Los objetivos del programa de muestreo
2. Dirección prevaleciente del aire (si es conocida)
3. Cobertura general de los sectores de alcance
4. La disponibilidad de energía para el funcionamiento del equipo de muestreo
5. La posibilidad de acceso del personal de muestreo
6. Ubicación de receptores “sensibles” tales como colegios, hospitales, etc.
7. Ubicación(es) de otro(s) equipo(s) de muestreo para otros contaminantes
8. Casos y direcciones relacionados con las fuentes potenciales, sospechosas o desconocidas
9. Ubicación de estaciones meteorológicas
10. Disponibilidad de seguridad para asegurarse de que no haya manipulación no autorizada de los equipos de muestreo
11. Número de ubicaciones de muestreo. Se recomienda establecer un mínimo de cuatro estaciones de muestreo, ubicadas cerca al sitio en los puntos cardinales o en los puntos de asincronismo.

La técnica exacta utilizada para el muestreo de aire dependerá de:

- i. Los objetivos del estudio
- ii. El tipo de aire al que se le están practicando pruebas (ej., una ubicación fija, monitoreo personal, monitoreo móvil)
- iii. Los rangos esperados de concentración
- iv. Los métodos analíticos que se van a utilizar

Los aparatos de muestreo utilizados para el muestreo de PCB y/o PCDD/DF son similares a aquellos utilizados para otros compuestos orgánicos semivolátiles (SVOC). Típicamente el aparato de muestreo consistirá de un filtro, un absorbente, una bomba para la extracción de aire a través del filtro y el absorbente y un volumen o dispositivo de medida del desplazamiento volumétrico o controlador. La concentración total de químicos en el aire se determina por la cantidad encontrada en el absorbente (y filtro, si se utiliza) dividido por el volumen de aire probado.

Los PCB/PCDD/DF recolectados en el filtro se definen como “micropartículas” y aquellos recolectados en el absorbente se consideran “gaseosos o de “vapor”. Se debe tener precaución al aplicar estas designaciones absolutamente. Debido a que todos estos químicos son SVOC, habrá división entre la fase de micropartícula y la gaseosa, mientras que los filtros tengan aire circulando a través de ellos. Los muestreos por períodos largos de tiempo y/o a temperaturas elevadas pueden dar como resultado que los compuestos se “volatilicen”. Por lo tanto, la cantidad recolectada en el filtro debe considerarse un valor mínimo para los filtros. El absorbente sólido utilizado para recolectar el químico de la fase gaseosa puede colmar su capacidad de absorción. Se debe tener cuidado con este enfoque, ya que no es un método absoluto para la asignación de la fase de compuestos.

El tamaño y tipo de bomba dependerá de factores tales como la disponibilidad, el límite deseado de detección, los desplazamientos volumétricos deseados y los requisitos para el

transporte. Los límites de detección bajos requerirán ya sea de desplazamientos volumétricos más altos (bombas más grandes) o tiempos más largos de muestreo.

Las bombas para el muestreo de aire pueden dividirse en tres clases generales con base en los desplazamientos volumétricos. “Las unidades de muestreo de aire de “alto volumen” (Hi-Vol) para PCB y PCDD/DF se basan en modificaciones de las partículas suspendidas totales de Hi-Vol clásico (muestreo TSP) en el que un cartucho de absorbente se coloca en el tren de muestreo entre el aire y la bomba. Tanto las unidades Hi-Vol comerciales como las de diseño particular se encuentran disponibles.

La Figura 10-8 muestra dos diseños de muestreo Hi-Vol SVOC, los cuales han sido utilizados exitosamente en Canadá y en los Estados Unidos (US). Los probadores de aire Hi-Vol típicos para desplazamientos volumétricos están en el orden de 1000 L/min. Los muestreadores de aire de “volumen medio” tienen desplazamientos volumétricos en el orden de 250 L/min. Los “muestreadores personales” (pequeños muestreadores usados por los trabajadores) usualmente requieren de bombas pequeñas que funcionan con batería con desplazamientos volumétricos más bajos (usualmente 2 L/min. o menos). Las concentraciones de PCDD/DF en el aire ambiente están usualmente en el orden de varias magnitudes por debajo de los PCBs y casi sin excepción, requieren de muestreadores de aire Hi-Vol.

Se recomienda altamente que todos los programas de muestreo de aire incluyan la adquisición de información meteorológica local. Una vez están disponibles los resultados de las muestras de aire, se pueden entonces combinar con la información meteorológica para determinar si existe una relación entre tipos de contaminantes, concentraciones, dirección del viento, velocidad del viento, temperatura del viento, etc.

#### 10.9.6.1. Métodos de muestreo de aire para PCBs

Deposición y transporte atmosférico son las principales vías de distribución global de los PCBs. El monitoreo del aire ambiente ha sido utilizado para identificar el impacto de fuentes locales de PCBs y otros SVOC y para estudiar rangos de transporte largos.

Aunque se ha estimado que el 99% de la masa de PCBs en el ambiente se encuentra en el suelo, por la volatilidad de los PCBs debido a derrames, relleno de tierras, aceites de carretera, sitios de desperdicios peligrosos, etc., y de pronto equipos eléctricos, se obtienen como resultado concentraciones en el aire que se pueden medir. “Wania *et al.*” ha demostrado que existe una correlación entre las concentraciones de PCB en el aire, y las temperaturas y velocidad del viento en áreas cerca a suelos contaminados de PCBs. Las temperaturas más altas resultan en concentraciones de PCBs más altas en el aire debido al incremento de la volatilización. Las velocidades del viento disminuidas (condiciones más estables) tienen como resultado una mezcla más baja y un incremento en la transferencia de contaminantes del suelo al aire.

Los rangos para concentraciones de aire ambiente de PCB (total) típicos, son las siguientes:

- áreas remotas (<0.3 ng/m<sup>3</sup>)
- áreas rurales (0.3-1 ng/m<sup>3</sup>)
- áreas urbanas (>1 ng/m<sup>3</sup>)



Se han observado concentraciones más altas en la vecindad de sitios de desechos peligrosos u otras fuentes locales de PCBs. Mientras que se perciben reducciones importantes en áreas urbanas en los últimos veinte años, en las áreas remotas y rurales no han cambiado tanto, principalmente debido al transporte a largo plazo (LRT) de estos compuestos. Se pueden utilizar las huellas dactilares de los PCB para identificar fuentes posibles.

Las concentraciones de PCBs dentro de establecimientos son más elevadas que en el aire ambiente, una situación que se ha encontrado para otros contaminantes de aire. Los niveles de exposición ocupacional para PCBs son generalmente más altos que los niveles en el aire ambiente. Este es un asunto importante ya que la exposición personal es una función de tiempo y concentración.

En general, los métodos de muestreo de aire para PCB consisten en la recolección de muestras de aire en un medio para concentrar el PCB a un volumen mucho menor y luego analizar la muestra media. Mientras ambos medios absorbentes de las fases líquida y sólida han sido utilizados para el muestreo de aire, los absorbentes sólidos han sido utilizados en la gran mayoría de los programas. Por lo tanto, los absorbentes líquidos no se discuten en este documento. Usualmente se utiliza una bomba para extraer el aire a través del filtro/absorbente, aunque existen métodos de muestreo pasivo.

#### *Absorbentes utilizados en el muestreo de aire para PCBs*

La mayoría de los métodos de muestreo de aire ambiente para PCBs, utilizan un absorbente sólido con o sin filtro. Los absorbentes sólidos que han sido utilizados incluyen Florisil<sup>TM\*</sup>, Espuma de Poliuretano (PUF), XAD-2<sup>TM\*</sup> Resina y Tenax<sup>TM\*</sup>.  
<sup>TM\*</sup> *Marca Registrada*).

Los métodos Florisil para muestreo de aire normalmente utilizan desplazamientos volumétricos relativamente bajos y como resultado no han sido frecuentemente utilizados para muestreos de aire personal en lugares de trabajo. El Ministerio del Medio Ambiente de Ontario (MOE) ha utilizado absorbentes Florisil, sin filtros, para muestreos de aire ambiente para la detección de PCBs desde mediados de 1970. El método de muestreo de MOE fue utilizado para monitorear ambientalmente el aire ambiente en el primer proyecto de incineración de PCB en Ontario, Canadá, durante un período de tiempo comprendido entre 1990 y 1993. Los límites de detección para estas pruebas fueron de aproximadamente 0.2 ng/m<sup>3</sup> de PCB (total).

Hoy en día la mayoría de los investigadores utilizan probadores de aire (Hi-Vol), tales como el Anderson PS-1, o un probador de aire modificado TSP Hi-Vol (ver Figura 10-5) en la que un filtro de fibra de vidrio recubierto de una fibra de vidrio, fibra de cuarzo o teflón, está seguido por un cartucho que contiene un absorbente sólido. Los absorbentes principales utilizados con los muestreos Hi-Vol han sido XAD-2 y Espuma de Poliuretano. PUF sufre un punto de penetración a temperaturas más cálidas, más fácilmente que el XAD-1. MOE y Environment Canadá (EC) han utilizado cartuchos XAD-2 o PUF/XAD-2/PUF para minimizar este problema. Normalmente el PUF se corta en adaptadores cilíndricos (un tamaño típico sería 7.5 cm de diámetro por 7 cm de espesor) con una resina XAD-2 entre dos adaptadores PUF en el cartucho (Ver Figura 10-11 más adelante).

El muestreo de EC permite que se prueben simultáneamente los PCBs y los PCDD/DF, eliminando la variabilidad entre muestras. Adaptadores PUF de gran diámetro han sido utilizados como absorbentes para volúmenes grandes ( $>1000 \text{ m}^3$ ), muestreos en el aire ártico con concentraciones bajas de ( $<10 \text{ pg/m}^3$ ). Se reportaron límites de detección de  $<1 \text{ pg/m}^3$  para este método).

El procedimiento D4861091 de muestreo de la Sociedad Norteamericana de Prueba de Materiales (ASTM) utiliza PUF o PUF en combinación con otro absorbente sólido para muestreos de períodos de tiempo de 4 a 24 horas con desplazamientos volumétricos de 1 a 5 L/min. Este método se recomienda para concentraciones de PCBs en el aire del interior de  $0.01\text{-}50 \text{ ug/m}^3$  (ASTM 1991).

Los discos de Extracción para la Fase Sólida (SPE) utilizan camas de teflón con absorbentes intercalados entre las camas. Los absorbentes típicos utilizados para el muestreo de PCB incluyen Sílica,  $\text{C}_{18}$  pegada sobre resinas poliméricas y de sílice. Los productos (SPE) son los discos Empore™ fabricados por la corporación 3M. Los discos vienen en un tamaño que permite introducirlos en un casete común de 47 mm utilizado por HI para el muestreo de aire. Desplazamientos volumétricos hasta 10 L/min. son posibles para los discos Empore. Las ventajas de los discos Empore™ incluyen entre otros los altos desplazamientos volumétricos, buenas eficiencias de extracción, extracciones limpias y requerimiento bajos de solvente. Una posible desventaja es que las cargas altas de partículas pueden dar como resultado el taponamiento del disco.

#### *Comparación de absorbentes*

Durante el proyecto de incineración de PCBs en Smithville (1990-1993 en Ontario, Canadá), se llevaron a cabo muestreos de comparación entre el Florisil (MOE) y los métodos de muestreo EC de Hi-Vol PUF-XAD-2-PUF. Se encontró que los resultados estuvieron entre  $\pm 20\%$  (Mills 1998).

Billings y Bidleman han comparado PURF, XAD-2 y Tenax GC y encontraron que las concentraciones ambientales obtenidas por los tres absorbentes estuvieron en general entre el 10 al 15%.

Una comparación de PUF y Empore™ mostró recuperaciones de  $> 95\%$  para ambos absorbentes para Aroclors 1242 y 1254. Los discos Empore™ resultaron ligeramente superiores a PUF ( $\sim 99\%$  vs.  $\sim 95\%$ ).

Han sido evaluados el PUF, PUF revestido de aceite de silicona, Florisil y XAD-2. Se encontró que el PUF y el PUF revestido de aceite de silicona tuvieron un desempeño inferior al XAD-2 o el Florisil. Se recomendó el XAD-2 por encima del Florisil debido a que su naturaleza más recia dio como resultado una caída de presión más baja, la cual permitió que se alcanzaran desplazamientos volumétricos más altos.

#### *Utilización de la "biota" como un indicador de concentraciones de PCBs en el aire*

Los PCBs pueden bioconcentrarse en la biota, por ejemplo en las hojas de los árboles, pilotes coníferos y cortezas. Las concentraciones medidas en las plantas, generalmente

se correlacionan con las medidas del aire. La biota ha sido sugerida para el uso indirecto de monitoreo de PCBs en el aire al largo plazo y otros compuestos organoclorados (OC). Existen tremendas variaciones entre las especies para los rangos en plantas y por lo tanto las muestras de la biota sirven usualmente más como indicadores cualitativos de la exposición de PCBs.

#### *Métodos de muestreo de PCBs en el aire para Colombia*

Aunque se han desarrollado una gran variedad de métodos de muestreo de aire, se espera que la mayoría de éstos tengan sólo una utilización limitada para la situación de Colombia.

El método de muestreo exacto escogido dependerá de:

- a) la detección y cuantificación de límites deseados
- b) los rangos esperados de concentración de PCBs en el aire
- c) los grupos congéneres esperados de PCBs
- d) los tipos de bombas disponibles
- e) el desplazamiento volumétrico deseado
- f) el tiempo de muestreo
- g) los rangos de temperatura esperados
- h) tipo de absorbente(s) en uso
- i) tipo de análisis que se está realizando y la capacidad de los laboratorios para los análisis
- j) el laboratorio que se va a utilizar para el análisis de muestras debe estar involucrado en la limpieza y “prueba” de los absorbentes antes de su uso, a no ser que se utilicen absorbentes de limpieza previamente autorizados

Se recomienda que, siempre que sea posible, se lleve a cabo el muestreo de aire para PCBs utilizando muestreos de aire Hi-Vol con filtros (fibra de vidrio, fibra de cuarzo o fibra de vidrio revestida de teflón) seguido por PUF, XAD-2 o preferiblemente cartuchos de absorbentes de PUF/XAD-2. En donde se utilicen métodos de muestreo de desplazamiento volumétrico más bajo (ya sea debido al tipo de bombas disponibles o a la aplicación, tal como el monitoreo IH) se recomienda la utilización de cartuchos de Florisil o de SPE tal como el Empore<sup>TM+</sup>. Los cartuchos de Florisil se pueden utilizar junto con un filtro o solos.

#### 10.9.6.2. Muestreo de aire para PCDD-DF

La deposición de PCDD-DF ocurre generalmente por LRT, excepto en la vecindad de fuentes locales tales como incendios de PCBs o un dispositivo de combustión operado deficientemente. Las concentraciones de PCDD-DF observadas en el aire ambiente son mucho más bajas que las concentraciones de PCBs, típicamente por tres órdenes de magnitud o más. Sin embargo, surge un patrón similar al de los PCBs y es que cerca a la fuente local, las concentraciones son mayores, en las zonas urbanas menos, en las rurales menos que en las urbanas y las menores se presentan en las zonas rurales. La División de Análisis y Aire del Medio Ambiente de Canadá preparó recientemente un informe resumiendo las concentraciones de aire ambiente observadas para las locaciones urbanas y rurales en Canadá para el período comprendido entre 1988 y 1997.

Los perfiles homólogos y congéneres de PCDD-DF observados en las fuentes y el medio ambiente son a menudo diferentes. Los muestras de aire urbanos se asemejan más a los perfiles de la fuente. El componente principal observado en el muestreo de aire ambiente es el octacloro-dibenzo-p-dioxin (OCDD).

El PCDD/DF puede también sufrir segmentación de vapor-partícula (V/P). Los dos factores claves que controlan esta segmentación son la temperatura y la presión de vapor de los compuestos. Los PCDD-DF atmosféricos con seis o menos cloros, existen principalmente en la fase gaseosa. Por lo tanto, los métodos de muestreo de aire deben recolectarse tanto en la fase gaseosa como en la fase de partículas.

El muestreo de aire para PCDD/DF normalmente se lleva a cabo mediante la utilización de probadores de aire Hi-vol con un filtro, seguido por un absorbente sólido, usualmente PUF, XAD-2, o una combinación de los dos. Las fases de “partícula” y de “vapor” se definen operacionalmente de la misma manera que se hace para el PCB, esto es el material recolectado en el filtro y el absorbente, respectivamente. Sin embargo, en temperaturas más cálidas la fase de partícula puede ser desestimada debido a que éstas de “vuelan” del filtro. Aunque el método de muestreo de aire es muy similar a aquel utilizado para volúmenes mucho más grandes de PCB y/o tiempos de muestreo, se utilizan a menudo debido a concentraciones mucho más bajas de PCDD%DF en el aire ambiente.

La duplicidad del método de muestreo de aire Hi-Vol utilizado por EC ha mostrado ser < 20%. El número de muestras de aire recolectadas para PCDD/DF es típicamente mucho menor que los de PCB debido a las concentraciones más bajas y preparaciones y costos de análisis concomitantemente más altos.

#### *Recomendaciones de muestreo de aire para PCDD/DF en Colombia*

En el evento que se considere el muestreo de aire para PCDD/DF, se recomienda la utilización del método de muestreo de aire Hi-Vol. Este método puede involucrar el uso de probadores de aire disponibles en el comercio, tales como el “Graseby-Anderson PS-1” o el probador Hi-Vol modificado similar a aquel que utiliza EC. Se recomienda que los “emparedados” de PUF/XAD-2 se utilicen en el cartucho de absorbente. Esto permitirá la posibilidad de probar y analizar simultáneamente grupos químicos múltiples (tales como PCB y PCDD/DF), si fuera necesario. Los muy bajos niveles de PCDD/DF comúnmente observados, necesitan un programa fuerte de QA/QC con el fin de evitar la contaminación y la elevación artificial de los límites de detección. El laboratorio que se utilizará para el análisis de PCDD/DF, típicamente desempeñará la limpieza y prueba del tren de pruebas para asegurar que los resultados del informe sean confiables.

#### 10.9.7. Muestreo de biota

La vegetación no es un indicador consistente de la contaminación de PCBs en el suelo y las aguas freáticas por las en la asimilación de químicos por la vegetación. Unas buenas especies indicadoras son las siguientes:

- peces y crustáceos
- aves acuáticas y sus huevos
- roedores
- mamíferos grandes

Hay pocos, si es que hay algunos estándares aceptados para el muestreo de estas biotas. A menudo estos estándares se desarrollan en un proyecto y bajo esas mismas bases. Los lectores interesados pueden referirse a los documentos de la Agencia Nacional Oceanográfica y Atmosférica de los Estados Unidos (NOAA). Cualquier programa de muestreo para PCBs en biota, debe ser desarrollado por un biólogo capacitado y experimentado en el monitoreo ambiental.

#### 10.9.8. Muestreo estadístico

Un programa de muestreo debe ser diseñado de tal manera que los resultados representen las características del medio investigado. Las limitaciones de tiempo y dinero nos fuerzan a diseñar programas de muestreo con ciertas expectativas de precisión. Estas expectativas pueden ser cuantificadas en términos estadísticos. Los lectores interesados pueden referirse a la publicación “Principios del Muestreo Ambiental” (Keith, 1988).

#### 10.10. Métodos analíticos de PCB y PCDD/DF

Una vez se haya obtenido una muestra, se analiza para obtener información acerca de: 1) la concentración y 2) (posibles) patrones de PCB y/o PCDD/DF homólogos o congéneres. Existen numerosos métodos analíticos para estos grupos de químicos. Debido a las limitaciones de espacio de este Manual, esta sección contiene sólo un breve resumen de los tipos principales de métodos que han sido utilizados junto con las recomendaciones para procedimientos a ser utilizados en el contexto colombiano. Un excelente libro de referencia general, que revisa la química analítica del PCB y para disminuir la extensión de PCDD/DF, ha sido escrito por Erickson (1997).

De hecho, el método analítico está compuesto por varios pasos sub-pasos generales:

- 1) Extracción: El objetivo general del paso de extracción es cuantificar por separado los intereses de análisis, en este caso PCB y/o PCDD/DF, de la muestra matriz, en una matriz que sea más compatible con el resto de los procedimientos analíticos. El paso de extracción sirve a menudo para concentrar el compuesto a ser analizado. El procedimiento exacto utilizado dependerá de la matriz de la muestra, el compuesto de interés analizado de interés y/o el método de determinación.
- 2) Limpieza: El paso de limpieza en el procedimiento analítico sirve para eliminar otros compuestos que puedan interferir con la determinación de PCB y/o PCDD/DF en la muestra extraída. La extensión del tipo de limpieza requerido dependerá de la interferencia(s) presente y los requisitos del paso de determinación.
- 3) Método de Determinación: Los métodos de determinación se utilizan para “identificar si los PCBs y/o las PCDD/DF están presentes ” y/o “qué cantidad de los compuestos

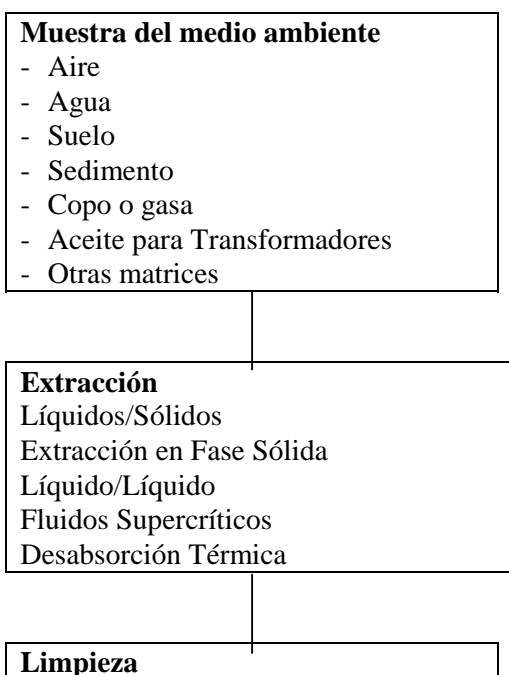
está presente en la muestra”. El método o métodos de determinación utilizados dependerán de la utilización de la información. Generalmente los métodos de determinación pueden clasificarse como de “Screening” o de “Confirmación”.

Un método de “screening” generalmente suministra información cualitativa o semi-cuantitativa y sacrifica confiabilidad por la velocidad y/o simplicidad del aparato. El análisis de confirmación procura obtener la confiabilidad máxima en los resultados, suministrando concentración cuantitativa y/o identificación de compuestos. El método de determinación utilizado es el fundamento alrededor del cual se centran el resto de los pasos del análisis (ej., extracción, limpieza, reducción de información, etc.).

- 4) Reducción de información e informes: En el paso de reducción de información, el analista convierte la salida (usualmente instrumental) del paso de método de determinación, en información para el usuario final. Este paso involucra la identificación y/o cuantificación del compuesto(s) en la muestra. El tipo de método de determinación utilizado y la utilización final para la información, tendrá una influencia sobre el tipo, la cantidad y la calidad de la información suministrada. Los procedimientos de calibración utilizados en el método de determinación, así como otros procedimientos QA/QC, también tendrán un efecto sobre el paso de reducción de información.

Una representación general del paso de análisis se presenta en la Figura 10-9, más adelante. Estos sub-pasos pasos generales son comunes para ambos análisis de PCB y PCDD/DF. Dependiendo de la matriz de muestra, y el tipo de análisis que se está desempeñando, algunos de estos pasos no se llevarán a cabo o no se incluirán como parte de un análisis en particular.

Figura 10-9



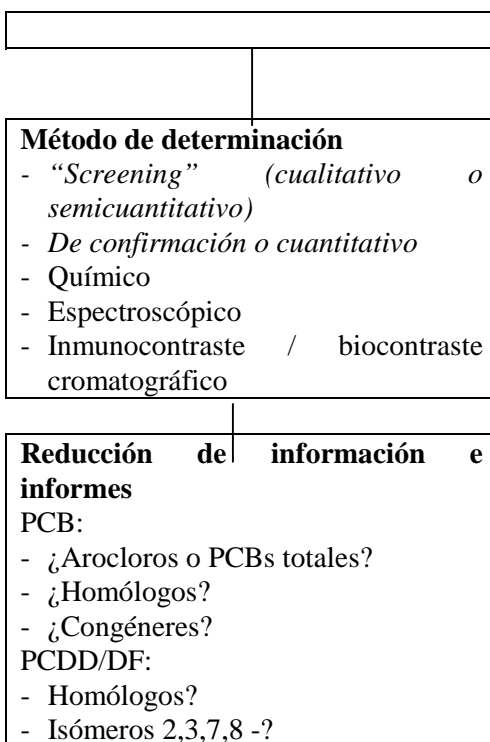


Figura 10-9, Métodos / protocolos de análisis de la representación esquemática de PCB y PCDD/DF.

#### 10.10.1. Análisis de PCBs

La decisión sobre cuál método(s) analítico utilizar, se alcanza después de considerar las respuestas a varios interrogantes, entre estos:

1. ¿Cuál es la matriz de muestra?
2. ¿Cuál es la concentración anticipada de PCB?
3. ¿Cuál es la utilización final de la información? ¿Se requiere información a nivel de confirmación o a nivel de "identificación"? ¿Se está utilizando la información para propósitos de ejecución de regulaciones, reportes reglamentarios o internos?
4. ¿Cuáles son los límites de detección y cuantificación requeridos para el análisis?
5. ¿Cuál es el tiempo requerido para el análisis?
6. ¿Cuál es el patrón esperado de PCBs en la muestra? ¿Se requiere información específica de Aroclor, específica de homólogos o específica de congéneres?
7. ¿Cuál es el presupuesto disponible?
8. ¿Qué tan lejos queda el laboratorio más cercano y aceptable?
9. ¿Cuáles son la instrumentación y el personal disponibles para realizar el análisis?

El uso esperado de la información es probablemente la pregunta más importante sobre la cual depende la escogencia del método analítico.

##### 10.10.1.1. Extracción

En el paso de extracción, los PCBs se extraen de manera cuantitativa de la matriz de muestra, en una que sea compatible con los siguientes pasos en el protocolo de análisis. El método de extracción utilizado depende principalmente de la matriz de muestra. Los métodos de extracción que se han utilizado exitosamente para los PCBs se resumen en la Tabla 10-1, más adelante.

Muchos de los métodos de extracción han involucrado extracción con solventes. Consideraciones de salud, seguridad y ambientales, han dado como resultado la disminución o la eliminación del uso de solventes tales como el diclorometano, el benceno y el freón. Adicionalmente, se deben tener en consideración los requisitos para la disposición de material de desecho en la selección del método de extracción.

**Tabla 10-1: Resumen de técnicas de extracción de PCB**

<b>Matriz</b>	<b>Técnicas de extracción</b>	<b>Comentarios</b>
Agua	Extracción líquido / líquido	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Manual o continua</li> <li>- Los solventes utilizados incluyen CH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>, hexano, pentano, etc.</li> </ul>
	Fase de extracción sólida o fase sólida de micro-extracción (SPME)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Absorbentes sólidos utilizados para concentrar el PCB y luego extraerlo</li> <li>- Los absorbentes utilizados han incluido el XAD-2, discos o cartuchos de fase reversa C<sub>18</sub>, cartuchos PUF.</li> </ul>
	Purga y colector	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Purga de gas inerte para transferir el PCB al absorbente</li> <li>- Luego desabsorber con solvente</li> </ul>
	Extracción de solvente / destilación de vapor	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Codestilación de solvente para concentrar el PCB</li> </ul>
Alcantarillado / lodo cloacal	Centrifugación	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Da buenas recuperaciones</li> <li>- Solventes: acetona / diclorometano / hexano</li> </ul>
	Limpieza de columna por medio de solventes	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Columna de sílica gel</li> <li>- Utilización de diclorometano/hexano como solvente de limpieza</li> </ul>
	Extracción de "Soxhelt"	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Utilización de diclorometano/hexano como solvente de limpieza</li> </ul>
	Extracción continua de líquidos	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Utilización de diclorometano y/u otros solventes</li> <li>- Recuperaciones deficientes</li> </ul>
	Columna de absorbentes	<ul style="list-style-type: none"> <li>- El XAD-2, el XAD-4 y ripios de PVC utilizados como absorbentes</li> <li>- Los resultados son bastante variables.</li> </ul>
Tierra y sedimentos	Extracción de solvente <ul style="list-style-type: none"> <li>- agitadores de muñeca</li> <li>- separadamente</li> <li>- "Soxhlet"</li> <li>- sonicación</li> <li>- extracción por jeringa</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mojar el suelo previo a la extracción</li> <li>- Solventes utilizados para la extracción: acetona, acetona / hexano, hexano, dimetil sulfóxido (DMSO), tolueno, metano y combinaciones varias</li> <li>- Solventes polares son los mejores</li> </ul>
	Extracción de fluidos	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Utiliza químicos a presiones altas y modera</li> </ul>



	supercríticos	<p>la temperatura (punto crítico)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Comúnmente se usa el CO<sub>2</sub>, otros incluyen el N<sub>2</sub>O, freones</li> <li>- Más rápido que la extracción con solventes</li> <li>- Requiere equipo especial (costoso)</li> </ul>
	Desabsorción térmica	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Puede desabsorber directamente para instrumentos analíticos o para purgas de absorbentes</li> <li>- Se requiere de instrumentación especial</li> </ul>
	Extracción asistida por microondas	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Utiliza calefacción de microondas en conjunto con la extracción de solvente</li> </ul>
	Extracción de solvente de filtro y absorbente	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Extracción de “Soxhlet” para períodos de tiempo extendidos con solventes no polares</li> <li>- Hexano, diclorometano, tolueno, éteres de petróleo</li> </ul>
Aceites	Dilución con solventes	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Hexano, isoctano</li> <li>- Utilizado para aceites orgánicos</li> </ul>
Sangre	Extracción de suero con solvente	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Extraer con hexano y mezclado suavemente por dos horas (USEPA)</li> <li>- Extracción triple con etil éter/hexano en un mezclador rotatorio (CDC)</li> <li>- Acetonitrilo saturado de hexano produjo recuperaciones cuantitativas</li> <li>- Normalmente el contenido lípido también se determina</li> </ul>
Tejido animal y de plantas	Extracción con solventes, seguido por técnicas de remoción de lípidos	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Los solventes utilizados incluyen acetonitrilo, éter de petróleo, hexano, diclorometano, acetona / hexano</li> </ul>
	Destilación	
	Precipitación de temperatura baja	
	Diálisis	

#### 10.10.1.2.Limpieza en el análisis

La extensión de limpieza necesitada depende principalmente de los requisitos del paso de determinación. Los detectores más selectivos, tales como la espectrometría de masas (MS), generalmente requieren de menos limpiezas que los detectores de captura electrónica (DCE). La Tabla 10-2, a continuación, resume las técnicas de limpieza disponibles para PCBs, incluyendo la cromatografía de adsorción en columna, la cromatografía de impregnación con gel, la cromatografía de capa delgada, la cromatografía líquida de alto rendimiento (HPLC) y la degradación química, partición líquido/líquido y diálisis.

**Tabla 10-2: Resumen de técnicas de limpieza utilizadas para el PCB**

Técnica de limpieza		Comentarios
Cromatografía de adsorción en columna	Florisil	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Varias actividades posibles</li> <li>- Ha sido utilizada para la separación</li> </ul>

		<p>coplanar de PCBs</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Solventes de limpieza incluyen etilo, éter / hexano, hexano, hexano / diclorometano</li> <li>- Disponible comercialmente en cartuchos.</li> </ul>
	Sílica gel	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Utilizado tanto para limpieza principal como para el fraccionamiento de PCB</li> <li>- La limpieza depende de la actividad de la sílica gel.</li> <li>- Se utilizan varios solventes de limpieza, la composición de los solventes afecta significativamente la apariencia</li> <li>- Disponible comercialmente en cartuchos</li> <li>- La limpieza con Florisil provee resultados más confiables que con la alúmina</li> </ul>
	Alúmina	<ul style="list-style-type: none"> <li>- La actividad de la alúmina afecta la limpieza.</li> <li>- Ha sido utilizada para la separación coplanar de PCBs.</li> <li>- Puede ser utilizada para la separación de PCBs del PCDD/DF (utilizando cambios por pasos con solventes).</li> <li>- El hexano es el solvente más comúnmente utilizado.</li> </ul>
	Carbono	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Utilizado tanto para la limpieza como para el fraccionamiento de PCBs</li> <li>- Excelente método para la separación de PCBs de las PCDD/DF</li> <li>- Separación de los PCBs dependiendo del grado de ortocloración</li> </ul>
Cromatografía de impregnación de gel (GPC), también llamado cromatografía de exclusión de tamaño (SEC)	La fase estacionaria incluye Styragel™ Sephadex™ Biobeads™	<ul style="list-style-type: none"> <li>- La separación por tamaño ocurre principalmente con base en la fase móvil y la selección de la temperatura.</li> <li>- Puede utilizarse para la separación de PCBs de las PCDD/DF</li> <li>- Los solventes utilizados incluyen el diclorometano, tetrahidrofurán, cloroformo, ciclohexano.</li> <li>- Los resultados pueden ser mejores que con la cromatografía de absorción</li> <li>- El procedimiento se puede automatizar.</li> </ul>
Cromatografía de capa delgada Cromatografía	Las mismas fases estacionarias de la cromatografía de columnas de adsorción	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Prensa</li> <li>- Fácil de utilizar</li> <li>- Capacidad de carga no tan alta como la</li> </ul>

	- sílica gel - alúmina - fase invertida también posible	de cromatografía de la columna de adsorción
Cromatografía líquida de alto desempeño	Adsorción y fase invertida de operación posible	- Puede utilizarse tanto como método de limpieza como de determinación - Las ventajas sobre la columna de adsorción incluyen la resolución y la velocidad
Degradación química  Nota: se debe tener cuidado de que los PCBs en muestra no se degraden al mismo tiempo	Acido	- H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> - CrO <sub>3</sub> - Se utiliza a menudo para las muestras de aceite para transformadores - Pueden realizarse “en columna”
	Base	- KOH - NaOH - Más comúnmente utilizada para saponificación de grasa y aceites
Partición de líquido-líquido	Partición de preferencia	- El acetonitrilo / hexano, DMSO / hexano, DMF / hexano DMF / usualmente utilizados para separar interferencias polares
Diálisis	Partición de preferencia	- Se puede utilizar especialmente para el manejo de lípidos en muestras y extractos

#### 10.10.1.3.Método de determinación

Existe un gran número de técnicas de determinación de PCBs. Las técnicas que han sido desarrolladas se pueden dividir en métodos cromatográficos y no cromatográficos.

La mayoría de la métodos de determinación de PCBs utilizan una separación cromatográfica acoplada al detector. Los métodos cromatográficos entran dentro de una de las siguientes categorías: Cromatografía de Gas (CG-Gas Chromatography) Cromatografía de Líquidos (LC - Liquid Chromatography) o Cromatografía de Fluido Supercrítico (SFC - Supercritical Fluid Chromatography).

Las técnicas de GC utilizan columnas empacadas (PC) o columnas tubulares abiertas (tubos capilares) para la separación de PCBs. La cromatografía de gas con columnas empacadas (PCGC) adolece de resoluciones pico deficientes y límites de detección relativamente altos debido a la baja resolución. El desarrollo de la cromatografía de gas de alta resolución con tubos capilares de alta resolución (HRGC) se dio a finales de los años 70, dando como resultado un incremento en la sensibilidad y la precisión. El análisis GC puede llevarse a cabo utilizando uno o más columnas por separado o simultáneamente. Los métodos analíticos de HRGC han sido desarrollados, los cuales pueden individualmente separar y analizar todos los congéneres 209 de PCBs.

Los detectores utilizados con GC tienen incluido un detector de captura electrónica (ECD), detector de conductividad térmica (TCD), detector de conductividad electrolítica (ELCD), detector de ionización de llama (FID), detector de foto-ionización (PID), de transformación infrarroja espectroscopia de "Fourier" (FT-IR), de emisión atómica (AES) y de espectrómetro de masa (MS).

Los espectrómetros de masa MS pueden utilizar impacto de electrón (EI) o formas de ionización química, con ion negativo Cl, siendo esta la manera más sensible para determinar los PCBs. El análisis MS se puede llevar a cabo con baja resolución (LR), alta resolución (HR), espectrómetros de masa tándem (MS/MS). La mayoría de los análisis de PCBs se realizan realizado utilizando GC-ECD. Actualmente los métodos de HRGC-HRMS son los de mayor la sensibilidad y precisión para determinación de PCBs.

Los métodos no cromatográficos se dividen posteriormente en métodos químicos, espectroscópicos y de inmunocntraste. Los métodos químicos utilizados incluyen reacciones de sodio metálicas, reducción por sodio de los PCBs seguido por la determinación del cloruro por electrodo selectivo de ion (ISE) y la determinación total de haluros orgánicos (TOX).

Los métodos espectroscópicos para la determinación de PCBs han incluido FT-IR, resonancia magnética nuclear (NMR), ultravioleta visible (UV-VIS), fluorescencia, fosforescencia, fluorescencia de rayos-X (XRF) y espectroscopio de onda acústica de superficie (SAW)-

Los juegos de inmunocntraste para PCBs los fabrica actualmente la Hach Company, Beacon Analytical Systems y Strategic Diagnostics Inc.

Los métodos de determinación pueden clasificarse como métodos de "Screening" o "Confirmación". Los métodos de "Screening" suministrarán información cualitativa o semicualitativa tal como "los PCBs están presentes en concentraciones > 50 ppm", pero normalmente no suministrarán información sobre el patrón congénere de PCB o sobre concentraciones de niveles bajos. Ejemplos de métodos de "Screening" incluyen la reacción e inmunocntraste de la reducción de sodio (p.e., los kits de prueba Dexil) y las pruebas determinantes. Los resultados obtenidos con estos kits de prueba han sido aceptados como validos por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos.

En la reacción de reducción de sodio, el reactivo de sodio (metal sódico, metóxido de sodio, etc.) remueve los materiales de cloruro de los compuestos, los cuales son analizados. Pueden resultar falsos positivos debido a la presencia de compuestos clorados, que no son PCBs (p.e., bencenos clorados). Con frecuencia se utilizan los análisis de laboratorio para confirmar los resultados positivos (p.e. >50 ppm). Sin embargo, si sólo se producen bajas cantidades de cloruro, se puede deducir que las máximas concentraciones de PCBs son bajas.

Se ha sugerido que el nitrato de plata es un método posible de "Screening" para los PCBs, pero no se recomienda. Este método no es confiable para la identificación de aromáticos clorados tales como los clorobencenos y los PCBs [Vogel, 1964].

Los métodos de confirmación suministrarán información adicional sobre el patrón de congéneres de PCB y, típicamente, tendrán unos límites de cuantificación más bajos.

Algunos métodos, ej.: TD/GC/MS, pueden operarse como técnicas de “Screening” o Confirmación. La Tabla 10-3 contiene un resumen de los métodos de determinación de los PCBs más comúnmente utilizados por las organizaciones en Canadá y los Estados Unidos. Los méritos relativos de algunos de los métodos de determinación de “Screening” y Confirmación más comúnmente usados se comparan en la Tabla 10-4, más adelante.

**TABLA 10-3 RESUMEN DE METODOS COMÚNMENTE UTILIZADOS PARA DETERMINACIÓN DE LOS PCBs**

<b>Matrices</b>	<b>Organización</b>	<b>Nombre del químico o método</b>	<b>Número del método</b>	<b>No. del reporte EPA u otro reporte</b>	<b>Metodología de clasificación</b>
Acuosa	Programa de Superfondos de la USEPA	Semivolátiles por absorbentes enlazados	FM-D3	540/2-88-005	“Screening”
Suelos Sedimentos	Programa de Superfondos de la USEPA	Extracción de PCB - GC, laboratorio / hexano <i>in-situ</i>	FM-19	540/2-88-005	“Screening”
Suelos Sedimentos	Programa de Superfondos de la USEPA	Extracción 20 de PCB - GC, laboratorio / hexano / metanol / H <i>in situ</i>	FM-18	540/2-88-005	“Screening”
Suelos Sedimentos	Programa de Superfondos de la USEPA	Extracción de PCB - GC, laboratorio / hexano / acetona <i>in situ</i>	FM-21	540/2-88-005	“Screening”
Suelos Sedimentos	Programa de Superfondos de la USEPA	Extracción de PCB - GC, laboratorio / hexano / metanol <i>in situ</i>	FM-20	540/2-88-005	“Screening”
Acuoso	Programa de Superfondos de la USEPA	“Screening” del campo de PCBs por membranas SPE	Campo	540/R-94-519	“Screening”
Suelos Sedimento	Programa USEPA RCRA	“Screening” de PCBs por inmunocontraste	4020	SW-846 Ch 4.4	“Screening”
Suelos Sedimento	Oficina USEPA de Programa de RCRA de Desechos de Sólidos	Prueba de “Screening” de PCB en suelo, utilizando electrodo selectivo de cloruro	9078	SW846 Ch 4.5	“Screening”
Sólidos	USEPA	Haluros orgánicos en matrices sólidas por activación de neutrón	1648	821/C-97-001 PB (7-501308INQ)	“Screening”
Acuoso	Programa de Agua de USEPA	Haluros orgánicos desadsorbibles	1650	821/C-97-001	“Screening”
Aceites	Oficina USEPA de Programa de	PCBs en Fluidos de transformadores y en aceites	9079	Sw846 Ch. 4.5	“Screening”

	RCRA de desechos de sólidos	residuales			
Aceites	Oficina USEPA de Aguas	PCBs en fluidos de transformadores y en aceites residuales	PCB	600/4-81-045	“Screening”
Aceite para transformadores	ASTM	PCBs en fluidos de transformadores por GC	4059-96	ASTM 4059-96	“Screening” ?
Suelos, sedimentos, agua, desechos, sólidos	Oficina USEPA de Programa de RCRA de desechos de sólidos	Extracción: Acuosa Sólida  Análisis: PCBs por columna GC simple y doble con ECD	3020 3500B  8082 8082A	SW-846 Ch 4.2.1  SW 846 Ch 4.3.1	Confirmación
Suelos, sedimentos, agua, desechos, sólidos	Oficina USEPA de Programa de RCRA de desechos de sólidos	Compuestos semivolátiles de columna GC/MC	827OC 827OD	SW 846 Ch 4.3.2	Confirmación
Acuoso, suelo, sedimento	Programa de Superfondos de USEPA	PCB por columna de GC simple o doble, columna ECD o detección MS	CLP	OSW 3/90 (versión revisada)	Confirmación
Suelos, sedimentos	Oficina USEPA de Programa de RCRA de desechos de sólidos	Compuestos semivolátiles por desadsorción térmica / columna GC/MS	8275	Sw-846	Confirmación
Acuoso	Programa de Aguas Residuales de USEPA	PCBs y pesticidas organoclorados por cabezal de columna GC con ECD	608	Métodos de Prueba para análisis químico orgánico de aguas residuales municipales e industriales 40 CFR 136 App A	Confirmación
Agua, Suelos Sedimentos	USEPA	PCBs y pesticidas en agua, suelo, sedimento -	680	01A0005295	Confirmación

		columna GC/MS			
Biota - Peces	USEPA	PCBs en Peces		600/3-90-023	Confirmación
Acuoso	USEPA	Orgánicos semivolátiles (incluyendo PCBs) por dilución isotópica de Columna GC/MS	1625B 1625C	440&1-90-023 40 CFR 136 App A 01A0006089	Confirmación
Agua potable	USEPA	Pesticidas de haluros orgánicos y PCBs en agua por GC	505	600/R-95-131 821/R-93-010-B	
Aire	USEPA	Compuestos orgánicos semi-volátiles en Aire	TO-14	600/4-89-017	Confirmación
Aire	Oficina de Programa Nacional de los Grandes Lagos USEPA	PCB en muestras de aire Hi-Vol por cabezales GC-ECD y cabezales GC/MS	LMMB 030 LMMB-038		Confirmación
Aire / muestras chimeneas / otros sólidos	Medio Ambiente de Canadá	PCB en muestras de incineración por cabezales GC-ECD y cabezales GC/MS	RM/3	EPS1/RM3	Confirmación
Aire	NIOSH	PCB en aire por GC-ECD	5503	Manual NIOSH de Métodos Analíticos 4 <sup>a</sup> . Edición, 8/15/94	“Screening” Confirmación
Aire	ASTM	Muestreos y análisis de pesticidas y PCB en aire interior	4661-91	ASTM 4861-91	Confirmación



**Tabla 10-4: Comparación de los métodos de determinación más comunes de “screening” y confirmación**

<b>Método de determinación</b>	<b>“Screening” o confirmación?</b>	<b>Facilidad de uso</b>	<b>Grado de sofisticación</b>	<b>Sensibilidad</b>	<b>Precisión</b>
Juegos de reacciones químicas	“Screening” generalmente solo mide Cl	El más fácil	El más bajo	Bajo - moderado	Baja a media, dependiendo de otros compuestos de cloro
XRF	Sólo mide Cl	Moderadamente fácil	Relativamente sofisticado	Moderado	Baja a media, dependiendo de otros compuestos de cloro
Inmuno-contraste	“Screening” selectivo para PCB	Moderada	Bajo	Moderado	Baja a moderada
GC PCBC-ECD de campo	“Screening”	Fácil - moderada	Moderado	Bajo - moderado	Moderada
GC HRGC-ECD de campo	“Screening” y/o Confirmación	Moderada	Moderado	Moderado	Relativamente moderada
Análisis de laboratorio PCGC-ECD	“Screening”	Fácil - moderada	Moderado	Bajo - moderado	Relativamente moderada
Análisis de laboratorio HRGC-ECD de columna simple	“Screening” y/o confirmación	Moderada - más difícil	Moderado - alto	Moderado - alto	Buena
HRGC-ECD de columna doble	Confirmación	Más difícil - difícil	Moderado - alto	Alto	Buena - muy buena
HRGC-LRMS	Confirmación	Difícil - más difícil	Alto	Alto	Excelente
HRGC-HRMS	Confirmación	El más difícil	El más alto	El más alto	La mejor

#### 10.10.1.4. Métodos de análisis recomendados para PCBs

##### “Screening”

Para el “screening” general de sólidos (tales como suelos) y aceites orgánicos (ej., aceites para transformadores) se recomiendan los métodos USEPA 9078 o 9079. En estos métodos, los cloruros se remueven de la molécula de PCBs, utilizando un reactivo orgánico de sodio; los iones de cloruro resultantes se miden utilizando un electrodo específico de cloruro. Para suelos u otros sólidos se recomienda el método USEPA 4020, el cual es un método de inmunocontraste que también se puede utilizar para determinar si las concentraciones de PCB son > 1-5 ppm.

##### Confirmación

Para el análisis general de confirmación de PCBs, se recomienda el método USEPA 8082. Este método implica un número de posibles extracciones y procedimientos de limpieza y utiliza una columna HRGC-ECD simple o doble para la determinación y actualmente es la técnica confirmatoria de PCBs más ampliamente utilizada. Se alcanza una mayor confiabilidad analítica mediante la utilización de un método HRGC/MS, tal como el método USEPA 8270.

#### 10.10.2. Análisis PCDD/DF

Los pasos generales involucrados en el análisis de PCDD/DF son los mismos para los PCBs (ver Tabla 10-1 y 10-2 anteriores). Sin embargo los PCDD/DF están normalmente presentes en el medio ambiente en concentraciones mucho más bajas que las de PCBs, típicamente 2 o 3 órdenes de magnitud (o más) por debajo. El reto más grande para el análisis de PCDD/DF son los límites de detección más bajos y el enfoque en los isómeros sustitutos 2, 3, 7, y 8.

Muchos de los mismos procedimientos de extracción utilizados para los PCBs se han utilizado para la extracción de PCDD/DF. De hecho, los PCBs y las PCDD/DF pueden extraerse simultáneamente de las muestras, utilizando muchos de estos procedimientos de extracción. Los PCBs y las PCDD/DF pueden entonces determinarse mediante la separación de las extracciones o separando las clases de compuestos en el paso de limpieza. Una diferencia importante entre el análisis de PCBs y de PCDD/DF es que los métodos analíticos de PCDD/DF típicamente requieren de limpiezas más completas debido a las bajas concentraciones y la sensibilidad más alta a las interferencias en el paso de determinación.

En contraste con los métodos de determinación de PCBs, que utilizaron extensivamente detectores no selectivos tales como los métodos de determinación confirmatoria de ECD, PCDD/DF, que generalmente utilizan métodos HRGC con detectores MS operados en el modo de monitoreo de ion seleccionado (SIM). Las detecciones LRMS, HRMS y MS/MS han sido utilizadas con detecciones HRMS, suministrando la más alta sensibilidad. Los métodos de “screening” consisten generalmente en el análisis por GC-ECD, aunque recientemente se ha desarrollado un kit de pruebas lógicas y se está llevando a cabo una evaluación por parte de la USEPA.

Los métodos analíticos de PCDD/DF requieren un incremento en la capacitación del personal y en el conocimiento debido al incremento de toxicidad de las PCDD/DF comparadas con los PCBs, a mayores necesidades de limpieza extensiva, a la susceptibilidad a interferencias y a la instrumentación sofisticada requerida para la determinación de las PCDD/DF. Estos requisitos más extensivos darán como resultado unos tiempos de análisis más largos, menos laboratorios capaces de hacer el análisis y costos más altos de análisis. Como resultado, normalmente se analizan menos muestras para PCDD/DF con relación a los PCBs, excepto en casos en que se sospeche su existencia, tal como un incendio en el que estén presentes los PCBs, o algún percance térmico. La Tabla 10-5 contiene un resumen de algunos métodos de determinación comunes para PCDD/DF.

**TABLA 10-5 (SE ENCUENTRA EN ARCHIVO SEPARADO DEBIDO A QUE ES UNA  
TABLA HORIZONTAL)**

## 10.10.2.1. Métodos recomendados para análisis de PCDD/PCDF para Colombia

“Screening”

Se recomienda el “screening” para PCDD/DF con el kit de pruebas inmunológicas disponible comercialmente (Cape Technologies Inc., South Portland, ME, USA, [www.cape-tech.com/](http://www.cape-tech.com/)) para sólidos, el cual puede ser compatible con los solventes. Cabe anotar que este método suministra una “equivalencia tóxica total” para la muestra y será influenciado por concentraciones de PCB, PCDD y PCDF. Este método está en el proceso de ser evaluado para la inclusión en el compendio SW846 de la USEPA, con un número tentativo de método 4025.

De confirmación

Para el análisis de rutina de PCDD/DF se recomienda el método 8280 de la USEPA. Este método sugiere varias extracciones diferentes y procedimientos de limpieza, seguidos por las determinaciones de concentraciones de PCDD/DF (como homólogos y/o isómeros sustitutos 2, 3, 7, 8) utilizando HRGC/LRMS.

## Resultados analíticos de la cuantificación de PCDD/PCDF

Los resultados de los PCDD y PCDS generalmente se expresan como equivalentes de toxicidad (TEQ). Para calcular el TEQ, se multiplica cada uno de los 17 PCDDs y PCDFs más tóxicos por un factor de toxicidad, según se describe a continuación.

	Congénere	Factor de Toxicidad
	2,3,7,8-substituted PCDD	
1.	2,3,7,8-T4CDD	1.0
2.	1,2,3,7,8-P5CDD	0.5
3.	1,2,3,4,7,8-H6CDD	0.1
4.	1,2,3,6,7,8-H6CDD	0.1
5.	1,2,3,7,8,9-H6CDD	0.1
6.	1,2,3,4,6,7,8-H7CDD	0.01
7.	08CDD	0.001
	2,3,7,8-substituted PCDF	
8.	2,3,7,8-T4CDF	0.1
9.	1,2,3,7,8-P5CDF	0.05
10.	2,3,4,7,8-P5CDF	0.5
11.	1,2,3,4,7,8-H6CDF	0.1
12.	1,2,3,6,7,8-H6CDF	0.1
13.	1,2,3,7,8,9-H6CDF	0.1
14.	2,3,4,6,7,8-H6CDF	0.1
15.	1,2,3,4,6,7,8-H7CDF	0.01
16.	1,2,3,4,7,8,9-H7CDF	0.01
17.	08CDF	0.001

### 10.10.3. Aseguramiento de Calidad / Control de Calidad (QA/QC)

Aunque los métodos analíticos se han recomendado anteriormente, se debe reconocer que estos métodos representan un acercamiento pero no deben considerarse como una prescripción. Los métodos analíticos deben escogerse con base en un desempeño del sistema (PBMS) de medidas, en vez de los métodos acostumbrados. Esto permitirá hacer modificaciones a los métodos recomendados y/o a métodos alternativos a ser utilizados, con tal que su desempeño se haya demostrado adecuadamente.

Los procedimientos de Aseguramiento de Calidad / Control de Calidad (QA/QC) están en el centro del proceso de PBMS. Los procedimientos QA/QC incluyen:

- documentación de procedimientos de operación estándar (SOP),
- el uso de muestras por duplicado,
- formularios (de muestreo, de campo, de laboratorio, etc.),
- matrices perforadas,
- el uso de sustitutos para monitorear la eficiencia de la extracción y los procedimientos de limpieza,
- el uso de normas internas y externas,
- la selección de los métodos apropiados para la identificación y cuantificación de los analizados concernientes.

No se deben descartar las modificaciones a los métodos analíticos actuales o el desarrollo de nuevos métodos innovadores.

### 10.10.4. Sugerencias para el suministro de análisis

Se recomienda que los procesos de Objetivos de Calidad de Información (OCI) se sigan para ayudar al desarrollo de los requisitos de análisis de PCB y/o PCDD/DF.

El proceso OCI consiste en lo siguiente:

- I. Manifieste el problema.
- II. Identifique la decisión.
- III. Identifique las entradas dentro de la decisión
- IV. Defina las fronteras de estudio.
- V. Desarrolle reglas de decisión.
- VI. Especifique un límite de errores de decisión.
- VII. Optimice el diseño para la obtención de la información.

Los siguientes asuntos muy seguramente serán identificados si se sigue el proceso DQO:

- ¿Para qué se utilizará la información del análisis?
- ¿Cuáles son las cantidades esperadas de muestras y los tipos de matrices?
- ¿Cuáles son los proyectos o niveles de decisión en cuanto a regulaciones?
- ¿Se requieren límites de detección y cuantificación de éstos?
- ¿Qué nivel de confianza se necesita?

- ¿Cuáles son los requisitos para los reportes?
- ¿Cuáles son los tiempos requeridos?
- ¿Cuáles son los criterios para la selección del laboratorio?
- ¿En qué consistirá el programa externo de QA/QC?
- ¿Cuáles son los métodos que se utilizarán? Permita que haya flexibilidad en los métodos, con tal que se demuestre el desempeño.
- ¿Cuál es el presupuesto aproximado?
- Se debe reconocer que podría ser necesario incrementar el número de muestras, pero aplicar un método de determinación de menor confianza.

Considerar los asuntos arriba mencionados con anticipación, ayudará a minimizar los problemas durante el proyecto y permitirá tomar acciones correctivas antes de que tengan un impacto que vaya en detrimento del mismo.

## 11. SALUD OCUPACIONAL Y SEGURIDAD INDUSTRIAL

### RESUMEN

- **Las personas que trabajan con PCBs** deben estar al tanto de las precauciones necesarias para limitar la exposición prolongada a niveles altos de PCBs.
- **La exposición a los PCBs** puede ocurrir por tres vías; aire (inhalación), ingestión (consumo de alimentos y agua) y cutánea (absorción a través de la piel).
- **El enfoque dictado por el sentido común** es tomar acciones tendientes a reducir estas vías de exposición. También vale la pena anotar que entre más alta la concentración de PCBs en el equipo o material contaminado que maneje un trabajador, con mayor rigurosidad debe observar las precauciones de seguridad.
- **LA REDUCCION DE LA EXPOSICION POR LO REGULAR SE LOGRA OBSERVANDO LAS SIGUIENTES PRECAUCIONES:**
  - **Evaluar el nivel potencial de exposición a los PCBs o PCDD/DF.** Esto puede requerir, en algunos casos, muestreo y análisis de aire, suelo y superficies.
  - **Usar el nivel adecuado (A, B, C, D) de Equipo de Protección Personal (PPE).** Esto implica, por lo regular, usar ropa específica (p.e., overoles, guantes anti-químicos) y equipo especialmente diseñado para reducir la exposición, incluyendo los respiradores, de ser necesario.
  - **Mantener una buena higiene personal**
  - **Proporcionar capacitación en salud y seguridad industrial** al personal que maneja o que potencialmente está expuesto a los PCBs.
  - **Proporcionar un programa de monitoreo médico** para controlar la exposición a los PCBs.

Debido a la persistencia de la molécula PCB y su transporte a largas distancias en el aire, el agua y las partículas del suelo, los humanos están regularmente expuestos a cantidades mínimas de PCBs. Ver Figura 5.1. Como consecuencia de ello, los humanos tendrán un nivel detectable de PCB en la grasa y la sangre de su organismo (o sea su nivel de exposición). Las concentraciones de fondo en el torrente sanguíneo del ser humano normalmente oscilan entre unas pocas partes por trillón ( $10^{-12}$ ) hasta unas pocas partes por billón ( $10^{-9}$ ) de PCBs. Es poco probable que estos niveles de exposición a los PCBs causen efectos nocivos para la salud humana.

La gente que trabaja con PCBs debe evitar los períodos largos de exposición a concentraciones altas de PCBs. La exposición sostenida de alto nivel se asocia con efectos adversos para la salud, tales como un tipo severo de acné (cloracné), ojos llorosos, hinchazón de los párpados, hiperpigmentación de las uñas y la piel, rigidez de



las extremidades, debilidad, espasmos musculares, bronquitis crónica, bajo peso al nacer y menor circunferencia de la cabeza en el recién nacido. Una concentración en la sangre de menos de 200 ug/L (aproximadamente 100-200 veces el rango de exposición normal máximo) rara vez se relaciona con efectos nocivos para la salud, mientras que los niveles superiores a 600 ug/L (aproximadamente 300 veces o más que el rango normal máximo) comúnmente se asocian con desórdenes de la función hepática (Coulston and Kolbye 1994).

### **11.1. Vías de exposición a los PCBs y sentido común**

La gente que trabaja con PCBs debe estar consciente de las precauciones necesarias para limitar la exposición prolongada a los PCBs de alto nivel. La exposición a los PCBs puede ocurrir a través de tres vías: aire (inhalación), ingestión (consumo de agua y alimentos) y dérmica (absorción a través de la piel). Cuando se trabaja con PCBs, el dictado de sentido común es el tomar acciones que reduzcan estas vías de exposición. Vale la pena anotar, además, que entre más alta sea la concentración de PCBs en el equipo PCB o en el material contaminado que deba manejar el trabajador, mayor debe ser el rigor con que debe observar las precauciones de seguridad.

El Instituto Nacional de Salud Ocupacional y Seguridad de Estados Unidos (U.S. National Institute for Occupational Health and Safety - NIOSH) publica precauciones específicas para químicos. Para mayor información, el lector puede dirigirse a la página de Internet de NIOSH, [www.cdc.gov/niosh](http://www.cdc.gov/niosh).

### **11.2. Equipo de protección personal (PPE)**

El equipo de protección personal (PPE) se diseña para reducir la exposición del usuario a los PCBs mediante la reducción de la vía de exposición. La Administración de Salud Ocupacional y Seguridad Industrial de Estados Unidos [Occupational Safety and Health Administration - OSHA] desarrolló varias categorías de PPE a las que se refiere como “niveles” para los diversos tipos de escenarios de exposición. Hay cuatro niveles de PPE.

Aunque a continuación se presenta una descripción de cada nivel, así como ejemplos de su aplicación, cada exposición debe ser analizada por los empleadores, supervisores y empleados, a fin de identificar el nivel apropiado de PPE. Dependiendo del tipo y número de vías de exposición potencial identificados, antes del trabajo, está permitido seleccionar los elementos de PPE entre los diversos niveles para que se ajusten al nivel esperado de riesgo. Es posible obtener información adicional en la Sección de Regulación, 29 CFR 1910-120 en la página de Internet de OSHA, [www.osha.gov](http://www.osha.gov).

#### **11.2.1. Nivel “A” de PPE**

Nivel A: se utiliza cuando se requiere el mayor nivel de protección personal. Por lo general es cuando se requiere mayor protección de los ojos, la piel y el sistema respiratorio, basado bien sea en la concentración alta medida (o el potencial) de vapores

de PCBs o de partículas, o donde hay un alto potencial de salpicadura de la piel o de inmersión en PCBs.

Por ejemplo, los trabajadores que habitualmente realizan el mantenimiento de rutina o toman muestras de equipos de PCBs, no requerirían tan alto nivel de protección. Las situaciones en que este nivel de protección sería aconsejable, incluyen: cualquier trabajo dentro de una edificación con ventilación deficiente u otros espacios cerrados donde se hayan volatilizado los PCBs a partir de superficies grandes, p.e., una situación de limpieza de un derrame grande.

El nivel A de PPE incluye lo siguiente:

- 1) Respirador proveedor de aire (Self-contained Breathing Apparatus - SCBA) con presión positiva, con máscara facial completa.
- 2) Ropa anti-químicos totalmente encapsulada
- 3) Overoles
- 4) Guantes exteriores, anti-químicos para trabajo pesado
- 5) Guantes interiores, anti-químicos para trabajo liviano
- 6) Botas, anti-químicos, puntera y talón de acero
- 7) Casco

#### 11.2.2. Nivel “B” de PPE

Al igual que en el anterior nivel “A”, el PPE de Nivel B normalmente no se requerirá para labores generales de mantenimiento o de recolección de muestras. El Nivel B se debe emplear en lugares donde se requiere un alto nivel de protección respiratoria (o sea, una situación similar a la del Nivel A), pero donde existe poco potencial para que haya contacto de los PCBs con la piel. Un ejemplo de situación en que se requiere el uso del Nivel B sería una en que el trabajador ingrese a un recinto mal ventilado u otro espacio confinado donde se ha presentado un derrame grande y el trabajador solamente está ahí para inspeccionar y no para participar en la operación de limpieza del derrame.

El Nivel B de PPE incluye los siguientes elementos:

1. Respirador proveedor de aire (Self-Contained Breathing Apparatus - SCBA) con presión positiva, con máscara facial completa.
2. Ropa anti-químicos con capucha (p.e., vestido Tyvec™).
3. Guantes exteriores, anti-químicos para trabajo pesado
4. Guantes interiores, anti-químicos para trabajo liviano
5. Botas, anti-químicos, puntera y talón de acero
6. Máscara facial o gafas protectoras, de ser necesario.

#### 11.2.3. PPE Nivel “C”

El PPE de Nivel C por lo general se emplea en lugares en que el peligro respiratorio no es alto, pero se espera que las concentraciones de PCBs en el aire continúen estando por encima de los niveles aceptables. Ejemplo de situaciones en las que se recomendaría el

Nivel C sería el de operaciones en recinto interior con equipo PCB abierto o tambores abiertos de materiales contaminados con PCB, operaciones al aire libre en áreas grandes de derrame de PCBs u operaciones en que se trabaje de manera estrecha y continua con equipo abierto de PCB o con tambores abiertos de material contaminado con PCBs.

El PPE de Nivel C incluye los siguientes elementos:

1. Respirador purificador de aire, que cubre la cara totalmente o parcialmente (es decir, el respirador tipo cartucho con el cartucho apropiado para filtrar los vapores orgánicos) --- Ver normas NIOSH.
2. Ropa anti-químicos con capucha (p.e., vestido Tyvec™).
3. Guantes exteriores, anti-químicos, para trabajo pesado
4. Guantes, interiores, anti-químicos, para trabajo liviano
5. Botas, anti-químicos, puntera y talón de acero
6. Cubre botas exteriores, anti-químicos
7. Máscara facial o gafas protectoras, de ser necesario

#### 11.2.4. PPE del Nivel “D”

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

El PPE de Nivel D incluye los siguientes elementos:

1. Overoles enterizos
2. Guantes anti-químicos
3. Botas, con puntera y talón de acero, de ser necesario
4. Cubre-botas, anti-químicos
5. Máscara facial o gafas de seguridad, de ser necesario

### 11.3. Higiene personal

Independientemente del nivel de PPE que se use, los trabajadores deben observar buenas prácticas de higiene, a fin de reducir su exposición a los PCBs, por ejemplo:

- Al quitarse el PPE, se debe tener cuidado de retirar el PPE contaminado, de manera que se prevenga el contacto de la piel con los PCBs
- Los trabajadores deben lavarse bien con agua y jabón después de trabajar con PCBs
- Los trabajadores deben abstenerse de fumar, beber o comer mientras se trabaja con PCBs, a fin de reducir la ingestión de los mismos.

### 11.4. Criterios sobre calidad del aire en interiores

Las personas que trabajan con PCBs o cerca a donde haya emisión de PCBs pueden estar expuestos al aire con concentración de PCBs por encima de los límites de seguridad permitidos. El Instituto Nacional de Salud Ocupacional y Seguridad Industrial de los

Estados Unidos estableció una norma de calidad de aire interior con respecto al límite de exposición a los PCBs de  $1.0 \text{ ug/m}^3$ . Si sospecha que la calidad del aire interior no cumple con la norma, se debe tomar una muestra a fin de determinar el nivel de riesgo y/o el equipo de PPE apropiado.

La calidad del aire interior se puede medir utilizando el mismo equipo de monitoreo para el aire del ambiente (ver Sección 10.9.6) o, para una representación más representativa de la exposición, unos monitores pequeños, especialmente diseñados que los trabajadores pueden llevar puestos para recoger las muestras del aire. Estos recoge-muestras se conocen como “dosímetros”. Las muestras recogidas son analizadas luego en un laboratorio.

### **11.5. Capacitación en salud y seguridad industrial**

Los trabajadores que tienen contacto directo con equipo PCB o con desechos de PCBs requieren de un entrenamiento mínimo a fin de que tomen las precauciones correctas para limitar su exposición a los PCBs. Este entrenamiento debe abarcar los siguientes temas:

- Que son los PCBs
- Comprensión de los peligros de los PCBs para la salud y el medio ambiente, incluyendo los niveles de seguridad
- El uso de los diversos niveles de PPE, su adecuado uso y mantenimiento
- Aspectos de higiene personal en el trabajo con PCBs
- Respuesta a emergencias ante derrames e incendios

### **11.6. Vigilancia médica**

Es práctica común de salud y seguridad industrial el contar con un programa de vigilancia médica para aquellos trabajadores quienes, de manera rutinaria y prolongada, están potencialmente expuestos a altas concentraciones de PCBs.

Cuando este tipo de programa se utiliza para un proyecto particular, se realiza un examen médico inicial como base, al iniciar el proyecto, y se continúa con exámenes anuales. Al final del proyecto, se practica un examen médico de “salida”. En caso de ocurrir algún accidente en que un trabajador haya estado expuesto a una alta concentración de PCBs, en ese momento se debe realizar otro examen médico.

Los exámenes médicos habitualmente consisten de lo siguiente:

- Historia ocupacional y clínica
- Examen médico
- Pruebas de visión y audición
- Examen de orina
- Exámenes de sangre, incluyendo el nivel de PCBs
- Examen de pulmones
- Examen funcional de enzimas hepáticas

Para mayor información, remitirse a la página de Internet del U.S. National Medical

Service, [www.nmslab.com/pcb](http://www.nmslab.com/pcb).

Si accidentalmente usted se expone a los PCBs, debe consultar con un médico.

## 12. CRITERIOS SOBRE PCBs PARA LA PROTECCION DE LA SALUD HUMANA Y DEL MEDIO AMBIENTE DE SUSTANCIAS O EQUIPOS CONTAMINADOS CON PCBs

### RESUMEN

- **En muchos países interesados en proteger la salud y el medio ambiente** se han desarrollado criterios sobre la máxima exposición permitida. En esta sección se utilizan principalmente los criterios de Canadá y Estados Unidos.
- **Calidad de aire ambiente con respecto a los PCBs:**
  - Promedio anual permitido 35 ng/m<sup>3</sup>
  - promedio permitido en 24 horas 150 ng/m<sup>3</sup>
  - promedio permitido en 0.5 horas 450 ng/m<sup>3</sup>
- **Calidad de agua ambiente con respecto a los PCBs:**
  - Concentración permitida para la protección de los peces 1 ppt
- **Calidad de agua potable con respecto a los PCBs:**
  - Norma U.S. EPA 0.5 ppb
  - Norma Ontario MOE 0.2 ppb
- **Calidad de sedimentos con respecto a los PCBs:**
  - Nivel en el que no habrá efectos sobre la vida acuática 0.07 ppm
- **Calidad del suelo con respecto a los PCBs:**
  - Uso agrícola de la tierra 0.5 ppm
  - Uso residencial y de parques 5 ppm
  - Uso industrial y comercial 25 ppm
- **Superficies sólidas impermeables con respecto a los PCBs:**
  - Superficies de acceso al público 10 ug/100 cm<sup>2</sup>
  - Superficies industriales con acceso 100 ug/100 cm<sup>2</sup>
- **Niveles permitidos de PCB con respecto a calidad de los alimentos:**
  - Leche 1.5 ppm
  - Pollo 3 ppm
  - Huevos 0.3 ppm
  - Pescados 2 ppm
- **Niveles permitidos recomendados en la sangre humana:**
  - Promedio general de población 6 ppm
  - Máximo nivel de población general y 30 ppm

### 12.1. Razones de respaldo de estos criterios

Muchos países han desarrollado criterios sobre límites máximos para la protección de la salud humana y el medio ambiente para diversos productos químicos, entre ellos los PCBs. El desarrollo de dichos criterios por lo general implica el uso de complejos modelos de análisis de riesgos de salud humana y ecológicos, desarrollados por grupos de científicos, toxicólogos y especialistas de sistemas.

Ante todo se establece el máximo tolerable de exposición diaria. Este valor se deriva, con frecuencia, de las pruebas de laboratorio en animales y luego se puede aplicar un factor de seguridad 100 veces mayor para llegar al nivel de exposición tolerable, expresado como ug PCB por kilo de peso corporal. Luego, el nivel de exposición se debe distribuir entre las distintas vías de exposición (p.e., aire, comida, agua, suelos, etc.), según los estilos de vida promedio de los receptores seleccionados (p.e., bebé, ama de casa, trabajador de fábricas, etc.). Normalmente, la máxima exposición química se basa en un riesgo de muerte de 1 en 1 millón ( $10^{-6}$ ), ya que éste se considera un nivel aceptable de riesgo humano en muchos países.

Para entender el significado de esta cifra (1 en un millón), se puede comparar con experiencias comunes de la vida diaria con el mismo riesgo que se presenta en la siguiente tabla.

<b>Actividad</b>	<b><u>Riesgos comparables*</u></b>	<b>Tipo de riesgo</b>
<i>Fumar 1.4 cigarrillo</i>	<i>Cáncer de pulmón,</i>	<i>enfermedad cardiaca</i>
<i>Vivir 2 meses con un fumador</i>	<i>Cáncer de pulmón,</i>	<i>enfermedad cardiaca</i>
<i>Beber 0.5 litros de vino</i>	<i>Cirrosis hepática</i>	
<i>Permanecer 1 hora en una mina de carbón</i>	<i>Enf. Pulmón negro</i>	
<i>Recorrer 16 km en bicicleta</i>	<i>Accidente</i>	
<i>Recorrer 240 km en carro</i>	<i>Accidente</i>	
<i>Volar 1600 km en jet comercial</i>	<i>Accidente</i>	
<i>Una radiografía pulmonar</i>	<i>Cáncer</i>	
<i>Vivir 150 años a 32 km de una planta nuclear</i>	<i>Cáncer</i>	
<i>Comerse 100 filetes de carne asada al carbón</i>	<i>Cáncer por el benzopireno</i>	

*\*Actividades que se estima aumentan las probabilidades de morir en cualquier año en una relación de una en un millón ( $10^{-6}$ )*

Las siguientes normas de calidad se expresan como concentraciones máximas permisibles de PCBs.

### 12.2. Calidad del aire

El aire en el ambiente se refiere a la calidad del aire externo. El Consejo Canadiense de Ministros del Medio Ambiente (CCME) estableció las siguientes normas para PCBs en el medio ambiente

- Promedio anual permitido 35 ng/m<sup>3</sup>
- Promedio permitido en 24 horas 150 ng/m<sup>3</sup>
- Promedio permitido en 0.5 horas 450 ng/m<sup>3</sup>

### 12.3. Calidad del agua

La calidad del agua se refiere al agua en lagos y ríos o cualquier otro cuerpo de agua natural incluyendo las aguas del suelo que vierten en cuerpos de agua. Por lo general son diferentes las normas de calidad para el agua de peces y el agua potable. Usualmente, las normas de calidad para peces y otras especies marinas comestibles son más estrictas (es decir las concentraciones permitidas de PCBs en el agua para los peces son menores) debido a la bioacumulación y a los problemas de bioampliación de los PCBs, según se planteo en la Sección 5. El CCME recomienda la siguiente norma de calidad para el agua:

- Concentración permitida (protección de los peces) 1 ppt

### 12.4. Calidad del agua potable

La calidad del agua se refiere a cualquier agua o cuerpo de agua utilizado para el consumo humano, como por ejemplo ríos, lagos, agua del suelo, represas artificiales, agua de la llave, etc. A continuación aparecen algunas normas seleccionadas.

- Norma de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos 0.5 ppb
- Norma del Ministerio del Ambiente de Ontario 0.2 ppb

### 12.5. Calidad de los sedimentos

La calidad de sedimentos se refiere a la calidad de sedimentos en los cuerpos de agua naturales, incluyendo agua dulce y marina y se relaciona con la salud de los peces y otros organismos marinos. El Ministerio del Medio Ambiente de Ontario emplea la siguiente norma:

- Nivel en que no se producirá efecto alguno 0.07 ppm

### 12.6. Calidad del suelo

La calidad del suelo generalmente se refiere al suelo con el cual, bajo circunstancias normales, la gente puede tener contacto o en el cual puede haber plantas. Por lo tanto, normalmente se refiere a los primeros uno a dos metros de suelo en la superficie. Por lo

general, las normas de calidad del suelo prevén diferentes concentraciones permitidas para diferentes usos del suelo. Las siguientes normas fueron establecidas por el Ministerio del Medio Ambiente de Ontario.

- Uso agrícola 0.5 ppm
- Uso residencial y para parques 5 ppm
- Uso industrial y comercial 25 ppm

### 12.7. Calidad de la biota

La biota se utiliza frecuentemente como indicador de contaminación. No existen normas para especies individuales, sin embargo, se han desarrollado perfiles de concentración sobre una base de proyecto individual por parte de agencias de monitoreo tales como NOAA.

### 12.8. Superficies sólidas

Las superficies sólidas suelen referirse o bien a superficies impermeables (es decir, aquellas superficies en que los líquidos de PCB no logran penetrar la superficie - ejemplo: superficies metálicas, concreto revestido de material epóxico), o a superficies permeables (es decir, aquellas superficies que permiten la penetración de los líquidos de PCB - ejemplo: concreto sin pintar, asfalto, madera, etc.). Para las superficies permeables, por lo general se aplican los mismos criterios que los planteados anteriormente para la calidad del suelo. En este caso, la evaluación se realiza utilizando un corazonador de muestreo para tomar una muestra integral a profundidad del material contaminado. Para las superficies impermeables se puede emplear los siguientes criterios.

- Para superficies a las que el público tiene acceso [10 ug/100 cm<sup>2</sup>]
- Para superficies industriales con acceso restringido [100 ug/100 cm<sup>2</sup>]

Las zonas de acceso restringido (por ejemplo, una zona rodeada de una malla o un cuarto bajo llave) son aquellas en las que el acceso se limita a ciertas personas, quienes tienen conocimiento de la contaminación y toman las precauciones adecuadas.

### 12.9. Alimentos

Debido a la naturaleza omnipresente de los PCBs, pueden encontrarse en productos alimenticios a nivel mundial. La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) ha establecido los siguientes niveles máximos para diversos alimentos.

- Leche 1.5 ppm
- Aves 3 ppm
- Huevo 0.3 ppm
- Pescado 2 ppm



### 12.10. Sangre humana

La población general tendrá niveles de PCBs en su sangre a raíz del consumo de alimentos, aire y agua. Los trabajadores que manejan PCBs, normalmente tendrán un mas alto nivel en la sangre por la exposición ocupacional adicional a los PCBs. Los Servicios Médicos Nacionales de los Estados Unidos proporcionan los siguientes niveles de PCB en la sangre.

- Nivel promedio de sangre en la población en general                    6 ppm
- Nivel máximo habitual de la población en general                        30 ppm

Por encima del nivel de sangre de 30 ppm, la población en general y los trabajadores deben reducir su exposición a los PCBs.

## 13. DESCONTAMINACIÓN, TRATAMIENTO, DESTRUCCIÓN Y ELIMINACIÓN RESUMEN

- **Las definiciones** de los anteriores términos se pueden encontrar en el Glosario en la primera parte del Manual.
- **La descontaminación de los transformadores de aceite mineral** se logra regularmente utilizando técnicas bien probadas de retrolleado (o sea, drenando el aceite contaminado y reemplazándolo con aceite limpio). Durante un período de aproximadamente tres meses, los PCBs que quedan en los materiales de papel y madera del transformador se lixiviarán otra vez en el aceite limpio. Como resultado de ello, se debe practicar una prueba, conocida como “la prueba de los noventa días” al aceite del transformador, a fin de determinar si el aceite se ha mantenido a < 50 ppm y, de ser así, el transformador puede ser reclasificado como “no PCB”.

Otro método empleado ocasionalmente en transformadores más grandes de aceite mineral (> 10,000L) se conoce como “descontaminación en línea”. Dos en un camión para destruir químicamente las moléculas de PCBs presentes en el aceite. Una de las ventajas que ofrece este método es que se puede utilizar con transformadores energizados (o sea que no necesita apagarlos).

- **La descloración (tratamiento) de aceite mineral contaminado** regularmente se realiza con equipo montado en camión que se trae hasta el patio de mantenimiento de los transformadores. El aceite contaminado, recogido en un tanque grande para las operaciones de retrolleado, es tratado con este equipo hasta llegar a <2 ppm PCB.
- **La descontaminación de los transformadores** para reutilización rara vez se lleva a cabo debido al alto costo del proceso, aunque se emplea en algunos casos en los que resultaría muy costoso retirar y reemplazar el transformador.
- La descontaminación para chatarra (o sea, recuperación del metal mediante fundición) es la operación más común cuando se reemplaza un transformador de Askarel. Este método de descontaminación implica desarmar manualmente el transformador y emplear solventes para

remover los PCBs de las partes metálicas. No es fácil descontaminar los materiales de papel y madera en el transformador de Askarel y, por tanto, se deben almacenar como desechos de PCBs hasta cuando se tenga acceso a un incinerado de alta temperatura aprobado. Los solventes se pueden regenerar mediante destilación y los PCBs residuales se almacenan hasta esperar la incineración aprobada a alta temperatura.

- **La descontaminación de condensadores grandes** para recobro de metales por lo regular se realiza empleando métodos de limpieza con solventes similares a los descritos anteriormente para los transformadores de Askarel.
- **La descontaminación de balastos de luz** por lo regular mediante trituración y luego incineración a alta temperatura. Para un propietario de una buena cantidad de balastos de luz puede haber un ahorro de costos retirando primero la parte no-PCB del balasto (por lo general se le denomina “spitting de balastos”), de manera que solo sea necesario incinerar la parte de PCB.
- **La destrucción de los líquidos de Askarel** y otros materiales difíciles como los de madera y papel de los transformadores de Askarel por lo general se realiza utilizando incineración aprobada de alta temperatura. Normalmente esto se hace en un incinerador de desechos peligrosos especialmente diseñado para destruir el 99.9999% de los PCBs. Colombia actualmente no cuenta con incineradores aprobados para la destrucción de los PCBs a >50 ppm. Existen países con dichas facilidades dispuestos a aceptar importaciones de PCBs para someterlos a destrucción a alta temperatura.
- **Hornos y calderas de alto rendimiento para cemento** utilizados para incinerar <50 ppm PCBs en el Canadá y <500 ppm PCBs en Estados Unidos. Estas actividades están reguladas por estrictos requisitos de operación y rendimiento en ambos países.

**Otras tecnologías**, particularmente las móviles, están disponibles para importarlas a Colombia para asistir en la eliminación de los PCBs, como sigue:

- **los incineradores móviles de alta temperatura** se han utilizado extensamente en Estados Unidos y Canadá para destruir los PCBs.
- **la extracción térmica de baja temperatura** se utiliza para remover los PCBs de matrices sólidas como el suelo.
- **la biodegradación** se ha empleado para destruir PCBs en suelos contaminados con niveles bajos de PCBs.
- **los autoclaves móviles** con vapor de solventes calentados para remover los PCBs de las matrices sólidas se utilizan frecuentemente para descontaminar el equipo de Askarel.
- **los sistemas móviles de “screening” de agua** se utilizan regularmente para remover los PCBs del agua.
- **La escogencia de la tecnología** para un proyecto en particular depende de una amplia variedad de criterios tales como seguridad industrial, medio ambiente, normatización, así como viabilidad técnica y financiera de la tecnología.
- **Las normas sobre ubicación y desempeño** se emplean en el proceso de planeación de un proyecto para deducir los riesgos ambientales y de salud.

- **Para la escogencia del sitio** se tienen en cuenta las distancias de separación hasta los receptores sensibles (p.e., alimentos, áreas de almacenamiento y preparación de alimentos y agua, hospitales, escuelas, etc.), geología de superficie y agua subterránea, topografía, servicios y accesos disponibles y compatibilidad con el uso local de la tierra.
- Para las tecnologías escogidas se debe contar con normas de desempeño que cumplan con las normas internacionales. Se debe contar, además, con datos para realizar pruebas de desempeño que puedan revisar las autoridades ambientales competentes.

Para cualquier operación, se debe utilizar el equipo de protección personal, PPE, adecuado (ver Sección 11.2), se debe desarrollar un Programa de Salud y Seguridad Industrial (ver Sección 11.2) y se deben poner en marcha Procedimientos de Emergencia adecuados (ver Sección 14). Además, ver Sección 13.11 sobre la Selección Adecuada para estas operaciones.

### 13.1. Definiciones

Los términos descontaminación, descloración (tratamiento), destrucción, eliminación, reciclaje, en ocasiones tienen significados diferentes entre las entidades y los países. Por consiguiente, es muy importante al leer esta sección, en particular, referirse a las definiciones incluidas en el Glosario de términos al comienzo de este Manual.

### 13.2. Descontaminación de transformadores de aceite mineral contaminados para reutilización, reciclaje y eliminación

En la figura 13-1, presentada en forma de árbol de decisiones, se puede encontrar un resumen de esta sección.

#### 13.2.1. Descontaminación de transformadores de aceite mineral contaminados para reutilización

Los transformadores de aceite mineral contaminados con PCBs, se contaminan, por lo general, a niveles relativamente bajos. La experiencia de las empresas grandes de servicios públicos en Canadá y Estados Unidos ha servido para realizar la siguiente clasificación aproximada de categorías de transformadores contaminados con PCBs:

- 7-15% de sus transformadores de aceite mineral están contaminados con más de 50 ppm
- 90% de los transformadores de aceite mineral tienen niveles de PCBs de 50-500 ppm
- 10% de los transformadores de aceite mineral tienen niveles de PCBs de 500-1000 ppm
- <1% de los transformadores de aceite mineral tienen niveles de PCBs superiores a 1000 ppm

Los transformadores de aceite mineral contaminados se pueden descontaminar, para ser reutilizados, mediante diversas técnicas, teniendo en cuenta el tamaño del transformador

y la concentración inicial de PCBs, además de cualquier necesidad adicional de mantener el transformador energizado. Todas las técnicas implican reemplazar el fluido contaminado del transformador.

#### 13.2.1.1. Retrolenado

El método más común para reemplazar el fluido del transformador es el que se conoce como “retrolenado”. Este proceso se emplea, por lo general, cuando el propietario tiene un inventario grande de transformadores de poste. Se puede utilizar en transformadores reunidos en un patio central o se puede emplear aún en transformadores sujetos a postes (aunque desenergizados).

El retrolenado implica el drenaje cuidadoso del aceite mineral contaminado (a un tanque grande para su almacenamiento y posterior tratamiento --- Ver Sección 1.3) y luego su reemplazo con aceite mineral limpio (< 2 ppm PCB). Después del retrolenado, en el transformador ocurre un fenómeno que se conoce como “contra lixiviado”.

El contra lixiviado es el movimiento de las moléculas de PCB desde los materiales porosos (papel y madera) en el transformador hacia el fluido limpio de reemplazo, hasta llegar a un equilibrio entre la concentración de PCB en el material poroso y la concentración de PCB en el líquido. La Figura 13-2 ilustra una curva típica de contra-lixiviado para un transformador retrolenado con una concentración original de PCB de sólo menos de 500 ppm.

La prueba estándar para verificar los resultados se conoce como la prueba de los “noventa días” o de los “tres meses” y mediante ésta se recoge y analiza una muestra del fluido del transformador, después de noventa días o más de servicio, posteriormente al trabajo de retrolenado. Si los resultados de la prueba son de 50 ppm o menos, el transformador se puede reclasificar como transformador sin PCB.

Los estudios del Instituto de Investigaciones de Energía Eléctrica de Estados Unidos (U.S. Electrical Power Research Institute - EPRI, 1989) han demostrado lo siguiente, en los transformadores de aceite mineral contaminado, que han sido sometidos a retrolenado:

- El fenómeno del contra-lixiviado casi se completa (es decir, la curva es asintótica) luego de noventa días de servicio (tanto el calor como la mezcla de flujo generados por el uso del transformador ayudan a acelerar la desadsorción de las moléculas de PCB de los materiales porosos).
- Con el drenaje cuidadoso del transformador, 90% o más de todo el contenido de PCBs se puede retirar y, por lo tanto, la concentración del contra-lixiviado (es decir, la concentración en el fluido del transformador noventa días después del retrolenado) es de aproximadamente el 10% de la concentración original en el fluido.

Por lo tanto, con un drenaje cuidadoso y un solo retrolenado con aceite mineral limpio, se puede suponer que un transformador con <500 ppm de aceite mineral contaminado se convierte en un transformador no PCB (concentración menor de 50 ppm) después de

noventa días en servicio. Puesto que los diversos transformadores se diseñan con diferentes cantidades de materiales porosos, esta es sólo una regla general y, por consiguiente, habrá un porcentaje pequeño de fallas (CCME, 1995).

Sin embargo, las autoridades reguladoras (Estados Unidos y Canadá) han considerado este pequeño porcentaje de fallas aceptable, comparado con el costo de realizar una prueba de PCBs de noventa días en cada uno de los transformadores minerales a contaminados con <500 ppm PCB, que hayan sido sometidos a retrolenado.

Quienes posean grandes inventarios de transformadores de aceite mineral contaminado y deseen descontaminar los transformadores de <500 ppm, sin acudir a la prueba de los noventa días, deben presentar ante el Ministerio del Medio Ambiente los resultados de las pruebas de drenaje y retrolenado. En estos resultados se deben detallar el procedimiento de drenaje del transformador y los resultados de la prueba de los noventa días. Estos seguimientos deben incluir al menos diez transformadores y, cuando sea posible, transformadores con concentraciones iniciales de PCBs cercanas a los 500 ppm, de diversas marcas y tamaños. Con base en estos resultados, el MMA puede otorgarle al propietario un permiso para omitir la prueba de los noventa días, cuando se retrolenen los transformadores con concentraciones iniciales de PCB de <500 ppm.

Para los transformadores de aceite mineral contraminados con 500 ppm PCB o mayores, es probable que un solo retrolenado no resulte <50 ppm PCB en el fluido después de noventa días. Para mejorar los resultados, se pueden utilizar múltiples retrolenados, con intervalos de 30-90 días, o se pueden utilizar dos volúmenes de aceite caliente en una operación. Cualquiera que sea el método de retrolenado empleado para esta categoría de transformadores, la prueba de los noventa días se debe realizar en el fluido final, a fin de verificar el éxito del proceso. Si el resultado de la prueba de los noventa días es de 50 ppm o menos, el transformador puede, en ese momento, ser clasificado como transformador libre de PCBs.

#### 13.2.1.2.Descontaminación en línea

Si el transformador es grande (>10.000 litros de aceite mineral), puede resultar costo-eficiente el descontaminar el transformador empleando el equipo de tratamiento móvil, en línea, (descloración) para tratar tanto el aceite contaminado del transformador, como el interior del transformador, todo en una sola operación. La movilización de este equipo, montado sobre un camión hasta el sitio, resulta relativamente costosa, así es que entre mayor sea el volumen de aceite a ser tratado, menor será el costo por litro.

Otra ventaja de este tratamiento en línea es el hecho de que se pueden descontaminar transformadores energizados. Por lo general, esta es una ventaja para grandes fábricas o instituciones tales como hospitales, donde la desconexión del transformador sería un problema.

El proceso de descontaminación en línea sigue los siguientes pasos generales:

- La unidad móvil de tratamiento químico se transporta hasta el sitio del transformador en dos tractomulas con *trailer*, uno de los cuales contiene un laboratorio móvil. (Ver Figura 13-3).

- La unidad se dispone en el sitio del transformador y se conecta a éste mediante mangueras.
- El aceite contaminado se bombea desde el transformador hasta la unidad móvil de tratamiento, donde se calienta, se filtra (empleando por lo regular el tipo “fullers earth”, que se debe probar para determinar la eliminación adecuada) para remover cualquier lodo que contenga y luego se mezcla en un tanque de reacción con la cantidad adecuada de agente desclorinizante.
- El agente y el cloro se separan del descontaminante mediante una centrífuga.
- El aceite se vuelve a filtrar, se desgasifica (o sea que se retiran las burbujas de aire atrapadas) y se vuelve a bombear al transformador.
- Dependiendo de la concentración inicial de PCBs en el aceite, éste puede requerir recirculación a través de la unidad de tratamiento hasta que esté limpio (<2 ppm).
- Después de noventa días en servicio, el aceite del transformador se vuelve a someter a prueba y, si los resultados son 50 ppm o menos de PCBs, el transformador se puede reclasificar como transformador libre de PCBs.

#### 13.2.2. Descontaminación de transformadores con aceite mineral contaminado para reciclaje y eliminación

Algunos estudios (Husain et al, 1991) han demostrado que los transformadores de aceite mineral contaminados (50 ppm o menos después de noventa días) pueden ir directamente a los recicladores, al final de su vida útil, puesto que el material poroso también contendrá menos de 50 ppm de PCBs y las superficies metálicas tendrán concentraciones de PCBs menores de 10 ug/100 cm.

### 13.3. Tratamiento de aceite mineral contaminado

El aceite mineral contaminado en tanques a granel en los patios de mantenimiento de transformadores se puede tratar (desclorinar) utilizando la misma unidad móvil de tratamiento químico descrito en la sección interior. El requisito del tratamiento es que la concentración final de PCBs en el aceite sea de 2 ppm o menos, antes de que se pueda reutilizar como fluido de transformador.

### 13.4. Descontaminación de transformadores Askarel para reutilización, reciclaje y eliminación

En la Figura 13-4, se presenta en forma de árbol de decisiones, un resumen de esta sección.

#### 13.4.1. Descontaminación de transformadores Askarel para reutilización

Debido a su alto contenido de PCBs, los transformadores Askarel no se pueden descontaminar de su alto contenido de PCB de manera económica utilizando técnicas de

retrolleado similares a las empleadas con los transformadores de aceite mineral.

Ocasionalmente se utiliza otra técnica, en situaciones en las que resultaría costoso remover el transformador Askarel (p.e., está situado en un piso alto de una torre de oficinas, o en una bóveda de concreto en el sótano y sería necesario retirar las paredes), y al transformador aun le queda una larga vida útil en servicio.

Esta técnica con frecuencia se denomina “procesamiento *in situ*”, y normalmente implica seguir los siguientes pasos:

- La compañía de servicio de PCB contratada para el trabajo evaluará si el transformador es adecuado para el proceso.
- El transformador Askarel se retira de servicio durante 24 horas.
- Durante este periodo de 24 horas, el Askarel es drenado desde el transformador hasta los tambores (que se colocan en las instalaciones para almacenamiento de PCBs) y el transformador se llena con un disolvente dieléctrico (usualmente percloroetileno).
- Luego se le asegura al transformador una pequeña unidad de destilación, la cual se ha diseñado para circular el fluido dieléctrico en el transformador y se destilan los PCBs del fluido.
- El transformador se vuelve a poner en servicio y el proceso *in-situ* continúa durante 18-36 meses, dependiendo de la concentración inicial de PCBs y de la cantidad de material poroso en el transformador.
- Después de 18-36 meses, se retira el procesador y se toma una muestra del fluido después de noventa días en servicio.

Debido a la muy alta concentración de materiales porosos y a su lenta tasa de desadsorción del material poroso, particularmente de la madera, se ha encontrado (Myers *et al.*, 1991) que en algunos de los transformadores en que los resultados de la prueba fueron menos de 50 ppm tras la prueba de los noventa días, se presentaron concentraciones de más de 50 ppm algún tiempo después.

Por esta razón, la prueba de los noventa días no se considera una prueba válida para los transformadores Askarel. En cambio de ésta, el requisito consiste en realizar pruebas anualmente, por lo menos durante tres años después del procesamiento, en los casos en que el disolvente dieléctrico de percloroetileno (“perc”) se deje permanentemente en el transformador.

Si el “perc” se reemplaza por silicona, al final de la prueba de los noventa días, la prueba se debe practicar durante diez años, con intervalos de 3-5 años (debido a las tasas más lentas de desadsorción de PCB asociadas con el uso de la silicona). Las compañías de servicio de PCBs que ofrecen el procesamiento *in-situ* por lo general ofrecerán, como parte del contrato, practicar las pruebas anuales y cualquier otro procesamiento tendiente a mantener el transformador por debajo de los 50 ppm.

En cualquier momento durante el programa de prueba, si la prueba del transformador resulta en >50 ppm, la condición de dicho transformador vuelve a pasar de ser un transformador sin PCB a uno con PCB.

Al final de su vida útil, un transformador inicialmente catalogado como de Askarel que

hubiese sido descontaminado satisfactoriamente (es decir, se ha comprobado que resultan en <50 ppm durante tres años, o si se llenó con silicona durante diez años, debe presentar <50 ppm y se puede retirar del servicio y convertirse en chatarra para reciclaje, ya que los estudios han demostrado que los materiales porosos estarán a <50 ppm y las superficies internas del transformador a <10 ug/ 100 cm<sup>2</sup>.

#### 13.4.2. Descontaminación de los transformadores Askarel con disolventes para su reciclaje y eliminación

La descontaminación de los “desechos” de Askarel o transformadores contaminados con PCBs (o sea, transformadores retirados permanentemente de servicio) por lo general se efectúa mediante un proceso conocido como “descontaminación con disolvente”. Este proceso de descontaminación por lo general se lleva a cabo dentro de una edificación, con equipo diseñado especialmente y observando las debidas medidas de salud y seguridad. El proceso, ofrecido por las compañías de servicio de PCBs en los Estados Unidos, normalmente implica seguir los siguientes pasos (se ilustra en la Figura 13-5):

- Primero se drena el fluido dieléctrico del transformador, y el fluido se almacena adecuadamente en espera de ser destruido.
- Se desengrasa preliminarmente el transformador ya drenado (un lavado con disolvente) para retirar cualquier residuo de PCBs y para minimizar la exposición del trabajador a los PCBs.
- La parte de encima de la unidad se retira mediante un corte en frío (el corte con soplete podría producir vapores de dioxinas y furanos). Luego se saca el núcleo del revestimiento y se separa en diversos componentes, tales como láminas de núcleo, bobinas, cables, bujes, madera, plástico y aisladores.
- Los componentes metálicos se destinan para fundición y se lavan vigorosamente con disolventes para cumplir la descontaminación de la superficie hasta [10 ug/100 cm<sup>2</sup>. Si los componentes se van a destinar a reutilización, se emplea un criterio de [10 ug/100 cm<sup>2</sup>. En Canadá se utiliza el criterio de [10 ug/100 cm<sup>2</sup> para fundición y reutilización.
- A estos componentes se les somete a los lavados estándar, con el objeto de verificar que se han cumplido los criterios establecidos para las superficies.
- Los componentes metálicos descontaminados que cumplan con los criterios de prueba de lavado, se pueden enviar a los hornos para el reciclaje del metal, o se puede disponer de ellos en los rellenos sanitarios destinados a tal fin.
- El solvente usado, contaminado con PCB, se puede destilar y el líquido de PCB que resulte de este proceso se puede almacenar hasta que sea destruido.
- Los materiales de madera y papel de los transformadores Askarel probablemente queden a >50 ppm y, por lo tanto, se deben almacenar hasta que sean destruidos.

El número de lavados con solvente necesarios para descontaminar satisfactoriamente los componentes metálicos del transformador depende en gran parte de la concentración de PCBs en el fluido dieléctrico original del transformador. Por ejemplo, los transformadores Askarel necesitarán un lavado más intensivo que los transformadores de aceite mineral contaminado.

Existen otros métodos y equipos para descontaminar transformadores PCB, algunos de



los cuales son móviles. Uno de los equipos más populares, tanto fijo como móvil, son los “Autoclaves”. Un autoclave utiliza una variación del proceso de descontaminación con disolvente. El autoclave es una cámara grande en la que se colocan por lotes las partes del transformador. En el autoclave, las partes del transformador se descontaminan mediante la circulación de vapores disolventes calientes. Ver figura 13.-6.

En las secciones 13.7 y 13.9, más adelante, se describen otros métodos aplicables a la descontaminación de los transformadores PCB para reciclaje y eliminación.

### **13.5. Descontaminación de los condensadores y balastos de luz**

#### 13.5.1. Condensadores grandes

Los condensadores grandes se pueden descontaminar utilizando métodos similares a los métodos de descontaminación con disolventes descritos anteriormente para los transformadores Askarel. Los condensadores PCB normalmente contienen Askarel en concentraciones hasta de 100% PCB y cantidades aun mayores de materiales porosos y, por consiguiente, en ocasiones resultan más difíciles de descontaminar que los transformadores Askarel.

En las secciones 13.7 y 13.8 más abajo se describen otros métodos de descontaminación de los condensadores.

#### 13.5.2. Balastos de iluminación

Los balastos de PCBs de luz fluorescente contienen pequeños condensadores de PCBs, con altas concentraciones de PCBs. Aunque los condensadores son pequeños, millones de ellos fueron instalados en grandes edificios de oficinas y otras instalaciones. Los propietarios de grandes existencias de balastos deben manejarlos adecuadamente.

Los balastos se pueden destruir y descontaminar utilizando el proceso de descontaminación mencionado anteriormente bajo descontaminación de transformadores Askarel para reciclaje y eliminación, pero se presentan dificultades con el papel y el material eléctrico de “potting” con altas concentraciones de PCB. Como alternativa, se pueden destruir e incinerar, como se describe más abajo.

Puesto que al condensador PCB en un balasto de iluminación, sólo le corresponde el 2%-40% del peso y un porcentaje similar del volumen, algunas compañías de servicios de PCB ofrecen, como parte de la eliminación de balastos, la separación de la parte que no es PCB en los balastos de la parte de PCB (lo que se conoce como “división de balastos”). Si el propietario tiene una gran cantidad de balastos de PCB en almacenamiento, por lo general resulta económico hacerlos separar como un paso preliminar de la descontaminación.

### 13.6. Destrucción de los líquidos de Askarel

Debido a la alta concentración de PCBs en los líquidos Askarel, por lo general resulta poco económico destruir el líquido Askarel mediante tratamiento químico (descloración). La incineración a altas temperaturas, en un incinerador de desechos especialmente diseñado, que pueda alcanzar el 99.9999% de Eficiencia de Destrucción y Remoción (DRE) de los PBCs, es el método más usual para destruir el Askarel. Más adelante se describen los métodos de incineración.

Otro método que ha tenido cierto éxito en Canadá es la destrucción a alta temperatura utilizando la reducción en vez de la oxidación. Esta tecnología fue desarrollada e introducida por primera vez por Eli-Ecologic of Rockwood, Ontario, Canadá.

### 13.7. Incineración a alta temperatura

La incineración a alta temperatura es un método popular en Norteamérica y Europa para la destrucción de desechos peligrosos. Para destruir PCBs, dioxinas y furanos, el incinerador debe cumplir con el requisito de Eficiencia de Destrucción y Remoción de PCBs del 99.9999%. Esto significa que por cada millón de gramos de PCBs puros que se alimentan al incinerador, solo un gramo se puede emitir por la chimenea.

El diseño más común de incinerador de desechos peligrosos es el horno rotatorio (similar a un horno de cemento) el cual tiene tres componentes principales: la cámara de combustión primaria, la cámara de combustión secundaria y el sistema de control de contaminación (APC). El proceso de incineración en horno rotativo se ilustra en la Figura 13-7 y se describe a continuación.

- Por el extremo frontal del horno rotatorio, es posible alimentar sólidos, lodos y líquidos contaminados. La cámara de combustión primaria opera a aproximadamente 850°C y sirve para volatilizar los PCBs de los materiales alimentados. Estos gases volatilizados fluyen luego a la cámara de combustión secundaria, mientras que los materiales sólidos descontaminados salen por la parte de atrás de la cámara primaria.
- En la cámara de combustión secundaria, que opera a aproximadamente 1200°C, los gases de PCB que emanan de la cámara primaria se destruyen en cuestión de segundos.
- En el sistema APC, los gases de la cámara de combustión secundaria se enfrían y son purificados en un purificador húmedo. El purificador húmedo retiene el material particulado y los gases de cloro, que se combinan con cáusticos a fin de neutralizar el pH y formar sales precipitadas.
- Mediante una sala de control computarizada y un operador se mantiene el incinerador en operación conforme a los parámetros especificados, incluyendo temperatura, tiempo de residencia, eficiencia de combustión y límites de emisión.
- Ver Sección 13.12.2 que trata los requisitos de desempeño.

La popularidad del horno rotatorio proviene, en parte, de su diseño fuerte y relativamente sencillo y de su capacidad (en diversos grados) de manejar una amplia gama de materiales contaminados, incluyendo suelos, concreto triturado, partes metálicas

desmenuzadas, lodos y líquidos. Los hornos rotativos móviles son bastante populares en sitios contaminados con PBCs en Norteamérica, donde es necesario frecuentemente solucionar los problemas de una gran variedad de materiales contaminados.

### 13.8. Otras tecnologías

#### 13.8.1. Extracción térmica a baja temperatura

A una baja temperatura, los materiales contaminados desmenuzados mediante extracción térmica (p.e., suelos, metales, etc.) se alimentan a una cámara calentada indirectamente, que típicamente opera a 400-500<sup>0</sup>C. El calor en la cámara volatiliza los PCBs de los sólidos. El extractor de baja temperatura se puede adaptar con varias unidades para el manejo de los gases de escape. Esto incluye una cámara de combustión a alta temperatura para destruir los PCBs, o una filtro de carbón, o condensador, para recolectar los PCBs para su posterior destrucción.

#### 13.8.2. Pirolizador

El pirolizador es similar al extractor térmico de baja temperatura, excepto que la cámara extractora opera sin presencia de oxígeno.

#### 13.8.3. Hornos de cemento y calderas de alta temperatura

Hasta cierto punto, en Canadá y, en mayor medida en Estados Unidos, los hornos de cemento y las calderas industriales de alto rendimiento se emplean para destruir los materiales contaminados con baja concentración de PCB. En Canadá y en Colombia, la concentración máxima para la destrucción en un horno de cemento es de 50 ppm, mientras que en Estados Unidos la concentración máxima es de 499 ppm.

En esos países también es ilegal diluir los PCBs para cumplir con los criterios (50 o 499ppm). Esto se debe a que los hornos de cemento y las calderas no pueden cumplir con el alto estándar de DRE de 99.9999% que los incineradores de desechos peligrosos deben cumplir para incinerar PCBs. Por lo tanto, emiten un porcentaje mucho mayor de PCBs, PCDDs y PCDFs. Por consiguiente, los hornos de cemento y las calderas se deben restringir a la incineración de bajas concentraciones de PCBs, a fin de proteger la salud humana y el medio ambiente.

---

Las calderas de alto rendimiento y los hornos de cemento deben cumplir las siguientes normas en Estados Unidos (remitirse al Registro Federal U.S. EPA, 40 CFR 761.71 y a la Norma Definitiva 761 para una lista de requisitos más completa).

- Capacidad nominal de la caldera: Mínimo 50 millones BTU
- Gases de chimenea:
 

---

  - mínimo 3% de oxígeno libre y monitoreo continuo
  - monóxido de carbono • 50 ppm para instalaciones operadas con gas natural o crudo y • 100 ppm para instalaciones operadas con carbón y a ser monitoreadas continuamente

- 
- El aceite mineral contaminado no deberá exceder el 10% del combustible en términos de volumen y sólo deberá ser alimentado hasta tanto se hayan logrado condiciones normales de operación.

En Estados Unidos los hornos y fundidoras de recobro de chatarra pueden procesar productos contaminados de PCBs tales como metales (donde la concentración original de líquido en contacto con el metal es <500 ppm, o cuando la superficie metálica ha sido descontaminada a • 100 ug/100 cm<sup>2</sup>, y otros residuos sólidos (• 500 ppm) bajo las siguientes condiciones (remitirse a la Norma Definitiva 40 761.72 del U.S. EPA CFR para ver la lista completa de requisitos):

- El horno deberá incorporar al menos dos cámaras encerradas interconectadas que operen bajo condiciones de tiro negativo.
- La cámara principal operará a una temperatura entre 537°C y 650°C al menos durante 2.5 horas y alcanzará la temperatura máxima al menos una vez durante el proceso por lotes.
- Los gases de la cámara principal se alimentarán directamente a la cámara secundaria, la cual operará a una temperatura mínima de 1.200°C con un mínimo del 3% de oxígeno libre y un tiempo de residencia de 2.0 segundos, logrando una eficiencia de combustión del 99.9%.
- La emisión de gases de chimenea deberán cumplir los requisitos específicos para partículas, bióxido de azufre, monóxido de carbono, cloruro de hidrógeno, etc.

#### 13.8.4. Biodegradación

La biodegradación se ha empleado con relativo éxito en suelos y sedimentos con bajo nivel de contaminación (habitualmente <500 ppm). El éxito del uso de la biodegradación en los suelos depende de una gran variedad de parámetros, entre ellos:

- el tipo de Aroclor (p.e., los Arocloros con alto contenido de cloro parecen ser más difíciles de biodegradar),
- la presencia de los tipos apropiados de bacterias, o el diseño, cultivo e inyección de las bacterias apropiadas,
- bacterias que en el proceso de biodegradación no generen sub-productos peligrosos,
- presencia o inyección de suficiente cantidad de nutrientes, humedad, calor y oxígeno para un adecuado crecimiento bacterial, y
- suelos relativamente permeables que permitan la inyección o movilización de los anteriores elementos a las áreas contaminadas de PCBs.

El índice de éxito y el tiempo para alcanzar la labor de biodegradación, por lo general, se pueden mejorar mediante la remoción de tierra, por excavación y procesamiento en montones, o en contenedores en los que es posible mantener un mayor control de los anteriores parámetros.

En la página de internet de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos ([www.epa.gov/opptintr/pcb](http://www.epa.gov/opptintr/pcb)) es posible obtener información adicional sobre la biodegradación de los PCBs.

### 13.8.5. Eliminación en relleno sanitario

La eliminación de PCBs en un relleno sólo se debe permitir cumpliendo ciertos requisitos estrictos, como son:

- el material contaminado debe ser un sólido (no líquido, ni lodo que flote),
- la concentración de PCBs en el sólido debe ser de menor de 50 ppm para un relleno de desechos químicos con una buena ingeniería y menos de 5 ppm para un relleno municipal regular,
- si se desecha equipo de PCB en un relleno sanitario, debe estar bien drenado antes de desecharlo y los componentes metálicos deben cumplir con las mismas normas de descontaminación de superficie que para el reciclaje de estos materiales (o sea  $<10 \text{ ug}/100 \text{ cm}^2$ ) y el material poroso debe ser igual o menor de 50 ppm. Para los requisitos de un relleno de desechos químicos, ver la norma U.S. EPA CFR 40 761.75.

### 13.9. Métodos de limpieza ambiental

Muchas de las tecnologías descritas anteriormente se han empleado en sitios con contaminación de PCBs. La más común de estas tecnologías que se desarrollan en sitios grandes, con una gran variedad de materiales contaminados, es la del horno rotatorio móvil, debido a su versatilidad y sólida construcción.

Otras tecnologías que se usan para descontaminar los suelos incluyen los lavados con solventes, la extracción térmica a baja temperatura, y en una medida limitada, la biodegradación. Otra tecnología, la solidificación, se emplea para aislar PCBs del medio ambiente, pero se limita a suelos con bajo contenido orgánico, suelos contaminados y otros sólidos.

Teniendo en cuenta que los PCBs son DNAPLs que tienen una solubilidad relativamente baja, si hay contaminación de aguas freáticas con PCBs, teniendo en cuenta la baja solubilidad de los mismos, se considera que su remoción y la restitución del acuífero a los estándares de agua potable es una meta a muy largo plazo o imposible de lograr con la tecnología actual.

En condiciones apropiadas, hay varios métodos que pueden utilizarse para impedir la expansión de la contaminación del agua subterránea, que incluyen los controles hidráulicos (v.g., bombeo estratégico del acuífero) y el aislamiento físico mediante la construcción de muros de contención subacuáticos que aislen la fuente contaminante principal.

Pueden emplearse filtros de carbón activado granulado (GAC) para retirar los PCBs de las aguas freáticas y superficiales, con el fin de cumplir los estándares de agua potable. El GAC absorbe los PCBs. Cuando el filtro completa su capacidad de absorción, contiene 100-200 ppm de PCBs y debe ser manejado como desecho PCB. Los filtros contaminados pueden ser destruidos en un incinerador de alta temperatura, o pueden ser regenerados por el proveedor mediante un método de limpieza al vapor.

### 13.10. Criterios de evaluación de tecnologías

La elección de la tecnología apropiada para determinado proyecto depende de un amplio rango de parámetros, que incluyen importantes criterios de salud ocupacional, ambientales de seguridad y de viabilidad ambiental, técnica y financiera. Las evaluaciones de tecnología siguen, por lo general, una serie de pasos bien definidos, a saber:

#### 1. Identificación de tecnologías

Normalmente se hace una revisión de la literatura con el propósito de identificar los principales tipos de tecnologías de tratamiento y destrucción de PCBs. Pueden ponerse límites geográficos al área de búsqueda, de manera que la búsqueda sea más manejable y práctica.

#### 2. Selección de tecnologías

Las tecnologías identificadas en el paso #1 se someten a un tamizado basado en su disponibilidad comercial y en su capacidad demostrada para destruir o tratar PCBs exitosamente a escala comercial (v.g., deben evaluarse datos de pruebas a gran escala vigiladas gubernamentalmente). No deben considerarse tecnologías que se basen solamente en datos de laboratorio o estudios piloto.

#### 3. Evaluación detallada

Las tecnologías que superen el anterior proceso de tamizado pueden someterse a una evaluación más detallada. La siguiente es una lista general y explicativa de los criterios comúnmente empleados para evaluar tecnologías de destrucción, tratamiento y descontaminación de PCBs. Los criterios pueden ajustarse para reflejar las condiciones sociales, culturales, económicas y físicas de cada lugar específico.

- **Efectividad y permanencia a largo plazo**  
Es la capacidad de la tecnología para reducir las amenazas a largo plazo contra la salud humana y el medio ambiente y para proveer una solución permanente.
- **Efectividad a corto plazo**  
Es la capacidad de la tecnología para proteger la salud humana y el medio ambiente durante su operación.
- **Posibilidad de implementación**  
Es la posibilidad técnica de utilizar la tecnología en el lugar particular (v.g., si la localización es adecuada y se cuenta con los recursos necesarios) o de transportar los PCBs hacia la tecnología, entre otros. También incluye la factibilidad administrativa de obtener aprobaciones y licencias gubernamentales.
- **Costos**  
Los cálculos de costos deben ser tan completos como sea posible e incluir no solamente el costo del proceso de tratamiento o destrucción, sino también el transporte de los PCBs, la preparación del sitio, las aprobaciones reguladoras, el control ambiental, la supervisión y administración de los contratos y cualquier seguro adicional.

- Otros criterios

Entre los criterios que pueden emplearse se encuentran también consideraciones tales como las oportunidades de utilización y reciclaje, preferencias de la comunidad, oportunidades de empleo.

Las tecnologías pueden evaluarse cuantitativa o cualitativamente empleando tablas para analizar los resultados, como se muestra en la Tabla 13-1.

También cabe anotar que se puede utilizar una combinación de tecnologías (en la evaluación) para un sólo proyecto, a fin de obtener ciertas eficiencias de costo u otros beneficios.

### **13.11. Sitio y estándares de desempeño para tratamiento químico de descloración**

Esta sección describe los requerimientos generales de ubicación y desempeño que debe cumplir un proyecto que utilice tratamiento químico móvil para desclorar aceite mineral contaminado y/o para descontaminar transformadores de aceite mineral. Estos criterios de ubicación también deben usarse en proyectos de retrolleado de transformadores PCB u otros procesos de descontaminación de transformadores.

#### 13.11.1. Selección del sitio

Si se toma en consideración que el objetivo del proyecto es descontaminar transformadores minerales grandes, puede no haber opción distinta de utilizar un sitio que no satisfaga los siguientes criterios. Si éste es el caso, es importante establecer medidas adicionales para reducir el riesgo particular.

- Separación de receptores sensibles

Los receptores sensibles incluyen instalaciones de preparación de alimentos o forraje, plantas de tratamiento de agua, hospitales, escuelas, edificios públicos, entre otros. Se recomienda una distancia mínima de 100 m.

- Separación de aguas superficiales

Se recomienda una distancia de 100m respecto a fuentes de aguas superficiales, sistemas de drenaje o pozos. Si esto no puede cumplirse en la práctica, deben implementarse medidas adicionales de prevención y control de derramamientos (v.g., diques o bermas impermeables situadas alrededor de las operaciones, cuidado especial con las tuberías y conexiones de tubos).

- Geología de superficie y agua freática

La geología de superficie del lugar debe ser tal que suministre una protección razonablemente buena para el agua freática en caso de que ocurra un derrame. Si no se dispone de esto en los suelos naturales, debe usarse una barrera protectora impermeable (v.g., membranas de plástico grueso y geotextil cubiertas con arena y luego con gravilla) junto con bermas para proteger el agua subterránea.

- Topografía y tamaño

Cuando sea posible, el sitio debe ser plano, con suelo y área de superficie adecuados para

sostener el equipo móvil de tratamiento y operaciones auxiliares tales como actividades de respuesta de emergencia. El acceso para el equipo de respuesta de emergencia debe ser adecuado.

- **Proximidad a desechos PCB**  
Las instalaciones móviles de tratamiento deben estar situadas cerca de los desechos a fin de minimizar la distancia de transporte vía tubos o camiones. El almacenamiento de desechos PCB debe cumplir los requerimientos especificados en la sección 8.
- **Servicios y acceso al sitio**  
El lugar debe contar con servicios tales como energía eléctrica, agua, eliminación de líquidos y acceso adecuado por carretera para los dispositivos de tratamiento y cualquier desecho que se transporte al lugar.

### 13.11.2. Estándares de rendimiento

En condiciones normales, los dispositivos móviles de tratamiento químico no tienen emisiones de aire o vertimientos. Sin embargo, la manipulación de PCBs puede generar emisiones fugitivas al aire. Por consiguiente, es importante que el operador de la instalación de tratamiento tome las precauciones adecuadas para minimizar las emisiones fugitivas. Si hay sospecha de problemas por emisiones fugitivas excesivas, debe hacerse monitoreo del aire ambiental por parte del operador o del MMA y los resultados deben cumplir los estándares discutidos en la Sección 12.

Después del tratamiento, el aceite no debe contener más de 2 ppm de PCB.

## 13.12. Selección de sitio y estándares de rendimiento para incineración

### 13.12.1. Selección de sitio

A continuación se enumeran algunos de los criterios que deben tomarse en consideración al seleccionar el sitio para ubicar las instalaciones donde se realiza la incineración de desechos peligrosos. Aunque idealmente deberían considerarse todos los criterios, puede no ser práctico intentar elegir un sitio que cumpla con todos ellos. La selección de sitio es, en consecuencia, una transacción entre los criterios ideales de ubicación y las de mitigación para compensar aquellos criterios que no se satisfagan completamente.

- **Separación de receptores sensibles**  
Se recomienda una distancia de 250 m entre el sitio y los receptores sensibles (v.g., áreas de preparación de alimentos y forraje, plantas de tratamiento de agua, hospitales, escuelas, edificios públicos, entre otros).
- **Uso de la tierra**  
El uso de la tierra situada alrededor del sitio (v.g., en un radio de 250 metros) debe ser compatible con este tipo de operación (v.g., operaciones de tipo industrial).
- **Separación respecto de aguas superficiales**  
Se recomienda una distancia de 100 m entre el sitio y los cuerpos de agua superficial,



zanjas de drenaje o pozos. Si no puede cumplirse este requisito, se necesitan medidas adicionales para aislar el sitio, como pueden ser bermas perimetrales impermeables.

- Geología de superficie y agua freática
- La geología de superficie del lugar debe ser relativamente impermeable, con el fin de proteger el agua freática subyacente de derrames accidentales de líquidos PCB. Si los suelos naturales no pueden brindar esta protección, deberá instalarse una barrera impermeable sobre toda el área de operación, tal como capas de plástico grueso y geotextil cubiertas con tierra y luego con gravilla.
- Proximidad a los desechos
- De ser posible, la instalación móvil de destrucción de PCBs debe estar situada muy cerca de los desechos PCB con el fin de minimizar los riesgos de transporte.
- Servicios y acceso al sitio
- El lugar debe contar con servicios tales como energía eléctrica, combustible, agua, seguridad, sistema de eliminación de líquidos y espacio para las instalaciones y almacenamiento de PCBs. El sitio debe contar además con un adecuado acceso por carretera (con suficiente distancia para la operación de cargue) para equipo pesado y equipo de respuesta de emergencia.
- Topografía y tamaño
- Los incineradores móviles pueden ser contenidos en 3-8 tractomulas, más equipo adicional como oficinas móviles, un laboratorio, almacenamiento de desechos PCB y almacenamiento de desechos procesados. Todos estos elementos deben ser dispuestos sobre el terreno siguiendo un patrón lógico que brinde eficiencia y seguridad. El lugar debe ser relativamente plano y el suelo debe tener una adecuada capacidad de soportar carga.

### 13.12.2.Requisitos de desempeño

Por lo general, los incineradores de desechos peligrosos se encuentran sometidos a una larga lista de requisitos de desempeño. Muchos de estos requisitos se relacionan con requerimientos iniciales de permiso o licencia, por medio de los cuales el propietario del incinerador debe entregar datos de pruebas demostrativas que comprueben que el incinerador satisface los requisitos de desempeño. Al comienzo de cada proyecto de incineración, el incinerador debe ser probado nuevamente para verificar que en ese sitio aun puede satisfacer los estándares de rendimiento que se exigen en el sitio.

Los requisitos claves de desempeño son los siguientes:

- Emisiones atmosféricas
  - PCBs emitidos por la chimenea, a un máximo de 1 mg/kg de PCBs puros alimentados al incinerador (es decir, 99.9999% de Eficiencia de Destrucción y Remoción)
  - Eficiencia de combustión de mínimo 99.9%
  - Monóxido de carbono emitido a un máximo de 100ppm, medición instantánea y un máximo de 50ppm 4 hr, de promedio de rotación
  - Emisión de material particulado, a un máximo de 50 mg por metro cúbico normal
  - Hidrocarburos totales emitidos a un máximo de 100ppm, medición instantánea

- Acido clorhídrico emitido, a un máximo de 75 mg por metro cúbico normal y una remoción mínima del 90%
  - Emisión de mercurio a un máximo de 130 por metro cúbico normal
  - PPCDDs y PCDFs 2,3,7,8-sustituídos emitidos, a un máximo de 0.5ng ---- por metro cúbico normal, cuando es determinado de acuerdo con el TEQ
  - Las concentraciones de materia en partículas, cloruro de hidrógeno y PCDDs y PCDFs a que se hace referencia arriba están corregidas a un 11% sobre una base seca.
- Efluentes líquidos
    - Descargas a aguas superficiales a un máximo de 1 ppt PCB, y un total de 0.6 ng/L PCDDs + PCDFs, según se determine por el TEQ.
    - Descargas a alcantarillados sanitarios a un máximo de 5 ppb PCB
  - Descargas de desechos sólidos
    - Descargas de desechos sólidos a un máximo de 0.5 ppm PCB, 1 ppb PCDDs +PCDFs, según se determine por el TEQ
    - Pruebas de lixiviación de metales pesados para desechos sólidos
  - Cámara de combustión secundaria
    - 1200 grados Celsius con un mínimo de 3% de oxígeno y tiempo de residencia del gas de 2 segundos
    - Monóxido de carbono a un mínimo de 57 mg/metro cúbico normal
  - Apagado automático
    - Del ingreso de desechos en caso de que cualquier parámetro caiga por fuera de los límites predeterminados

Nota: Para la cuantificación de PCDDs/PCDFs, utilizando la Equivalencia de Toxicidad (TEQ), remitirse a la Sección 10.10.2.1.

### 13.12.3.Otros requisitos

Existen muchos otros requisitos para proyectos de incineración de desechos peligrosos que no se relacionan directamente con las emisiones, entre los que se incluyen los siguientes:

- Programas de capacitación de operarios
- Programas de capacitación en salud y seguridad y de vigilancia médica
- Cuantificación, control de inventario y seguimiento, caracterización química (v.g., PCBs, metales pesados, otras concentraciones de sustancias químicas peligrosas) y almacenamiento apropiado de desechos
- Procedimientos escritos de encendido y apagado, que incluyan verificaciones de sistemas de monitoreo y verificaciones de sistemas operantes
- Preparación cuidadosa de materiales de desecho de PCBs para evitar emisiones fugitivas
- Buena ventilación en áreas cerradas y “screening” de aire si se necesita
- Afianzamiento, seguros de responsabilidad civil y penal y otros requisitos administrativos

## 14. PLAN DE RESPUESTA A EMERGENCIAS Y PROCEDIMIENTOS RESUMEN

- **Las características claves** de los Planes de Respuesta a Emergencias son las siguientes:
  - identificación de operaciones y actividades normales
  - identificación de los riesgos asociados con estas operaciones
  - descripciones de respuestas apropiadas para cada tipo de (p.e., derrames, incendios, etc.)
  - inventario y localización de equipo de respuesta a emergencias, incluyendo el PPE, las estaciones para lavado de ojos, primeros auxilios, etc.
  - organigramas que indiquen quienes son responsables para cada tipo o grupo de emergencias.  
Plan de Comunicaciones (incluyendo el sistema de alarma) para cada tipo de emergencia, indicando las personas que deben ser notificadas de la emergencia.
  - Plana de Entrenamiento para los que deben participar.
- Las siguientes son las principales características de **los procedimientos de Respuesta y Limpieza**:
  - **En caso de derrame**, tratar inmediatamente de detener la fuente del derrame si es posible, poner en marcha el Plan de Comunicaciones, evaluar las necesidades para el control del derrame y evitar que el derrame se extienda. Después de todo esto, se puede dar inicio a las operaciones de limpieza. Estas incluyen el bombeo de líquidos, el uso de absorbentes para recoger los líquidos remanentes y remover o limpiar las superficies subyacentes.
  - **En caso de incendio**, se debe tener cuidado adicional debido a la potencial producción de dioxinas y furanos bastante tóxicos cuando se incineran PCBs a ciertas temperaturas. Los incendios de PCBs se deben combatir igual que los de petróleo y se deben extinguir empleando químico seco, inundación con nitrógeno o extintores con bióxido de carbono. La persona que primero detecte el fuego, de inmediato debe poner en marcha el Plan de Comunicaciones. Para combatir un incendio de PCBs se debe utilizar el PPE de más alto nivel (o sea el Nivel A). Debido a la producción de dioxinas y furanos, la limpieza de estos incendios puede ser costosa y demorada. Por lo regular se necesitan equipos y habilidades especiales para dirigir y ejecutar tal limpieza.

### 14.1. Características claves de los Planes de Respuesta a Emergencias

Las secciones anteriores se ocuparon de los planes de respuesta de emergencia para las actividades de almacenamiento y transporte de PCBs. Esta sección se centra en los planes de respuesta a emergencia para proyectos grandes de tratamiento y destrucción de PCBs.

Los tipos de emergencias que pueden presentarse en un proyecto como el que nos ocupa incluyen las siguientes:

- Incendios o explosiones en el sitio
- Derrames en el sitio
- Fallas en el funcionamiento de las unidades de tratamiento o destrucción

- Ingreso ilegal
- Lesiones a personas

Estas emergencias no se excluyen mutuamente, de modo que podrían ocurrir dos o más situaciones simultáneamente.

La persona clave en un plan de respuesta de emergencia es el Coordinador de Respuesta de Emergencia (CRE). Generalmente, este papel lo desempeña el Funcionario de Salud y Seguridad o el Operario Principal del contratista de incineración que se encuentre de turno.

Otra persona clave es el ingeniero representante de la compañía dueña del proyecto o el interventor que se encuentre en el sitio para monitorear las actividades del contratista, incluyendo el monitoreo de la efectividad de las prácticas de respuesta de emergencia y de cualquier situación real.

Los componentes claves de un sistema de respuesta de emergencia para derrames e incendios son los siguientes:

- Plan de Comunicaciones que detalle en un diagrama de flujo a quién debe notificarse de la situación de emergencia y por parte de quién. Un listado de los teléfonos de estas personas y de las autoridades que deban enterarse: autoridades ambientales, bomberos, hospitales, defensa civil, entre otras. Véase un ejemplo en la figura 14-1.
- Plan de verificación de emergencia, por medio del cual se informa en primer lugar al CRE y, de ser posible, se evalúa en forma inmediata el tipo y la gravedad de la emergencia.
- Plan de Acción de Respuesta de Emergencia, el cual suministra detalles acerca del papel de cada persona en el sitio. Por ejemplo, en caso de un incendio, será necesario que la mayoría de las personas evacúe el sitio a través de la puerta principal, donde se llamará a lista con el fin de verificar su partida. Otros miembros del personal se asignarán a la implementación del Plan de Comunicaciones y a acciones con el propósito de controlar o remediar la situación de emergencia.
- Sistema de alarmas en el sitio, el cual incluye alarmas tanto visuales (v.g., luces intermitentes rojas) como sonoras (v.g., sirenas).
- Capacitación en respuesta de emergencia para todos los empleados. Se suministran cursos breves de capacitación para aquellos cuyo único papel es evacuar el sitio durante una emergencia y capacitación específica en manejo de incendios y limpieza de derrames para aquellos involucrados directamente en la toma de acciones de respuesta.
- Inventarios de equipos de Respuesta a Emergencias que deben incluir equipos de protección personal adicionales para manejo de incendios, extintores de fuego apropiados, materiales absorbentes, palas, escobas, tambores adicionales y tambores de sobre-embalaje, bombas, disolventes, trapos para limpieza, diques portátiles y tapones para obturación de drenajes.

Los componentes claves de un plan de respuesta a emergencias en lo que se refiere a lesiones a personas deben incluir:

- Capacitación en primeros auxilios para al menos dos miembros del personal

- Botiquines de primeros auxilios localizados en sitios estratégicos
- Estación para lavado ocular de emergencia
- Estación para ducha de emergencia

#### **14.2. Respuesta y limpieza de derrames de PCBs**

Los procedimientos de respuesta y limpieza descritos en esta sección son de naturaleza general y se aplican tanto a líquidos como a sólidos.

- Respuesta a derrames
  - De ser posible, deténgase inmediatamente la fuente del derrame (v.g., ciérrase una válvula), pero si no es posible de inmediato, procédase directamente al siguiente paso.
  - Notifíquese al CRE, quien verificará la severidad de la situación e implementará el Plan de Comunicaciones en forma parcial o total.
  - Evalúense los requerimientos de control de derrames (v.g., los equipos y materiales PPE necesarios para detener o controlar la expansión del derrame).
  - Límitese la expansión del derrame mediante el uso de diques y tapones de drenaje.
- Limpieza de derrames
  - Si el líquido se ha acumulado en un sumidero u otro punto bajo, puede depositarse en tambores mediante bombeo.
  - Los derrames de poco espesor se remueven mejor esparciendo primero materiales absorbentes sobre el derrame para formar un semisólido, el cual puede ser depositado en tambores con pala.
  - Una vez hayan sido removidos los líquidos residuales del lugar del derrame, los materiales subyacentes requerirán limpieza.
  - Las superficies que no absorben PCBs, tales como metales, cerámica o concreto cubierto de material epóxico pueden ser descontaminadas con solventes tales como fuel oil o queroseno. Se deben tomar muestras de las superficies descontaminadas (como se presentó en la Sección 10.5) para establecer si se ha alcanzado el nivel apropiado de descontaminación.
  - Se deben tomar muestras mediante sondeo de superficies que sí absorben líquidos, tales como concreto expuesto, asfalto o madera, con el fin de determinar la profundidad de la penetración del líquido. Frecuentemente, la única forma de eliminar permanentemente los PCBs es la remoción física de la capa contaminada y el manejo del material retirado como desecho PCB. Alternativamente, puede cubrirse la superficie con una pintura epóxica para impedir el contacto humano, pero esto no debe considerarse como una solución permanente. Se deben tomar muestras de las superficies limpiadas mediante sondeo, las cuales serán analizadas como se detalla en la Sección 10-5 para verificar la remoción de PCBs a concentraciones <50 ppm.
  - Todos los residuos y desechos que resulten de una operación de limpieza de PCBs, así como el PPAE, las herramientas y el equipo que han estado en

contacto con los PCBs se deben considerar contaminados con PCBs y, por consiguiente, se deben almacenar como desechos de PCBs o, de no ser así, se deben descontaminar.

### **14.3. Respuesta y limpieza de incendios de PCBs**

Aunque los PCBs se clasifican como líquidos no inflamables, se quemarán si se exponen a temperaturas lo suficientemente altas. En consecuencia, los PCBs deben almacenarse aislados de materiales inflamables tales como disolventes, combustibles, gases comprimidos, entre otros. Los incendios que involucran PCBs pueden producir grandes cantidades de humo y hollín negro y aceitoso. El hollín puede estar contaminado con dioxinas y furanos.

Los incendios de PCBs pueden apagarse con espuma química, químicos secos, flujo de nitrógeno o bióxido de carbono. No debe usarse agua en un incendio de PCBs, puesto que es poco beneficiosa para combatir incendios de aceite, y además el agua contaminada es difícil de contener en situaciones de emergencia y esparcirá la contaminación.

Se recomiendan los siguientes pasos para responder a un incendio PCB en el sitio:

- La persona que detecte el incendio no deberá intentar medidas inmediatas para apagar el fuego, sino notificar al CRE y activar las alarmas de incendio.
- El CRE implementará el Plan de Comunicaciones inmediatamente y en seguida se dirigirá al lugar del incendio.
- Al oír o ver la alarma, la mayoría de los trabajadores se dirigirá a la puerta de entrada principal para registrar sus nombres antes de abandonar el lugar. Los trabajadores evitarán en todo momento exponerse al humo del incendio PCB.
- Los trabajadores que tengan la capacidad y la responsabilidad de apagar incendios deberán tener acceso al equipo de protección personal requerido (trajes contra incendio, botas de caucho y aparatos de respiración autocontenidos) y a los extintores de incendios PCBs.

La limpieza de daños producidos por humo y otros contaminantes se hace de modo semejante al descrito más arriba para la limpieza de derrames. Sin embargo, existe el requisito adicional de investigar la presencia de dioxinas y furanos y de llevar a cabo la limpieza de esos contaminantes según los estrictos criterios que se exigen tanto para ellos como para los PCBs. Véanse los estándares de limpieza en la Sección 12.

## **15. ESTUDIOS DE CASOS**

Los siguientes estudios, tomados de la experiencia en Colombia, se presentan como ejemplos de solución de problemas relacionados con el manejo de PCBs. Las opciones de manejo presentadas se refieren a las secciones correspondientes del Manual.

## 15.1. Estudio de Caso #1

### Situación

Una compañía de electricidad colombiana grande tenía 557 transformadores y 587 tambores de fluido dieléctrico para transformadores almacenados en un taller de mantenimiento. Se examinó la totalidad de los transformadores y 25 tambores en busca de contenido de PCBs. Los resultados de las pruebas indicaron que 42 transformadores tenían concentraciones de PCBs >50 ppm y siete de los tambores tenían concentraciones de PCBs >50 ppm. La concentración de PCB más alta que se encontró fue de 294 ppm.

¿Qué opciones tiene esta compañía para manejar su inventario de PCBs?

### Opciones de manejo

#### **Transformadores:**

- Puesto que la concentración más alta de PCBs es de sólo 294 ppm, la empresa de servicios públicos solamente tiene que manejar un inventario de transformadores minerales y tambores de aceite mineral contaminado. No obstante, la empresa de servicios públicos debería tratar de encontrar la fuente de los PCBs, que es posiblemente uno o varios transformadores Askarel en algún lugar de su inventario, o es posible que dicha empresa haya comprado aceite mineral contaminado, o que éste haya sido utilizado por algún contratista externo de mantenimiento. (Ref. S. 6.1, 6.3).
- Puesto que la dilución de líquidos de PCB de >50 ppm no se acepta como solución, la empresa de servicios públicos debe mantener separados los líquidos >50 ppm de los líquidos de [50 ppm. Los líquidos de [50 ppm pueden ponerse en un tanque y los líquidos de >50 ppm pueden almacenarse en otro tanque.
- Los líquidos [50 ppm pueden destruirse en un horno de cemento o en una caldera de alto rendimiento, o ser desclorados químicamente a [2 ppm y luego reutilizados como líquidos sin PCBs. (Ref. S.13.3, 13.8.3).
- Los líquidos de >50 ppm pueden ser tratados mediante descloración química. (Ref. 13.3)
- Si los transformadores de aceite mineral de >50 ppm se encuentran en buenas condiciones de trabajo, pueden ser descontaminados para su reutilización mediante retrolenado con aceite mineral limpio. (Ref. S.13.2).
- Si los transformadores de aceite mineral de >50 ppm no se encuentran en buenas condiciones de trabajo, se les pueden drenar los líquidos completamente, con cuidado (almacenando los líquidos para su posterior descloración química) y luego los transformadores pueden ser descontaminados por retrolenado, usando aceite mineral limpio o llenarlos con solvente limpio durante 48 horas. Puede suponerse que los líquidos resultantes sean de [50 ppm, puesto que la concentración original de PCB era de solamente 294 ppm (o sea que era de <50 ppm) (Ref. S. 13.2.1.1., Figura 13-1).
- Es posible suponer que los materiales porosos (madera y papel) sean de <50 ppm, si el aceite mineral era de <200 ppm. Si el aceite mineral del transformador era de <200 ppm, entonces el material poroso debe probarse, a fin de determinar su concentración de PCBs. Si el resultado de la prueba del material poroso es de [50

ppm, se puede disponer de éste en un relleno sanitario seguro, o, preferiblemente, puede destruirse en un horno de cemento o en una caldera de alto rendimiento. Si el material poroso es de >50 ppm, se debe almacenar para su posterior destrucción mediante incineración aprobada a alta temperatura (Rwef. Figura 13-1).

- Los transformadores de aceite mineral de [50 ppm pueden regresar al servicio como transformadores no contaminados con PCBs o pueden ser drenados (destruyendo los líquidos en un horno de cemento o en una caldera de alto rendimiento, o bien pueden ser desclorados químicamente) y enviados a los recicladores de metales para recuperación del metal por fundición.

### **Tambores:**

- El propietario debe probar el resto de los tambores de líquido en existencia, a fin de determinar la concentración de PCB en todos los líquidos.
- Puesto que la dilución de líquidos de >50 ppm con líquidos de [50 ppm no se acepta como solución, la empresa de servicios públicos debe mantener separadas estas dos categorías de líquidos.
- Los líquidos de [50 ppm se pueden destruir en un horno de cemento o en una caldera de alto rendimiento o ser desclorados químicamente hasta [2 ppm y luego ser reutilizados, como líquidos sin PCBs. (Ref. S.13.3, 13.8.3).
- Los líquidos de >50 ppm deben ser químicamente desclorados, hasta [2 ppm. Estos líquidos pueden ser reutilizados como líquidos sin PCBs. (Ref. S.13.3).

## **15.2. Estudio de Caso #2**

Una compañía de electricidad colombiana grande tiene 30.000 transformadores tipo tope de postes de aceite mineral. La compañía está consciente de que, con el fin de cumplir con la Estrategia de Eliminación de PCBs del gobierno colombiano, debe empezar a elaborar un inventario de estos transformadores y evaluar cuáles están contaminados con PCBs (>50ppm).

Por lo tanto, debido al tamaño del inventario y los costos potenciales por la preparación del inventario, la compañía quiere asegurarse de invertir el dinero de forma sensata y de que los datos recopilados en los inventarios le suministren la información requerida para tomar decisiones correctas en materia del manejo para la posible descontaminación y disposición de este equipo.

### **Opciones de manejo**

Cuando se trata de manejar grandes inventarios de equipos con PCBs, se puede incurrir en costos significativos, de forma tal que la planeación del programa de inventarios es fundamental. Hay varios pasos que se describen a continuación, que de forma progresiva suministran más y más información para que la gerencia de la compañía pueda obtener la información requerida con base en la cual tomar decisiones en materia del manejo y planear futuras acciones (Ref. S.10.1).

- El paso inicial más importante, especialmente al tratarse de un inventario de este tamaño, es la preparación de un Plan de Muestreo y Análisis (Ref. S.10.1). El plan también debe considerar las metas y los objetivos finales (es decir, la eliminación de



los PCBs), de forma que los datos producidos cumplan con todos los requisitos futuros.

- Debido a que los transformadores de aceite mineral se contaminan principalmente durante las actividades de mantenimiento (Ref. S.6.3), no existe otra manera de identificar cuáles transformadores de aceite mineral están contaminados con PCBs, que mediante el muestreo de todos los transformadores de aceite mineral.
- La compañía también debe revisar sus actividades de mantenimiento a fin de cambiar cualquiera de ellas que puede estar esparciendo una fuente identificable de PCBs, por ejemplo un transformador de Askarel, aceite de mantenimiento y/o equipo contaminado, un contratista de mantenimiento externo, etc.
- Con un inventario grande transformadores de aceite mineral que se debe evaluar, la compañía debe usar los programas y métodos de muestreo que hacen un uso eficiente de los recursos humanos y económicos disponibles. El combinar el muestreo con otras actividades de mantenimiento es uno de dichos métodos y el uso de kits de prueba y el muestreo compuesto es otro.
- Los kits de prueba, como el Dexsil “Chlor-in-Oil”, tiene un costo aproximado de US\$20.00 al adquirirse en Colombia (Ref. Anexo E) y suministrará el análisis para sólo una muestra. No obstante, debido a que los límites de detección son de 20, 50, 100 o 500ppm, no son útiles para el análisis de muestras compuestas, que requieren límites de detección menores.
- Para el análisis de muestras compuestas, la compañía tendrá que enviar la muestra a un laboratorio para el análisis cuantitativo (por ejemplo, GCMS o las alternativas Ref. T 10-3), o adquirir un kit de prueba más sofisticado, como el L2000 (fabricado por Dexsil), con un electrodo selectivo de iones (método 8079 de la EPA de Estados Unidos), a un costo de cerca de US\$3.500, más embarque y cualquier impuesto. El L2000 es un kit mitad instrumento, mitad producto de consumo. Hasta diez muestras (de diez transformadores) se pueden mezclar. En comparación con el análisis de laboratorio mediante GCMS u otro método cuantitativo sofisticado, que puede tener un costo hasta de US\$250 por muestra. Este método consistente en utilizar el L2000 puede reducir los costos de análisis aproximadamente en US\$10 por muestra en productos de consumo más mano de obra.
- Al utilizar kits de prueba, siempre envíe duplicados del 10% de las muestras a un laboratorio confiable para el análisis de verificación, mediante un método cuantitativo reconocido.
- Los resultados de los kits de prueba (asegúrese de seguir las instrucciones del kit al interpretar los resultados, Ref. S 10.6.2) le permitirá a la compañía identificar aquellos transformadores que posiblemente son >50ppm y planear los cambios a las operaciones de mantenimiento, de forma tal que la contaminación no se esparza más. (Los instrumentos como el L2000 proporcionan un resultado cuantitativo). Los kits actuales de pruebas de inmuno-ensayos, aunque son aceptables, requieren mucho esfuerzo para el análisis de aceite.
- Posteriormente, la compañía debe volver a muestrear los transformadores que se indicó tenían más de 50ppm y hacer que las muestras se analicen mediante un método de laboratorio cuantitativo reconocido.
- El saber la concentración real de PCBs en el aceite le ayudará a la compañía a planear sus programas de descontaminación de transformadores de aceite mineral de la forma más costo-eficiente posible.

## 16. REFERENCIAS

ASTM (1991). Standard Practice for Sampling and Analysis of Pesticides and PCB in Indoor in Urban Air Using Three Solid Adsorbents." Atmospheric Environment 17: 383-391.

Billings, W. N. and T. F. Bidleman (1983). "High Volume Collection of Chlorinated Hydrocarbons of PCB Waste. Ottawa, Analytical Services Division, Environmental Technology Centre, Environment Canada.

CCME, 1994. Subsurface Assessment Handbook for Contaminated Sites. Canadian Council of Ministers of Environment (CCME) EPC-NCSR-48E. Prepared by the University of Waterloo, Centre for Ground Water Research.

Coulson, F. and A. C. Koibye (Ed.). 1994. Interpretative review of the potential adverse effects of chlorinated organic chemicals on human health and the environment. Report of an expert panel. Chapter 5: Polychlorinated biphenyls . Regulatory Toxicology and Pharmacology 20(1): 187-307

Dann, T. (1998). Ambient Air Measurements of PAH, PCDD and PCDF in Canada (1987-1997). Ottawa, Analysis and Air Quality Division, Environment Canada.

Doskey, P. V. and A. W. Andren (1979). "High Volume Sampling of Airborne PCB with Amberlite XAD-2 Resin." Analytica Chimica Acta 110: 129-137.

EC (1992). Reference Method for the Determination of Polychlorinated Dibenzo-p-dioxins (PCDDs) and Polychlorinated Dibenzofurans (PCDFs) in Pulp and Paper Mill effluents. Ottawa, ON, Environment Canada, Environmental Technology Centre.

EC (1989). A Method for the Analysis of Polychlorinated Dibenzo-para-Dioxins (PCDD), Polychlorinated Dibenzofurans and Polychlorinated Biphenyls (PCB) in Samples from the Incineration Atmospheres ANSI/ASTM D4861-91. Philadelphia, PA, American Society for Testing and Materials.

Eitzer, B. D. and R. A. Hites (1989). "PCDD/DF in the Ambient Atmosphere of Bloomington, IN." Environmental Science & Technology 23(11): 1389-1395.

Erickson, M. D. (1997). Analytical Chemistry of PCBs, 2nd edition. Boca Raton, Lewis publishers.

Fiedler, H., 1998. PCB Uses and Environmental Releases. Subregional Awareness Raising Workshop on POPs, Cartagena, Colombia, January 27-30,1998.

Hillery, B. M., M. F. Simcik, et al. (1998). "Atmospheric Deposition of Toxic Pollutants to the Great Lakes as Measured by the Integrated Atmospheric Deposition Network." Environmental Science & Technology 32(15): 2216-2221.

Hoff, R. M., D. C. G. Muir, et al. (1992). "Annual cycle of polychlorinated biphenyls and organohalogen pesticides in air in southern Ontario.1. air concentration data." Environmental Science & Technology 26(2): 266-275.

Husaiain, A and R. Mowat, 1991. Inventory of PCBs in Pole Top Transformers. Ontario Hydro Research Division.

Keith, L. H. (1988). Principles of Environmental Sampling. Washington D.C., American Chemical Society.

Koestner, C. J. and R. A. Hites (1992). "Wet and Dry Deposition of Chlorinated Dioxins and Furans." Environmental Science & Technology 26(7): 1375-1382.

Lee, W.-J., S. J. L. Lewis, et al. (1996). "Polychlorinated Biphenyls in the Ambient Air of Petroleum Refinery, Urban and Rural Areas." Atmospheric Environment 30(13): 2371-2378.

Markell, C. D., D. F. Hagen, et al. (1991). "New Technologies in Solid-Phase Extraction." LC-GC 9(5): 332-337.

McLachlan, M. S. and M. Horstman (1998). "Forests as Filters of Airborne Organic Pollutants: A Model." Environmental Science & Technology 32(3): 413-420.

Mills, W. J. (1998). EVALUATION OF ATMOSPHERIC PCB AND PCDD/DF CONCENTRATIONS IN THE VICINITY OF A PCB INCINERATION PROJECT. Environmental & Occupational Health Sciences Division. Chicago, School of Public Health, University of Illinois at Chicago.

MOE (1990). The Determination of PCB's and Organochlorines in Ambient Air by GC-ECD. Toronto, ON, Laboratory Services Branch.

Mukerjee, S., M. C. Somerville, et al. (1996). "Integrated Assessment of Reduced Emission Impacts From a Biomedical Waste Incinerator. Atmospheric Characterization and Modelling Applications on Particulate Matter and Acid Gases." Environmental Science & Technology 30(5): 1680-1686.

Myers, D., Kelly, J., 1991. Why Not Retrofill PCB Transformers? Presented at the Fifty-Eighth Annual International Conference of Doble Clients.

NIOSH (1995). Polychlorinated Biphenyls in Air, Analytical Method 5503. NIOSH Manual of Analytical Methods. Cincinnati, OH, US Department of Health, Education and Welfare. 1.

Ott, W. R. and J. W. Roberts (1998). Everyday exposure to toxic pollutants`. Scientific American: 86-91.

Singer, E., T. Jarv, et al. (1983). Survey of Polychlorinated Biphenyls in Ambient Air Across the Province of Ontario. Physical Behaviour of PCBs in the Great Lakes. D. Mackay, S. Paterson, S. J. Eisenreich and M. S. Simmons. Ann Arbor, MI, Ann Arbor Science: 367-383.

Vogel, A.I. (1964) A Textbook of Practical Organic Chemistry including Qualitative Organic Analysis, Longman's, London.

U.S.EPA (1986). Test Methods for Evaluating Solid Wastes-Physical/Chemical Methods, SW-846. Washington D.C., Office of Solid Waste and Emergency Response.

Wania, F., J.-E. Haugen, et al. (1998). "Temperature Dependence of Atmospheric Concentrations of Semivolatile Organic Compounds." Environmental Science & Technology 32(8): 1013-1021.

World Health Organization (WHO), 1973. Environmental Health Criteria 140: Polychlorinated Biphenyls and Terphenyls. World Health Organization, Geneva. 682 pp. (Criterio 140 de Salud Ambiental: Bifenilos Policlorados y Terfenilos).

**ANEXO A**

**FORMATO NACIONAL PARA EL REPORTE DE PCBs  
(BORRADOR A SER DISCUTIDO)**

## ANEXO A

Para cada equipo o recipiente que contenga líquidos o elementos contaminados con PCBs, se deberá presentar la siguiente información:

### *Transformadores, condensadores, otro equipo*

- 1.1. Tipo de equipo \_\_\_\_\_ 1.2. Nombre del fabricante \_\_\_\_\_  
 1.3. País de fabricación \_\_\_\_\_ 1.4. Fecha de fabricación \_\_\_\_\_  
 1.5. Modelo \_\_\_\_\_ 1.6. Número de serie \_\_\_\_\_  
 1.7. KVA y voltaje \_\_\_\_\_ 1.8. Peso total (Kg) \_\_\_\_\_  
 1.9. Nombre del líquido \_\_\_\_\_ 1.10 Volumen (litros) \_\_\_\_\_  
 1.11. Concentración de PCBs (ppm) \_\_\_\_\_ 1.12. Tipo de análisis \_\_\_\_\_  
 1.13. Fecha de instalación \_\_\_\_\_ 1.14. Localización \_\_\_\_\_  
 1.15. Se ha drenado el equipo? \_\_\_\_\_  
 1.16. Si la anterior respuesta es afirmativa, quién lo realizó? Fecha en que se realizó?

<b>Cuadro 1.</b>			
Transformadores con Askarel	número	peso total (Kg)	volumen total de los líquidos (litros)
Condensadores	número	peso total (Kg)	
Transformadores con aceite mineral contaminado	número	peso total (Kg)	volumen total de los líquidos (litros)
Otros equipos con PCBs	número	peso total (Kg)	volumen total de los líquidos (litros)

### **Información sobre el propietario:**

Nombre de la compañía: \_\_\_\_\_

Representante legal: \_\_\_\_\_

Sector: Eléctrico, Industrial, Comercial, Hidrocarburos / Petroquímico, Minero, Residencial,

Servicios Estatales, otro (especificar): \_\_\_\_\_

Dirección: \_\_\_\_\_

Teléfono: \_\_\_\_\_

Fax: \_\_\_\_\_

Ciudad: \_\_\_\_\_

Nombre de la persona que diligenció el formato: \_\_\_\_\_

Cargo en la entidad: \_\_\_\_\_

Lugar y Fecha: \_\_\_\_\_

Para PCBs almacenados (fuera de uso), se deberá presentar la siguiente información:

***Transformadores, condensadores, otro equipo***

2.1. Tipo de equipo \_\_\_\_\_ 2.2. Nombre del fabricante \_\_\_\_\_

2.3. País de fabricación \_\_\_\_\_ 2.4. Fecha de fabricación \_\_\_\_\_

2.5. Modelo \_\_\_\_\_ 2.6. Número de serie \_\_\_\_\_

2.7. KVA y voltaje \_\_\_\_\_ 2.8. Peso total (Kg) \_\_\_\_\_

2.9. Nombre del líquido \_\_\_\_\_ 2.10 Volumen (litros) \_\_\_\_\_

2.11. Concentración PCBs(ppm) \_\_\_\_\_ 2.12. Tipo de análisis<sup>2</sup> \_\_\_\_\_

2.13. Fecha de instalación \_\_\_\_\_ 2.14. Ubicación \_\_\_\_\_

2.15. Se ha drenado el equipo? Se ha tratado o dispuesto el líquido? \_\_\_\_\_

2.16. Si la anterior respuesta es afirmativa, quién lo realizó? \_\_\_\_\_ Fecha en que se realizó:

\_\_\_\_\_

***Transformadores, condensadores, otro equipo***

2.17. Tipo de líquido (Askarel, aceite mineral contaminado, otro) \_\_\_\_\_

2.18. Número de recipientes \_\_\_\_\_

2.19. Tipo de recipiente (caneca, tambor, material) \_\_\_\_\_

2.20. Número de serie \_\_\_\_\_

2.21. Volumen (litros) \_\_\_\_\_ 2.22. Peso total (Kg) \_\_\_\_\_

2.23. Concentración PCBs (ppm) \_\_\_\_\_ 2.24. Tipo de análisis \_\_\_\_\_

---

<sup>2</sup> Adjuntar informe de laboratorio con el análisis y los resultados del muestreo

<b>Cuadro 2. PCBs almacenados (resumen)</b>			
Transformadores con Askarel	número	peso total (Kg)	volumen total de los líquidos (litros)
Condensadores grandes	número	peso total (Kg)	
Recipientes con condensadores pequeños	número	peso total (Kg)	
Transformadores con aceite mineral contaminado	número	peso total (Kg)	volumen total de los líquidos (litros)
Recipientes con Askarel	número	peso total (Kg)	volumen total de Askarel (litros)
Recipientes con aceite mineral contaminado	número	peso total (Kg)	volumen total de aceite contaminado (litros)
Otros equipos como compresores contaminados con PCBs	número	peso total (Kg)	volumen total de los líquidos (litros)

**Información sobre el propietario:**

Nombre de la compañía: \_\_\_\_\_

Representante legal: \_\_\_\_\_

Sector: Eléctrico, Industrial, Comercial, Hidrocarburos, Minero, Residencial, otro (especificar):

Dirección: \_\_\_\_\_

Teléfono: \_\_\_\_\_

Fax: \_\_\_\_\_

Ciudad: \_\_\_\_\_

Nombre de la persona que diligenció el formato: \_\_\_\_\_

Cargo en la entidad: \_\_\_\_\_

Lugar y Fecha: \_\_\_\_\_



**ANEXO B**

**FORMATO DE MANIFIESTO  
(BORRADOR A SER DISCUTIDO)**

Para el transporte de equipos eléctricos y otros elementos o materiales contaminados con PCBs, el generador debe tramitar cinco (5) copias del siguiente formato:

***Información sobre el Generador (del embarque):***

*Nombre de la compañía:* \_\_\_\_\_

*Sector: Eléctrico, Industrial, Comercial, Hidrocarburos / Petroquímico, Minero, Residencial, Servicios Estatales, otro (especificar):* \_\_\_\_\_

*Dirección:* \_\_\_\_\_

*Teléfono:* \_\_\_\_\_

*Fax:* \_\_\_\_\_

*Ciudad:* \_\_\_\_\_

*Nombre de la persona que diligenció el formato:* \_\_\_\_\_

*Cargo en la entidad:* \_\_\_\_\_

*Lugar y Fecha:* \_\_\_\_\_

**FORMATO DE MANIFIESTO PARA EL TRANSPORTE DE PCBs**

*Para cada pieza de equipo o recipiente que contenga líquidos o materiales contaminados con PCBs, incluya la siguiente información:*

- 1.1 Tipo de equipo o recipiente<sup>2</sup> \_\_\_\_\_ 1.2 Nombre del fabricante<sup>3</sup> \_\_\_\_\_
- 1.3 País de fabricación<sup>2</sup> \_\_\_\_\_ 1.4 Fecha de fabricación<sup>2</sup> \_\_\_\_\_
- 1.5 Modelo<sup>2</sup> \_\_\_\_\_ 1.6 Número de serie<sup>2</sup> \_\_\_\_\_
- 1.7 KVA y voltaje<sup>2</sup> \_\_\_\_\_ 1.8 Peso total (Kg) \_\_\_\_\_
- 1.9 Si el equipo contiene líquidos, volumen (litros): \_\_\_\_\_
- 1.10 Nombre del líquido: \_\_\_\_\_
- 1.11 Si los recipientes contienen líquidos, número de serie del (los) recipiente(s) y volumen (litros): \_\_\_\_\_
- 1.12 Concentración de PCBs (ppm) para cada pieza de equipo o líquido en cada recipiente:  
\_\_\_\_\_
- 1.13 Tipo de análisis: \_\_\_\_\_
- 1.14 Lugar de origen del embarque (incluya municipio): \_\_\_\_\_
- 1.15 Nombre de la Corporación Autónoma Regional o DAMA: \_\_\_\_\_

*Información acerca del transportador, quien transportará el embarque a la persona designada por el originador para recibirlo:*

*Nombre de la compañía:*

*Dirección:*

*Teléfono:*

*Fax:*

*Ciudad:*

<sup>2</sup> Transformador, condensador, otros equipos no eléctricos, recipiente tipo tambor

<sup>3</sup> Para cada equipo que porte la información

<sup>4</sup> Adjuntar certificado del laboratorio

*La ruta de los artículos es: (principales puntos de referencia; incluya municipios y departamentos)*

*El transportador (nombre de la compañía) declara haber recibido el equipo y los recipientes enumerados por el originador en el formato tramitado por el originador en condición adecuada, sin fugas y empacado debidamente y marcado para transporte terrestre.*

*Nombre de la persona que diligenció el formato:*

*Cargo en la compañía:*

*Lugar y fecha:*

***Nota:*** *Una vez que el originador haya diligenciado el formato y se haya acusado recibo por parte del transportador, el originador debe enviar una copia a la autoridad ambiental de la jurisdicción en la cual se origina el embarque y se conservará el original para sus archivos. El transportador conservará las tres copias restantes para el trayecto.*

*Información sobre quien recibe - complete el mismo formato (quien recibe el embarque del originador mediante el transportador):*

*El recipiente (nombre de la compañía) declara haber recibido el equipo y los recipientes enumerados por el generador en el formato diligenciado por el generador, en condición adecuada, sin fugas y empacado debidamente y marcado para transporte terrestre.*

*Nombre de la persona que diligenció el formato:*

*Cargo en la compañía:*

*Lugar y fecha:*

***Nota:*** *Una vez que se haya recibido el embarque, el transportador hará que el recipiente diligencie su parte del formato y conservará una copia. El recipiente enviará la copia a la autoridad ambiental de la jurisdicción del sitio donde se recibe el embarque y conservará una copia.*

**ANEXO C**

**REGLAMENTACION EXISTENTE EN COLOMBIA PARA PCBs  
(POR DESARROLLARSE MÁS ADELANTE)**

**ANEXO D**  
**PROVEEDORES DE EQUIPOS Y SERVICIOS**

## ANEXO D PROVEEDORES DE EQUIPOS Y SERVICIOS

El siguiente es solo una muestra de compañías de servicios de PCB. La mayoría de estas empresas tienen página en internet y, por consiguiente, una gama mucho más amplia de servicios, a los que se puede tener acceso a través de la red. Además, la Oficina de Innovaciones Tecnológicas de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA), tiene una página relativa al tratamiento de residuos peligrosos, en [www.clu-in.org](http://www.clu-in.org).

### Kits de pruebas de campo para PCBs

<b>Cape Technologies Inc.</b> South Portland, Maine USA	Kits de pruebas inmunológicas <a href="http://www.cape-tech.com/">www.cape-tech.com/</a>
<b>Strategic Diagnostics Inc.</b> 128 Sandy Drive Newark, Del. 19713 USA	Kits de pruebas inmunológicas <a href="http://www.sdix.com">www.sdix.com</a> Tel: 215-860-5115 Fax: 215-860-5213
<b>Dexsil Corp.</b> One Hamden Park Dr. Hamden, CT, 06517 USA	Kits de prueba "Chlor-in-Oil" and "Chlor-in-Soil". Instrumento de prueba de 'screening' L2000 <a href="http://www.dexsil.com">www.dexsil.com</a> Tel: 203-288-3509 Fax: 203-248-6523
o	
<b>Control Técnico y Representaciones</b> Ave. Lincoln Pt. 3410, C.P. 64320 Monterrey, N.L.	Kits de Prueba Dexsil Tel: 52-837-16050 Fax: 52-837-32891
o	
<b>Panama Supply &amp; Service</b> Central Miami Galleries Oficina No. 6 El Dorado, Panama República de Panamá	Kits de Prueba Dexsil Tel: 50-723-69911 Fax: 50-723-64004

### SERVICIOS ANALÍTICOS DE LABORATORIO PARA PCBs

Nota: La siguiente fase de este proyecto de asistencia técnica incluirá entrenamiento, para laboratorios colombianos seleccionados, en materia de análisis de PCBs. Al concluirse este entrenamiento, aquellos laboratorios que hayan concluido con éxito los requisitos del curso se incluirán en una lista de laboratorios calificados.

### Tratamiento y descontaminación de PCBs

<b>Sanexen Environmental Services Inc.</b> 579 Le Breton St. Longueuil, Quebec J4G 1R9	Descloración móvil de aceite mineral contaminado y descontaminación móvil de transformadores desechados chatarra, condensadores, suelos Tel: 514-646-7878 Fax: 514-652-5857
<b>Les Recylages Larouche Inc.</b> Division of Cintec 2401 La Pierre St. La Salle, Quebec	Descontaminación móvil de transformadores de desecho y condensadores (autoclave) Tel: 514-364-6860 Fax: 514-365-2964
<b>SCC Environmental</b> 550-33 Alderney Dr. Dartmouth N.S. B2Y 2N4	Descontaminación móvil de suelos <a href="http://www.compusult.nf.ca/~pantle">www.compusult.nf.ca/~pantle</a> Tel: 902-461-9131 Fax: 902-461-0070
<b>PPM Canada Inc.</b> Division of Laidlaw Environmental 6 Chelsea Lane Brampton, Ontario L6T 3Y4	Descloración móvil de aceite mineral y transformadores contaminados Tel: 416-790-7227 Fax: 416-790-7231
<b>ENSR Operations</b> Division of REP 1700 Gateway Blvd. Canton, Ohio, 44707 USA	Descloración móvil de transformadores Askarel para reutilización y descloración de aceite mineral y transformadores Tel: 330-430-4463 Fax: 330-430-4486
<b>S.D. Myers</b> 180 South Avenue Tallmadge, Ohio 33278 USA	Descontaminación móvil de aceite mineral y transformadores contaminados Tel: 216-633-2666

Nota: La mayoría de estas empresas también pueden prestar servicios de evaluación/pruebas, etc.

### **Destrucción de PCBs**

<b>OH Materials</b> 200 Horizon Center Blvd. Trenton N.J. 08691 USA	Incineradores móviles para destrucción de todo tipo de materiales y equipos de PCB
<b>Eli Ecologic International</b> 143 Dennis St.	Cámaras móviles de reducción para todo tipo de materiales y equipos de PCBs



Rockwood, Ontario, N0B 2K0 Canada	
<b>Tredi Colombia Ltda.</b> A.A. 88837 Santa Fe de Bogotá, D.C.	Exportación de PCBs a incinerador estático en Francia Tel: 571-619-1350 Fax: 571-215-6077

Nota: La mayoría de estas empresas también pueden prestar servicios de evaluación/pruebas y otros servicios relativos a PCBs.