
Desarrollo de la Capacidad Nacional para la Gestión y Eliminación
Ambientalmente Adecuada de PCB en Colombia

Manual para la Gestión Integral de
Bifenilos Policlorados - PCB

No. 6. MANEJO AMBIENTALMENTE RACIONAL DE EQUIPOS Y DESECHOS CONTAMINADOS CON PCB

 MINAMBIENTE

 **TODOS POR UN
NUEVO PAÍS**
PAZ EQUIDAD EDUCACIÓN

 gef

 **PN
UD**
Al servicio
de las personas
y las naciones

 **COLOMBIA
LIBRE DE
PCB**

REPÚBLICA DE COLOMBIA

Juan Manuel Santos Calderón

Presidente

Gabriel Vallejo López

Ministro de Ambiente y Desarrollo Sostenible

Pablo Vieira Samper

Viceministro de Ambiente

Francisco José Gómez Montes

Dirección de Asuntos Ambientales, Sectorial y Urbana

Andrea López Arias

Coordinadora Grupo de Sustancias Químicas, Residuos Peligrosos y UTO

Con el apoyo de:

Fondo Mundial para el Medio Ambiente - GEF y

Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo - PNUD

EQUIPO DE TRABAJO

Coordinación

José Álvaro Rodríguez Castañeda - Coordinador

Nacional Proyecto PCB

Compilación de Textos para el Manual para la Gestión Integral de Bifenilos Policlorados - PCB.

Víctor Fernando Marulanda C. - Consultor Proyecto PCB

Fabián Mauricio Pinzón Rincón - Consultor Proyecto PCB

Carlos Eduardo Quattrini - Consultor Proyecto PCB

EQUIPO TÉCNICO

Claudia Patricia Neira Cuellar - Consultora Técnica PCB

Edwin Camelo Martínez - Consultor Técnico PCB

Jaime Eduardo Ramírez Henríquez - Consultor Técnico PCB

Corrección:

María Emilia Botero Arias

Minambiente - Subdirección de Educación y Participación

Diagramación:

Una Tinta Medios SAS

Manual para la Gestión Integral de Bifenilos Policlorados - PCB

No. 6. Manejo ambientalmente racional de equipos y desechos contaminados con PCB©

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015

© Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015

Todos los derechos reservados. Se autoriza la reproducción y divulgación de material contenido en este documento para fines educativos u otros fines no comerciales sin previa autorización del titular de los derechos de autor, siempre que se cite claramente la fuente. Se prohíbe la reproducción total o parcial de este documento para fines comerciales.

No comercializable - Distribución gratuita

PROYECTO COL 84851/71268

DESARROLLO DE LA CAPACIDAD NACIONAL PARA LA GESTIÓN Y ELIMINACIÓN

AMBIENTALMENTE ADECUADA DE PCB EN COLOMBIA. Proyecto del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible con el apoyo de GEF y PNUD

Catalogación en Publicación. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Grupo de Divulgación de Conocimiento y Cultura Ambiental

Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible

Manejo ambientalmente racional de equipos y desechos contaminados con PCB [recurso electrónico] / Comp.: Marulanda C., Víctor Fernando; Pinzón Rincón, Fabián Mauricio; Quattrini, Carlos Eduardo. --- Bogotá, D.C.: Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015.

p. 96 : ; -- (Manual para la Gestión Integral de Bifenilos Policlorados - PCB ; no. 6/)

Proyecto COL 84851-71268 Desarrollo de la capacidad nacional para la gestión y eliminación ambientalmente adecuada de PCB en Colombia

Proyecto del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible con el apoyo de GEF y PNUD.

ISBN OBRA COMPLETA: 978-958-8901-11-4

ISBN NÚMERO EN LA SERIE: 978-958-8901-17-6

1. Bifenilpoliclorados 2. Contaminantes orgánicos persistentes 3. Gestión ambiental 4. Residuos peligrosos 5. Seguridad industrial 6. Gestión del riesgo I. Tit. II. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible III. Serie

CDD: 628.5



Agradecimientos

Ing. Cristian Julián Díaz Álvarez – Director de Ingeniería Ambiental de la Universidad Central por sus valiosas orientaciones conceptuales y metodológicas para la elaboración de este documento.

Qca. Martha Cecilia Hoyos Calvete – Consultora Ambiental por sus importantes aportes en la revisión de los contenidos finales del documento.

A todas las autoridades y entidades ambientales, empresas relacionadas con el sector eléctrico y energético, así como todos los profesionales que contribuyeron con sus aportes para la estructuración y elaboración de este documento.



Contenido

Introducción 6

1. ALMACENAMIENTO SEGURO DE EQUIPOS Y DESECHOS CON PCB 8

1.1.	Consideraciones de ubicación	10
1.2.	Consideraciones de diseño	10
1.3.	Consideraciones relativas a los medios de contención para el almacenamiento	13
1.4.	Consideraciones para operaciones de almacenamiento	14
1.5.	Detección de fuego y sistemas de control o respuesta ante incendios	17
1.6.	Señalización de las áreas de almacenamiento de PCB	17
1.7.	Higiene personal y equipo de seguridad para almacenamiento	19
1.8.	Manejo de residuos en operaciones de almacenamiento	19

2. TRANSPORTE TERRESTRE DE EQUIPOS Y DESECHOS CONTAMINADOS CON PCB 20

2.1.	Marco legal	22
------	-------------	----

2.2.	Transporte terrestre de equipos y desechos contaminados con PCB	22
2.2.1.	Requisitos técnicos para el transporte terrestre	24
2.2.2.	Consideraciones para las operaciones de transporte	29
2.2.3.	Disposiciones especiales para el transporte de PCB	31
2.2.4.	Higiene personal y equipo de seguridad en operaciones de transporte	32
2.2.5.	Capacitación y entrenamiento	32
2.3.	Manejo de residuos en operaciones de transporte	32

3. PROCESOS DE DESCONTAMINACIÓN Y ELIMINACIÓN DE EQUIPOS Y DESECHOS CONTAMINADOS CON PCB 34

3.1.	Procesos de descontaminación de equipos con PCB	37
3.1.1.	Lavado de equipos contaminados	37
3.1.2.	Rellenado o retrofilling	40
3.1.3.	Calentamiento al vacío	41
3.2.	Procesos para la eliminación de PCB y desechos contaminados con PCB	43
3.2.1.	Tratamiento térmico	44

**No. 6. Manejo ambientalmente racional de equipos
y desechos contaminados con PCB**

3.2.2.	Tecnología de dechlorinación catalítica	45
3.2.3.	Tecnología de oxidación con agua supercrítica	47
3.2.4.	Otros procesos de tratamiento de desechos de PCB	50
3.3.	Descontaminación de suelos	50

5. Anexo 86

Acrónimos – Siglas 88

**4. GESTIÓN DE RIESGOS ASOCIADOS A PCB,
SALUD Y SEGURIDAD 54**

Referencias 89

4.1.	Generalidades	56
4.2.	Problemática de los PCB, dioxinas y furanos	59
4.3.	Efectos de los PCB en la salud	60
4.4.	Estudios a nivel ocupacional	61
4.5.	Recomendaciones para la vigilancia de salud	63
4.5.1.	Aspectos de vigilancia ocupacional	64
4.5.2.	Aspectos de vigilancia de salud pública	65
4.6.	Evaluación de riesgos	66
4.7.	Comunicación del riesgo	67
4.8.	Límites y referencias – niveles de exposición	68
4.9.	Entrenamiento	69
4.10.	Elementos de protección personal	71
4.11.	Contingencias – planes de emergencia	74
4.11.1.	Características de los planes de emergencia	75
4.11.2.	Respuesta y limpieza de derrames de PCB	76
4.11.3.	Primeros auxilios	77
4.12.	Marco legal de referencia	77
4.13.	Recomendaciones para actividades que pueden presentar riesgos en las que están relacionados los PCB	78



Introducción

En los contextos nacional e internacional existen diversos lineamientos relacionados con el almacenamiento y transporte seguro de sustancias químicas y residuos peligrosos que son aplicables a los PCB, los cuales brindan recomendaciones y consideraciones complementarias entre sí; por lo cual en los dos primeros capítulos, se recogen y compaginan dichos elementos para ponerlos a disposición de los usuarios del Manual, principalmente a partir de los siguientes documentos:

- ✓ Directrices técnicas para la gestión ambientalmente racional de los contaminantes orgánicos persistentes, elaboradas en el marco del Convenio de Basilea sobre el control de los movimientos transfronterizos de los desechos peligrosos y su eliminación (PNUMA, 2005).
- ✓ Documentos de trabajo PCB Minambiente, (CERI & ACIDI & MMA, 2001 y MAVDT, 2007)
- ✓ Guías ambientales de almacenamiento y transporte por carretera de sustancias químicas peligrosas y residuos peligrosos (CCS & MAVDT, 2003)
- ✓ Libro Naranja: recomendaciones relativas al transporte de mercancías peligrosas. Edición

N° 17 (UNECE, 2011a) el cual se encuentra disponible en enlace https://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/danger/publi/unrec/rev17/Spanish/Rev17_Volume1.pdf.

- ✓ Storage of Hazardous Materials: A Technical Guide for Safe Warehousing of Hazardous Materials. Technical Report N°3. (UNEP, 1990).
- ✓ Decretos 4741 de 2005 y 1609 de 2002
- ✓ Resolución 222 de 2011, expedida por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

Por otra parte, dada la importancia de dar un manejo ambientalmente racional a los PCB en el marco de la gestión integral de estas sustancias, en el tercer capítulo se presentan algunas de las alternativas actuales más comúnmente utilizadas para el tratamiento y descontaminación de equipos y desechos contaminados con PCB.

Finalmente, en el cuarto capítulo se presentan las consideraciones más relevantes en relación con la gestión de riesgos asociados al manejo de PCB, así como algunas recomendaciones básicas en materia de salud y seguridad.





1. ALMACENAMIENTO SEGURO DE EQUIPOS Y DESECHOS CON PCB



Contenido Numeral 2

1.1.	Consideraciones de ubicación	10	1.5.	Detección de fuego y sistemas de control o respuesta ante incendios	17
1.2.	Consideraciones de diseño	10	1.6.	Señalización de las áreas de almacenamiento de PCB	17
1.3.	Consideraciones relativas a los medios de contención para el almacenamiento	13	1.7.	Higiene personal y equipo de seguridad para almacenamiento	19
1.4.	Consideraciones para operaciones de almacenamiento	14	1.8.	Manejo de residuos en operaciones de almacenamiento	19

Las operaciones de almacenamiento y custodia de equipos y desechos con PCB exigen el cumplimiento de criterios técnicos para la ubicación, diseño de áreas de almacenamiento, medios de contención para el almacenamiento, operaciones de acopio, detección de fuego y sistemas de control o respuesta ante incendios, la señalización, higiene del personal y equipo de seguridad y, el manejo de los residuos. Por ello, a continuación se presentan una serie de consideraciones para adelantar este tipo de operaciones de manera segura y adecuada.

1.1. Consideraciones de ubicación

En relación con la ubicación de las áreas destinadas para almacenamiento de equipos o desechos con PCB, bien sea que se encuentren dentro de una instalación que cumpla múltiples propósitos o que sea de uso exclusivo para ello, se deben tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Ser compatible con el plan de ordenamiento territorial del municipio donde se lleve a cabo el almacenamiento y contar con el respectivo concepto favorable para el uso del suelo por parte de la autoridad competente.
- Encontrarse en terrenos no inundables y estables.
- Hallarse por lo menos a 100 metros de: i) zonas densamente pobladas o de tránsito frecuente de personas, ii) escuelas, viviendas, hospitales u otras instalaciones de salud pública; iii) tomas de aire de edificios, acueductos y fuentes de captación o almacenamiento de agua; iv) cuerpos de agua; v)

áreas de manipulación y almacenamiento de alimentos, medicamentos o forrajes; vi) áreas donde se lleven a cabo actividades agrícolas y; vii) otro tipo de zonas que se consideren vulnerables desde el punto de vista ambiental o de salud pública.

- Estar alejado de posibles fuentes externas de peligro ya identificadas, así como de zonas con movimiento frecuente de maquinaria pesada.
- Contar con facilidades de acceso para el transporte y atención de situaciones de emergencia.
- Tener disponibles los servicios públicos básicos (p.ej.: electricidad, agua potable, alcantarillado, entre otros).

1.2. Consideraciones de diseño

El diseño de áreas de almacenamiento de equipos o desechos con PCB, está condicionado por múltiples factores a tener en cuenta, a saber: (MAVDT & CCS, 2003)

- Contemplar criterios para la **separación efectiva de áreas**, o de aislamiento de las mismas, cuando el almacenamiento se realice en una instalación en la cual se acopien diversos tipos de elementos, sustancias o residuos¹. No obstante, el área destinada para los equipos o desechos con PCB debe ser exclusiva y aislada de las demás.
- Facilitar, mediante **espacio suficiente**, el movimiento y manejo seguro de los elementos con PCB tanto para las operaciones asociadas al almacenamiento como para eventuales emergencias.

¹ En estos casos es fundamental tener en cuenta la compatibilidad química de las sustancias.



◀ Área de almacenamiento de equipos y/o desechos contaminados con PCB

- c. Utilizar **materiales de construcción** no combustibles y estructuras en concreto armado o acero y cumplir con la normativa vigente en materia de construcción sismo-resistente.
- d. Si el área de almacenamiento cuenta con **zonas para labores de oficina**, estas deberán ubicarse alejadas del área de almacenamiento de elementos con PCB y contar con espacios adecuados para el tránsito seguro del personal.
- e. Los **muros cortafuego** deben ser construidos en material sólido y encontrarse 50 cm por encima del techo más alto o contar con otro mecanismo para impedir la propagación del fuego.
- f. Las **puertas** deberán asegurar las operaciones de almacenamiento seguro, contar con cerraduras u otros mecanismos similares y, facilitar la atención de emergencias y el confinamiento del fuego en caso de incendio.
- g. Para áreas de almacenamiento de más de 15.000 litros, se debe contar con **salidas de emergencia**² debidamente señalizadas diferentes a las del flujo normal de los elementos con PCB, cuya apertura resulte fácil a cualquier persona y en el sentido de la evacuación, sin necesidad de llaves u otros mecanismos que la impidan. Deben permitir la evacuación en la oscuridad o en presencia de humo y en lo posible hacia dos direcciones por lo menos.

Recuadro 1. Espesores mínimos para muros cortafuego

Los materiales más recomendados para los muros cortafuego son el concreto, los ladrillos y los bloques de cemento. El espesor mínimo de un muro cortafuego depende de su altura libre.

Altura libre del muro	Espesor mínimo (m)	
	Ladrillo macizo	Concreto macizo
Hasta 4,0 m	0,25	0,07
Más de 4,0 m	0,40	0,15

Los muros cortafuego deben ser independientes de la estructura para evitar el colapso de toda la edificación en caso de incendio. Cuando existen cañerías, ductos y cables eléctricos, estos se deben cubrir con materiales retardantes del fuego.

Elaboración a partir de información de Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente citado por MAVDT & CCS, 2003.

² De acuerdo con lo establecido en el literal “g” del artículo 24 de la Resolución 222 de 2011 expedido por el MADS

1. Almacenamiento seguro de
equipos y desechos con pcb

**No. 6. Manejo ambientalmente racional de equipos
y desechos contaminados con PCB**

- h. El **piso** donde se construya o ubique la instalación que aloja los contenedores de almacenamiento, deberá estar cubierto de asfalto, hormigón o láminas de material plástico resistente de mínimo unos 6 mm de espesor (PNUMA, 2005); de manera que soporte no solo la estructura física, sino también aspectos operacionales como el movimiento de vehículos, montacargas, grúas, entre otros.
- i. El **piso del área de almacenamiento** debe ser impermeable, resistente, liso más no resbaloso y sin imperfecciones o agrietamientos para facilitar su limpieza periódica. Se recomienda recubrir con resinas epóxicas cuando esté construido en materiales no impermeables como el hormigón (PNUMA, 2005). Adicionalmente, es menester que los pisos cuenten con una pequeña pendiente y diseño tal que permita que las aguas o líquidos de eventuales derrames lleguen a un sistema colector independiente; así mismo, se debe contar con una barrera perimetral de contención secundaria, para evitar su expansión fuera de la zona de almacenamiento.
- j. El **confinamiento o contención** de derrames se debe realizar mediante el diseño de diques o bordes perimetrales en la zona de almacenamiento, con capacidad para contener al menos el 125% del volumen total de desechos líquidos almacenados, teniendo en consideración el área ocupada por los equipos y contenedores almacenados (PNUMA, 2005). En los casos de almacenamientos temporales³, se podrá adecuar la contención de derrames utilizando bandejas o contenedores⁴. En el diseño también se deben considerar rampas para las zonas de las puertas, de manera tal que la rampa también actúe como dique o borde de contención, pero que a su vez facilite el tránsito del personal, elementos con PCB y vehículos.
- k. Los **sistemas de drenaje** internos deben ser exclusivos para colectar los líquidos contaminados con PCB y en ningún momento entrar en contacto con los drenajes de aguas lluvias o de alcantarillado y mucho menos con cuerpos de agua, el suelo y en general el ambiente. El sistema de drenaje interno debe ser diseñado para facilitar la recolección de los líquidos derramados en un pozo colector y su posterior retiro, con el fin de darles un manejo seguro. Por su parte, el sistema de drenaje externo para aguas lluvias, debe evitar que dichas aguas entren en contacto con los elementos contaminados con PCB.
- l. El diseño de los **techos** debe evitar por completo la entrada de aguas lluvias y facilitar la salida de humo y exceso de calor en caso de incendio. Los materiales para los techos y sus vigas no deben ser combustibles, pero se debe procurar que sus cubiertas se desintegren rápidamente para facilitar la salida de humo y calor. En los casos de bodegas cerradas se debe contar con paneles de ventilación⁵ en el techo de manera que permanezcan abiertos o se activen fácilmente ante la presencia de fuego.
- m. Se requiere de una adecuada **ventilación** preferiblemente natural, pero en los casos en que la ventilación natural sea deficiente, se deberán implementar mecanismos de ventilación forzada, de manera que se distribuyan ductos de ventilación tanto en la parte superior (techo y paredes) como inferior (paredes) de la bodega o lugar de almacenamiento, con el fin de garantizar un flujo suficiente de aire que se distribuya en todo el recinto. Se debe tener especial cuidado con el diseño de los sistemas de ventilación forzada cuando estos se requieran, de manera que se eviten cortocircuitos de aire y remolinos, que disminuyan la eficiencia en la ventilación o generen zonas de estancamiento de aire.
- n. Las **instalaciones auxiliares** tales como áreas de cambio de vestuario, instalaciones sanitarias, armarios para guardar los elementos

³ Se debe tener en cuenta que el almacenamiento en las instalaciones del generador de los desechos de PCB, no podrá superar los 12 meses, de acuerdo con lo establecido en el parágrafo 1 del artículo 10 del Decreto 4741 de 2005.

⁴ En muchos casos los contenedores utilizados durante el transporte, son también utilizados para almacenamientos temporales.

⁵ Se recomienda que los paneles de ventilación sean de por lo menos el 2% de abertura respecto al área del piso (CCS & MAVDT, 2003) o paneles en materiales de bajo punto de fusión en caso de incendio.

de protección personal o inclusive pequeñas oficinas, deben encontrarse preferiblemente fuera del área de almacenamiento⁶. También se debe contar con duchas de emergencia y lava-ojos, en áreas cercanas a las de almacenamiento de PCB; se recomienda 1 por cada 200 m² (MAVDT & CCS 2003).

1.3. Consideraciones relativas a los medios de contención para el almacenamiento

Teniendo en cuenta que los elementos contaminados con PCB a ser almacenados pueden ser de diferentes tipos, tales como: equipos en desuso, equipos desechados, sólidos y líquidos, a continuación se presentan algunas consideraciones en relación a la contención de los mismos para efectos de almacenamiento.

Tabla 1. Consideraciones asociadas a la contención para el almacenamiento de PCB

Categoría	Consideraciones
Generales	<p>Para todos los casos (líquidos, sólidos, equipos en desuso y desechados) se debe contar, además de la contención primaria recomendada para cada caso, con contención secundaria a través de bandejas de derrame, doble tambor o contenedor (cuando aplique) o mediante pisos impermeables con diques o bordes perimetrales, con capacidad de contener el 125% del volumen de los líquidos contenidos en los elementos allí alojados (PNUMA, 2005).</p> <p>Se debe recordar que estos medios de contención deben encontrarse en un área exclusiva para almacenamiento de PCB, siguiendo las recomendaciones presentadas anteriormente para ubicación y diseño.</p>
Líquidos con PCB	El almacenamiento de líquidos con PCB debe realizarse utilizando recipientes o tambores cerrados de acero con doble orificio y tapa no desmontable, de tal manera que se minimice el riesgo de contacto con las personas y el ambiente (UNEP, 2003).
Sólidos con PCB	Los desechos sólidos contaminados con PCB se deben almacenar en tambores, barriles o contenedores de acero con apertura en la parte superior o tapas desmontables (UNEP, 2003). Cuando la cantidad de estos desechos sólidos es considerable, tal como ocurre con suelos contaminados en gran volumen, pueden almacenarse a granel en contenedores de transporte, edificaciones o cámaras destinados exclusivamente para tal fin, siempre y cuando cumplan con los requisitos para su almacenamiento seguro (PNUMA, 2005).
Equipos desechados	Los equipos pequeños se deben almacenar en tambores, barriles o contenedores de acero con tapas ajustables, mientras que para los equipos más grandes, es común utilizar estos mismos elementos (los equipos) como contenedores primarios, sobre alguno de los medios de contención secundaria mencionados anteriormente. En caso de que se detecten fugas o deterioro de los equipos, se recomienda llenar parcialmente los medios de contención con material absorbente adecuado (DEHP, 2000).
Equipos en desuso	<p>Para almacenamientos temporales de equipos en desuso en zonas diferentes a las de almacenamiento de PCB a largo plazo, mientras se llevan a cabo por ejemplo actividades de mantenimiento o almacenamiento transitorio, éstos pueden ubicarse en bandejas de contención sobre pisos impermeables, en áreas debidamente delimitadas, con acceso restringido y la adecuada señalización.</p> <p>Se sugiere que todo equipo del cual se desconozca su concentración de PCB, sea tratado como con PCB y por consiguiente tomar todas las medidas de seguridad correspondientes hasta tanto se demuestre lo contrario⁷ (MVOTMA, 2013).</p>

⁶ En los casos en donde estas instalaciones auxiliares se encuentren dentro del área de almacenamiento, se debe contar con un sistema de aislamiento al fuego de por lo menos 60 minutos para proteger al personal.

⁷ Tomando como base el principio de precaución

1. Almacenamiento seguro de
equipos y desechos con pcb

No. 6. Manejo ambientalmente racional de equipos y desechos contaminados con PCB

1.4. Consideraciones para operaciones de almacenamiento

Se debe propender no solo por contar con óptimas condiciones iniciales de ubicación y diseño para las instalaciones de almacenamiento, sino que también porque en el día a día de la operación se mantengan parámetros mínimos que permitan adelantar una labor eficiente y segura en el manejo de elementos contaminados con PCB. Dentro de ellos se pueden considerar como mínimo aspectos relacionados con: documentación, marcado, recepción y despacho de elementos, planificación y criterios técnicos de almacenamiento, separación efectiva de áreas, transporte interno, entre otros.



◀ 1. Operaciones de transporte interno
de elementos

2. Sistemas de contención de derrames
para equipos almacenados

Tabla 2. Medidas de prevención asociadas a las operaciones de almacenamiento de PCB

Aspecto	Medidas de prevención
Documentación	<p>Se deben mantener instrucciones y procedimientos de tipo técnico - operativo para cada una de las actividades asociadas al manejo seguro de los elementos contaminados con PCB en idioma español disponibles en el área específica de trabajo, así como instrucciones y procedimientos de higiene, seguridad y ambiente, y de atención de emergencias.</p> <p>De la misma manera, se debe contar en el área de almacenamiento con hojas de seguridad de PCB en idioma español, de tal manera que se tomen las medidas necesarias para minimizar los riesgos asociados a la manipulación de elementos contaminados con estas sustancias y darles un manejo seguro.</p>
Marcado	<p>Si bien el marcado de PCB depende en gran medida del realizado en las operaciones de transporte, se deben tomar como base los criterios mínimos establecidos en el documento N° 4 <i>Marcado de equipos eléctricos que consisten, contienen o pueden contener PCB y desechos contaminados con PCB</i> del presente manual, así como lo establecido por la normativa ambiental vigente para efectos del <i>Inventario nacional de PCB</i>⁸.</p>
Recepción y despacho de elementos	<p>Al recibir los elementos con PCB, se debe inspeccionar que se hayan cumplido los requerimientos mínimos de marcado y transporte de los mismos (véanse los capítulos correspondientes del presente documento). En caso que dichos elementos no se encuentren acordes con las recomendaciones de este manual o incluso, si llegasen en mal estado, se deben tomar las acciones necesarias de manera inmediata para evitar accidentes, así como evidenciar lo sucedido en el registro de recepción. De igual manera se debe realizar la inspección correspondiente para el despacho o movimiento de elementos con PCB que saldrán de la instalación de almacenamiento.</p> <p>El recibo y despacho de los elementos con PCB debe ser realizado por una persona capacitada y entrenada para tal fin, así como contar con mecanismos de supervisión y control que permitan cumplir con las recomendaciones planteadas en este manual.</p>
Planificación del almacenamiento	<p>Es muy importante contar con planes documentados de las operaciones de almacenamiento de elementos contaminados con PCB y sus movimientos al interior del área de almacenamiento, con el fin de tener información detallada que permita minimizar los riesgos asociados y actuar de manera adecuada en caso de una contingencia.</p> <p>En dicho plan se deben tener claramente identificadas las diferentes secciones en las cuales se ha dividido el área de almacenamiento de elementos con PCB.</p> <p>El plan de almacenamiento de elementos con PCB debe incluir como mínimo lo siguiente⁹:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Volumen total máximo de almacenamiento. • Secciones de almacenamiento donde están localizados los distintos tipos de elementos con PCB. • Cantidades almacenadas según el tipo de elementos. • Plano del área de almacenamiento donde se ilustre la ubicación de los diversos elementos. • Registros asociados a la recepción, inspección periódica y despacho de los elementos almacenados.
Criterios técnicos de almacenamiento	<p>Los criterios técnicos básicos a tener en cuenta para una adecuada operación de almacenamiento y aplicables a PCB son¹⁰:</p> <ul style="list-style-type: none"> • La ubicación de los elementos contaminados con PCB, bien sea que se encuentren en recipientes como tambores, contenedores o bandejas de contención, debe ser realizada sobre estibas y ser sujetados a éstas. • Los elementos contaminados con PCB, deben almacenarse únicamente en el área exclusiva y aislada diseñada para tal fin. • Los pasillos de tráfico peatonal deben contar con al menos 0,75 m de ancho y para los de tráfico vehicular 0,5 m de margen a lado y lado con respecto al ancho de los montacargas. • El pasillo peatonal perimetral debe ser mínimo de 0,7 m entre los materiales almacenados y los muros para permitir acceso a la inspección, libre movimiento del aire, espacio para el control del fuego y protección de los elementos en caso de derrumbamiento del muro. • El apilamiento de contenedores en los que se almacenan los elementos contaminados con PCB a una altura máxima de 1,50 m (no más de dos niveles), a menos que se utilice un sistema de estantería que evite la caída de los elementos y se asegure su estabilidad. • Los elementos deben estar organizados de manera que los montacargas y los equipos de emergencia puedan moverse libremente. • Señalizar claramente los pasillos de movimiento de los montacargas y mantenerlos libres de obstrucción para evitar accidentes.

⁸ En especial el artículo 8° de la Resolución 222 de 2011 expedida por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible o aquella que la modifique, sustituya o complemente.

⁹ Adaptado de las recomendaciones del Consejo Colombiano de Seguridad en su Código CI N° 20.

¹⁰ Adaptado a partir de las recomendaciones dadas en las Guías ambientales de almacenamiento y transporte por carretera de sustancias químicas peligrosas y residuos peligrosos (CCS & MAVDT, 2003) y el Manual de manejo de PCB para Colombia (CERI & ACDI & MMA, 2001) y documentos de trabajo posteriores asociados a dicho manual.

Aspecto	Medidas de prevención
Criterios técnicos de almacenamiento	<ul style="list-style-type: none"> En el área de almacenamiento de PCB no se deben realizar trabajos en caliente o contar con fuentes de calor o chispa, que puedan provocar incendios. En el área de almacenamiento de PCB no se debe fumar ni consumir alimentos o bebidas. Si bien se recomienda que en lo posible no se adelanten operaciones de trasvase de PCB, en los casos en donde sea requerido, se debe contar con equipos y herramientas (como bombas, mangueras, etc.) exclusivos para estas sustancias.
Registro de movimientos de los elementos PCB	<p>En aras de preservar la trazabilidad permanente de cada uno de los elementos contaminados con PCB, se debe contar con un registro de sus movimientos desde la recepción de los mismos, hasta su salida de la instalación de almacenamiento para su posterior etapa de manejo temporal o definitivo. En este registro se debe recoger parte de la información básica de identificación de los elementos con PCB reportada por el propietario de los mismos a través del <i>Inventario Nacional de PCB</i> o las consideraciones de marcado, reglamentadas por la Resolución 222 de 2011 o aquella que la modifique o sustituya, de tal manera que se facilite la trazabilidad de dichos elementos durante todo el ciclo de manejo de PCB.</p> <p>Se debe mantener a disposición de la autoridad ambiental, cuando ésta lo requiera, este registro de todas las actividades de manejo de los PCB permanentemente actualizado.</p>
Separación efectiva de áreas y elementos o sustancias	<p>Los elementos con PCB deben almacenarse en las áreas exclusivas e independientes diseñadas para tal fin. Cuando el área de almacenamiento de elementos con PCB, haga parte de un establecimiento que cuente con otras áreas de almacenamiento de otros elementos, sustancias o residuos, se debe garantizar una separación efectiva de áreas que evite la contaminación cruzada, así como tener en cuenta los criterios de compatibilidad entre las diversas sustancias almacenadas para minimizar los riesgos químicos en toda la instalación.</p>
Transporte interno	<p>Para el transporte interno de los elementos con PCB se recomienda utilizar montacargas, en lo posible eléctricos, teniendo en cuenta que la mayoría de áreas de almacenamiento de PCB son muy cerradas para dispersar fácilmente los gases de motores de combustión. En los casos en que los elementos o equipos con PCB sean demasiado grandes para su movilización, se puede requerir del apoyo de grúas o similares.</p>
Monitoreo de condiciones	<p>Dado que el principal objetivo de las operaciones de almacenamiento de PCB es evitar que estos entren en contacto con el ambiente o las personas, la normativa vigente en materia de PCB, exige contar con planes de inspección periódica de las instalaciones para la detección temprana de fugas o daños y determinar las reparaciones que deben realizarse, así como las acciones preventivas y correctivas para disminuir los riesgos para las personas y el medio ambiente, evitar la ocurrencia o repetición de incidentes o accidentes y reparar los daños ocasionados.</p> <p>Como parte del monitoreo del área de almacenamiento, se debe mantener un control permanente de ingreso de visitantes registrando como mínimo sus datos de identificación y fecha de visita.</p>
Personal	<p>Todas las actividades asociadas a las operaciones de almacenamiento de PCB, deben ser adelantadas únicamente por personal capacitado para ello, dependiendo de las responsabilidades específicas que le hayan sido asignadas en materia de recepción, despacho, movilización o transporte interno, inspección de elementos y condiciones de las áreas de almacenamiento, entre otras.</p>

Elaboración a partir de información de MAVDT & CCS - 2003 y Resolución 222 de 2011 expedida por Minambiente

1.5. Detección de fuego y sistemas de control o respuesta ante incendios

Se debe contar con un sistema o dispositivos de detección y extinción de incendios los cuales pueden variar dependiendo el tipo de almacenamiento que se tenga, exclusivo o compartido con otras sustancias, abierto o cerrado, entre otras consideraciones, pero en todo caso se debe contar con mecanismos manuales o automáticos que permitan alertar y controlar la situación en caso de que se presente una emergencia.



◀ Área de almacenamiento de PCB señalizada

Recuadro 2. Dispositivos de detección de fuego y sistemas de respuesta

Detectores de incendio

Existen diferentes tipos de detectores de incendio, entre los que se pueden contar los detectores de llamas, que son del tipo infrarrojo o ultravioleta o ambos; detectores de humo, que son de dos tipos, por "ionización" o por "efecto óptico", cada uno tiene su aplicación específica que debe ser consultada con un especialista; detectores de calor, que son generalmente menos afectados por falsas alarmas que los de humo, sin embargo, por definición solo responden cuando un fuego ha desarrollado suficiente calor y por lo tanto se pueden considerar como de acción retardada.

Sistema de rociadores

La ventaja de este sistema, comparado con los detectores de calor y de humo, es que inicia la alarma y simultáneamente puede entregar una protección continua contra el fuego. La principal desventaja es el costo. El alto costo de instalación solo justifica su uso en grandes instalaciones industriales o comerciales, cuando el riesgo es de alta magnitud, o cuando los tiempos de respuesta de las brigadas contra incendio son muy prolongados.

Sistemas de respuesta

Los sistemas de detección ya sean detectores de humo o de calor o rociadores tienen una utilidad limitada si no garantizan una respuesta efectiva. Por lo tanto es esencial que la alarma esté conectada a un punto de control, o mejor aún, a una brigada del cuerpo de bomberos. Este es particularmente importante en el caso de instalaciones que permanecen sin personal en horario nocturno o los fines de semana. Es de vital importancia que los sistemas de detección sean revisados continuamente por personal especializado.

Elaborado a partir de información de la Guía técnica para depósitos de materiales peligrosos. Reporte Técnico No. 13. Citado por MAVDT & CCS, 2003.

1.6. Señalización de las áreas de almacenamiento de PCB

Con el fin de advertir al personal sobre los riesgos, obligaciones y prohibiciones al permanecer en la zona de almacenamiento de equipos o desechos con PCB, las áreas destinadas para tal fin deben estar debidamente identificadas y señalizadas. Las señales deben encontrarse en español y estar disponibles en los puntos de acceso al lugar, de manera que se facilite su visualización y lec-

tura. Así mismo, debe hacer alusión a la restricción de acceso de personal no autorizado y contar con números telefónicos de contacto en caso de emergencia.

Las señales de seguridad deben ser acordes a lo establecido en el *Estatuto de seguridad industrial*¹¹, sobre código de colores de seguridad, recogiendo las recomendaciones básicas de la American Standards Association (A.S.A.) y demás lineamientos generales de la normativa nacional vigente en la materia¹².

¹¹ Adoptado por la Resolución 2400 de 1979 del Ministerio de Trabajo y Seguridad Social, modificada por la Resolución 3673 de 2008 por el Ministerio de Salud y Protección Social.

¹² Como por ejemplo el Decreto 1443 de 2014 del Ministerio del Trabajo, por el cual se dictan disposiciones para la implementación del sistema de gestión de la seguridad y salud en el trabajo (SG-SST).

1. Almacenamiento seguro de
equipos y desechos con pcb

**No. 6. Manejo ambientalmente racional de equipos
y desechos contaminados con PCB**

Tabla 3. Colores de seguridad

Color	Significado	Indicaciones y precisiones
Rojo	Señal de prohibición peligro – alarma material y equipos de lucha contra incendios	Comportamientos peligrosos Alto, parada, dispositivos de desconexión de emergencia, evacuación. Identificación y localización
Amarillo, o amarillo Anaranjado	Señal de advertencia	Atención, precaución, verificación
Azul	Señal de obligación	Comportamiento o acción específica. Obligación de utilizar un equipo de protección individual
Verde	Señal de salvamento o de auxilio Situación de seguridad	Puertas, salidas, pasajes, material, puestos de salvamento o de socorro locales Vuelta a la normalidad

Fuente: *Guía técnica de señalización de seguridad y salud en el trabajo. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo España, 1997.*

Recuadro 3. Aspectos a tener en cuenta para la señalización

- ✓ Señalizar todas las áreas de almacenamiento y estanterías de acuerdo con la clase de riesgo inherente a los PCB.
- ✓ Señalizar el requerimiento de acceso restringido o solo personal autorizado y de uso de equipo de protección personal para ingresar a los sitios de almacenamiento de PCB.
- ✓ Señalizar todos los lugares de almacenamiento con las correspondientes señales de obligación de cumplir con determinados comportamientos, tales como no fumar, uso de equipo de protección personal, entre otros.
- ✓ Señalizar los corredores y las vías de circulación de montacargas y otros vehículos utilizando franjas continuas de color blanco. La delimitación deberá respetar las distancias necesarias de seguridad entre vehículos y objetos próximos y, entre peatones y vehículos.
- ✓ Instalar señales en todos los sitios de trabajo, que permitan conocer a todos los trabajadores situaciones de emergencia cuando estas se presenten o las instrucciones de protección requeridas. Se recomienda que la señalización de emergencia en las bodegas de almacenamiento se realice mediante señales acústicas o comunicaciones verbales. También se pueden utilizar señales luminosas en zonas donde la intensidad de ruido ambiental no permita escuchar o las capacidades físicas auditivas estén limitadas, pero esta situación no es común para bodegas de almacenamiento.
- ✓ Señalizar los equipos contra incendios, las salidas y recorridos de evacuación y la ubicación de los primeros auxilios.

Elaboración a partir de información citada en MAVDT & CCS, 2003 a partir fuentes varias

1.7. Higiene personal y equipo de seguridad para almacenamiento

Se recomienda que para estos asuntos se tomen como referencia las consideraciones dadas en detalle en el capítulo 4 de este documento denominado “Gestión de riesgos asociados a PCB, salud y seguridad”, así como las planteadas en las hojas de seguridad de los PCB.

1.8. Manejo de residuos en operaciones de almacenamiento

Los residuos generados durante las operaciones de almacenamiento deben ser identificados y marcados, manipulados y transportados como mercancías peligrosas y posteriormente gestionados de acuerdo con lo establecido en la normativa ambiental vigente¹³.



◀ Personal encargado de operaciones de almacenamiento



◀ Manejo de residuos en operaciones de almacenamiento

¹³ En especial el Decreto 4741 de 2005 y la Resolución 222 de 2011 expedidos por Minambiente o aquellos que los modifiquen, sustituyan o complementen.



2.

TRANSPORTE TERRESTRE DE EQUIPOS Y DESECHOS CONTAMINADOS CON PCB



Contenido Unidad 2

2.1.	Marco legal	22
2.2.	Transporte terrestre de equipos y desechos contaminados con PCB	22
2.2.1.	Requisitos técnicos para el transporte terrestre	24
2.2.2.	Consideraciones para las operaciones de transporte	29
2.2.3.	Disposiciones especiales para el transporte de PCB	31
2.2.4.	Higiene personal y equipo de seguridad en operaciones de transporte	32
2.2.5.	Capacitación y entrenamiento	32
2.3.	Manejo de residuos en operaciones de transporte	32

Dado que los PCB y los equipos y desechos contaminados con PCB son considerados internacionalmente como mercancías peligrosas (UNECE, 2011a), su transporte debe ajustarse a esta modalidad y a la reglamentación nacional e internacional vigente.

2.1. Marco legal

En Colombia, el transporte terrestre de equipos y desechos contaminados está regido por el Decreto 1609 de 2002, en el cual se reglamentan el manejo y transporte terrestre automotor de mercancías peligrosas por carretera (**figura 1**). Por su parte, para el transporte aéreo o marítimo de PCB, deben ser consideradas las exigencias o protocolos aplicables para sustancias peligrosas, establecidas por las autoridades de transporte competentes, como por ejemplo 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)*.

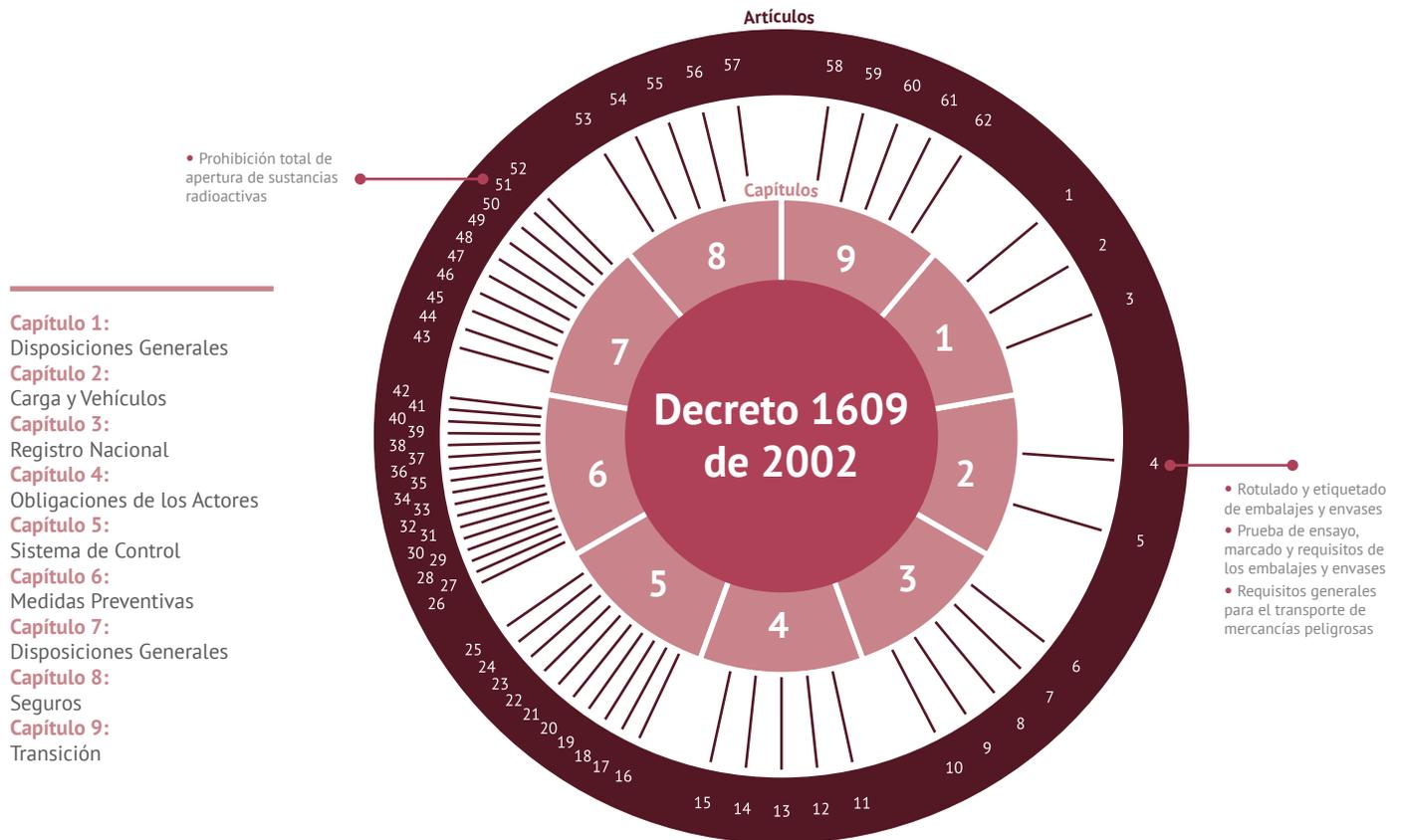
Por su parte, cuando se trate de transporte de estos compuestos bajo una modalidad de movimiento transfronterizo, se debe dar aplicación a lo dispuesto en el Convenio de Basilea, ratificado en Colombia por medio de la expedición de la Ley 253 de 1996.

2.2. Transporte terrestre de equipos y desechos contaminados con PCB

Comprende todas las operaciones y condiciones relacionadas con la movilización, la seguridad en los envases y embalajes, la preparación, envío, carga, segregación, transbordo, trasiego, almacenamiento en tránsito, descarga y recepción en el destino final; y compromete a todas las personas que utilizan la infraestructura de transporte de acuerdo a lo establecido en el artículo 9 de la Ley 105 de 1993¹⁴. Así mismo, en el capítulo IV del Decreto 1609 de 2002, se describen ampliamente las obligaciones de los actores de la cadena de transporte de mercancías peligrosas.

14 La Ley 105 del 30 de diciembre de 1993, ha sido reglamentada parcialmente por los Decretos 105 de 1995 y 2263 de 1995, en los cuales se dictan disposiciones básicas sobre el transporte, se redistribuyen competencias y recursos entre la Nación y las Entidades Territoriales, se reglamenta la planeación en el sector transporte y se dictan otras disposiciones.

Figura 1. Mapa conceptual del articulado del Decreto 1609 de 2002



Art. 1. Objetivo (NTC 1692)	Art. 17. Manejo de mercancías y objetos explosivos clase 1, NTC 3966 - Anexo 13	Art. 32. Sanciones a los propietarios o tenedores de vehículo que transporte mercancías peligrosas	Art. 46. Cumplimiento de observación del decreto 1609 de 2002
Art. 2. Alcances y aplicación	Art. 18. Manejo de gases clase 2, NTC 2880 - Anexo 14	Art. 33. Responsables de cumplimiento (operaciones de carga, transporte, y descargue de productos)	Art. 47. Peligrosidad de los desechos
Art. 3. Definiciones	Art. 19. Manejo de líquidos inflamables y combustibles clase 3, NTC 2801 - Anexo 15	Art. 34. Procedimiento para impartir sanción	Art. 48. Prohibición del transporte de mercancías peligrosas en vehículos destinados al transporte de pasajeros
Art. 4. Manejo de la carga	Art. 20. Manejo de mercancías tóxicas e infecciosas clase 6, NTC 3969 - Anexo 18	Art. 35. Inmovilización de vehículos	Art. 49. Almacenamiento de mercancías peligrosas en depósitos de carga
Art. 5. Requisitos de la unidad de transporte y vehículo de carga destinado al transporte de mercancías peligrosas.	Art. 21. Manejo de mercancías radioactivas clase 7, NTC 3970 - Anexo 19	Art. 36. Suspensión de la habilitación de empresas	Art. 50. Apoyo al remitente, destinatario y empresa transportadora en caso de emergencia
Art. 6. Tarjeta de registro nacional para el transporte de mercancías peligrosas.	Art. 22. Cumplimiento de las disposiciones ambientales vigentes	Art. 37. Cancelación de la habilitación de empresas	Art. 51. Prohibición de apertura de envases y embalajes
Art. 7. Tarjeta	Art. 23. Sustancias químicas de uso restringido	Art. 38. Acciones adecuadas y necesarias, por parte de la autoridad competente, para subsanar irregularidades	Art. 52. De las sociedades portuarias y puertos privados
Art. 8. Requisitos	Art. 24. Transporte de desechos peligrosos y su eliminación	Art. 39. Custodia de vehículos durante su retención	Art. 53. Adquisición de póliza de responsabilidad civil extracontractual
Art. 9. Transporte de combustibles	Art. 25. Control al transporte (acciones)	Art. 40. Operaciones de transbordo en condiciones de emergencia	Art. 54. Cobertura sobrevenida al traslado de carga
Art. 10. transporte de gas natural comprimido - GNC y gas licuado de petróleo - GLP	Art. 26. Sujetos de sanciones	Art. 41. Restricciones al tránsito de vehículos que transporten mercancías peligrosas	Art. 55. Valores asegurados mínimos
Art. 11. Obligaciones del remitente y/o propietario de mercancías peligrosas	Art. 27. Sanciones	Art. 42. Acciones contra el servidor público que incurra en conductas ajenas a la ley	Art. 56. Cobertura al asegurado.
Art. 12. Obligaciones del destinatario de la carga	Art. 28. Sanciones al remitente y/o propietario de la mercancía peligrosa	Art. 43. Normas técnicas colombianas como referente de aplicación	Art. 57. Garantías en la póliza
Art. 13. Obligaciones de la empresa que transporta mercancías peligrosas	Art. 29. Sanciones al destinatario de la mercancía peligrosa	Art. 44. El libro naranja de la ONU	Art. 58. Procedimiento para la evaluación de conformidades
Art. 14. Obligaciones del conductor del vehículo que transporta mercancías peligrosas	Art. 30. Sanciones a la empresa de carga que transporte mercancías peligrosas	Art. 45. Actualización del sistema de información	Art. 59. Certificado del curso básico de capacitación para conductores
Art. 15. Obligaciones del propietario o tenedor del vehículo que se destine al transporte de mercancías peligrosas	Art. 31. Sanciones al conductor del vehículo de transporte de mercancías peligrosas		Art. 60. Tarjeta de registro nacional para el transporte de mercancías peligrosas
Art. 16. Sistema de control por parte de la superintendencia de puertos y transporte			Art. 61. Fecha de aplicación del derecho
			Art. 62. Derogaciones

**No. 6. Manejo ambientalmente racional de equipos
y desechos contaminados con PCB**

2.2.1. Requisitos técnicos para el transporte terrestre

El movimiento de bifenilos policlorados, al igual que otras sustancias peligrosas, debe cumplir con requisitos técnicos relacionados con la carga y rotulado de las unidades de transporte:

De la carga: los equipos y desechos contaminados con PCB en almacenamiento temporal además de la identificación propia para el inventario, deben estar rotulados y embalados según la Norma Técnica Colombiana NTC 1692.

Rotulado: la Norma Técnica Colombiana NTC 1692, establece las definiciones, la clasificación y rotulado de mercancías peligrosas para fines de identificación del producto y de las unidades de transporte, cuando se desarrollen actividades de transporte en sus diferentes modos.

Para efectos de la clasificación, esta norma atiende el documento internacional "Recomendaciones relativas



◀ Rotulado unidad de transporte de mercancías contaminadas con PCB

al transporte de mercancías peligrosas reglamentación modelo" de las Naciones Unidas (Libro Naranja), en el cual los PCB están sujetos a la clasificación "clase 9" que corresponde a "mercancías y objetos peligrosos varios", para los cuales -en la versión decimoséptima- reporta los números de identificación UN 3499, 2315 y 3432 (tabla 4).

Tabla 4. Número UN para los tipos de PCB reportados en el Libro Naranja y otra información importante para el transporte

Número UN	Descripción	Grupo embalaje/ envase ONU	Disposiciones especiales	Cantidades limitadas y exceptuadas		Embalaje/envase RIG
				7a	7b	
3499	Condensador eléctrico de doble capa (con una capacidad de almacenamiento de energía superior a 0,3 W)	II	361	0	E0	P003
2315	Bifenilos policlorados líquidos	II	305	1 L	E2	P906 IBC02
3432	Bifenilos policlorados sólidos	II	305	1 Kg	E2	P906 IBC08

Elaboración con información de UNECE, 2011a.



◀ Rotulado de contenedor de residuos sólidos contaminados con PCB

La cantidad limitada señalada en la columna 7a, corresponde a la cantidad máxima autorizada por embalaje/envase interior u objeto, a la que no le aplica la regulación para el transporte de mercancías peligrosas. Para el caso de los condensadores de doble capa, no hay cantidad limitada para los condensadores, para los bifenilos policlorados líquidos: 1 litro y, para los sólidos: 1 kilogramo.

La cantidad exceptuada dada en la columna 7b, indica la cantidad máxima autorizada por embalaje/envase interior y exterior.

Por lo tanto, el rotulado que corresponde a todo PCB en relación con la clase de peligro es el reportado en **la figura 2a**; y, en cuanto a la clasificación UN para el caso de los bifenilos policlorados líquidos o los equipos y desechos contaminados con estas sustancias -cuyo número UN asignado es 2315-, se evidencia en **la figura 2b**.

Los rótulos deben ser puestos en cada unidad de embalaje y en la superficie externa; deben ser fácilmente visibles, legibles y soportar la intemperie sin reducción

Figura 2. a) Rótulo exigido –para reportar el peligro ambiental- en los equipos que transporten PCB o desecho con PCB, b) forma para reportar el código de las Naciones Unidas y, c) rótulo para embalajes que serán transportados en medio marino



(a)



(b)



(c)

Logos definidos por las Naciones Unidas

**No. 6. Manejo ambientalmente racional de equipos
y desechos contaminados con PCB**

notable de su eficacia. Adicionalmente, se recomienda no ubicar cerca de otras marcas que puedan reducir notablemente su eficacia.

Embalaje: las categorías y embalajes propuestos en el *Manual de capacitación Convenio de Basilea* (UNEP, 2003)

y las recomendaciones de las Naciones Unidas en sus instructivos P002, P003, P906 y los IBC 02 y 08 de 2011 (UNECE, 2011a; 2011b), teniendo en cuenta los requerimientos del grupo de embalaje grado II, se consolidan en la **tabla 5**.

Tabla 5. Tipos de embalajes/envases para PCB según recomendaciones de UNEP, 2003

Categoría PCB	Clave de embalaje UN	Opciones para el envase y embalaje de PCB para almacenamiento y transporte
Líquidos de PCB	IA1	<p>Tambores o bidones de acero con tapa no removible.</p> <p>Capacidad máxima: 450 Litros El embalaje/envase puede ser:</p> <ul style="list-style-type: none"> a) Como embalaje/envase exterior único (un único receptáculo) b) Como embalaje/envase combinado (constituido por varios embalajes interiores junto con material absorbente dentro de un embalaje/envase exterior) <p>Los tambores deben ir embalados en contenedores metálicos que contengan material absorbente; también para el transporte fronterizo.</p>
Sólidos de PCB	IA2	<p>Tambores o bidones de acero con tapa removible.</p> <p>Capacidad máxima: 400Kg El embalaje/envase puede ser:</p> <ul style="list-style-type: none"> a) Como embalaje/envase exterior único (un único receptáculo) b) Como embalaje/envase combinado (constituido por varios embalajes interiores junto con material absorbente dentro de un embalaje/envase exterior) <p>Para el transporte fronterizo, se sellan y se colocan sobre los <i>pallets</i>, asegurados dentro del contenedor.</p>
Condensadores/ capacitores o balastos		<p>Carcasas metálicas herméticas sobre plataformas o estibas.</p>
Transformadores con PCB o contaminados		<p>Sistema de contención estanco que pueda contener, además de los dispositivos, al menos 1,25 veces el volumen de los bifenilos policlorados líquidos presentes en él. Los embalajes/envases deberán estar rodeados de material absorbente suficiente para absorber al menos 1,1 veces el volumen del líquido que contengan los dispositivos.</p> <p>Los transformadores y condensadores sin embalar, deben ir en unidades de transporte provistas de una bandeja metálica estanca hasta una altura de 800 mm como mínimo, que contenga suficiente material absorbente inerte para absorber al menos una cantidad que sea 1,1 veces superior al volumen de cualquier líquido suelto.</p> <p>El embalaje/envase debe ser compuesto (un embalaje/envase exterior y un receptáculo interior unidos de modo que el receptáculo interior y el embalaje/envase exterior formen uno integral), una vez montado, dicho embalaje/envase sigue constituyendo una sola unidad integrada que se almacena, se transporta y se vacía como tal.</p>



Deberán tomarse las disposiciones adecuadas para sellar los transformadores y condensadores con el fin de evitar pérdidas o fugas durante el transporte en condiciones normales. Así mismo, los bidones metálicos deben satisfacer las prescripciones relativas a la construcción y ensayo de los embalajes/envases del capítulo 6 del *Libro Naranja* (UNEP, 2003) y las recomendaciones de la Norma Técnica Colombiana NTC 4702-9, que se resumen en la **tabla 6**:

Es importante aclarar que los tambores o bidones que satisfacen las prescripciones de los materiales y superan los ensayos propuestos en el Libro Naranja de las Naciones Unidas, deben ir contramarcados con la insignia compuesta por la información de la **tabla 7** desde la segunda columna y separada por el símbolo “/”.

Tabla 6. Requisitos de los bidones metálicos para embalaje/envase según la NTC 4702-9

Tipo	Requisitos
Fabricado (nuevo)	Construidos bajo los requisitos de las Naciones Unidas, numeral 6.1.4 del <i>Libro Naranja</i> . Superan los ensayos de funcionamiento y frecuencia, caída, estanqueidad y presión interna.
Reutilizado	Construido tipo Naciones Unidas (UN), ha sido examinado y encontrado sin defectos que afecten su capacidad de superar las pruebas de funcionalidad, esta expresión incluye los embalajes/envases que se rellenan con el mismo contenido o uno similar compatible y que se transportan en cadenas de distribución controladas por el tenedor del producto. Deben superar los ensayos de funcionamiento y frecuencia, caída, estanqueidad y presión interna.
Reconstruido	a) Fabricados como bidones tipo Naciones Unidas (UN) a partir de bidones que no sean del tipo UN. b) Convertidos de un tipo UN a otro tipo bidón del tipo UN o c) Que experimenten el reemplazo de componentes estructurales integrales (tales como tapas no removibles). Deben superar los ensayos de funcionamiento y frecuencia, caída, estanqueidad y presión interna.

Tabla 7. Especificaciones de marcado de fábrica para embalajes nuevos

Tipo de embalaje	Bidón o Tambor
Símbolo UN	
Código del embalaje	Ver clave de embalaje UN de la tabla 5
Grupo del embalaje	“Y” para todo PCB a la fecha
Peso bruto	Peso bruto máximo en Kg en que se ensayó el prototipo
Sólidos o embalajes interiores	En embalajes destinados a contener sólidos o embalajes interiores, debe ir la letra “S”
Densidad	Densidad relativa redondeada al primer decimal para la que se ha probado el prototipo. Se puede omitir cuando la densidad relativa no pasa de 1.2
Prueba de presión	Presión hidráulica
Año de fabricación	Dos últimas cifras del año de fabricación
Código del país	CO
Código del fabricante	Código asignado por la autoridad competente

2. Transporte terrestre
de equipos y desechos
contaminados con pcb

No. 6. Manejo ambientalmente racional de equipos y desechos contaminados con PCB

Un ejemplo de formato de marcación de fábrica para un bidón metálico nuevo de acero fabricado en Colombia con tapa no removible para envasar líquido, es el siguiente:

 **1 A1/Y gravedad específica/presión hidráulica/
año de manufactura del tambor/CO/código del
fabricante**

Así mismo, un ejemplo de formato de marcación de fábrica para un bidón metálico nuevo de acero fabricado en Colombia con tapa removible para envasar sólidos, es:

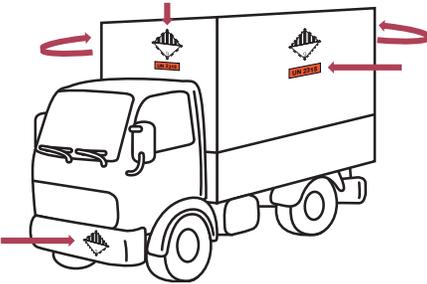
 **1 A2/Y volumen bruto máximo/S/año de manu-
factura del tambor/CO/código del fabricante**

Las especificaciones de marcado de embalajes/envases reutilizados y reconstruidos se encuentran disponibles en el capítulo 6, numeral 6.1.3 del *Libro Naranja*.

El poseedor de PCB para efectos del almacenamiento y transporte debe verificar la calidad de los embalajes/envases y que las marcas sean duraderas, legibles y colocadas en un lugar y de un tamaño tal en relación con el del embalaje/envase que las haga bien visibles.

Del vehículo: el vehículo y la unidad que transporte mercancías peligrosas, debe cumplir las disposiciones de las normas vigentes para el transporte terrestre automotor de carga por carretera y lo reglamentado en el artículo 5 del Decreto 1609 de 2002; específicamente en lo relacionado con los rótulos de identificación, requisitos técnicos y mecánicos, equipo de carretera y, elementos básicos para atención de emergencias (**tabla 8**).

Tabla 8. Síntesis de requisitos para la unidad de transporte

Rótulos de identificación	
<ul style="list-style-type: none"> Rótulos "Clase 9" de material reflectivo, deben ser ubicados de acuerdo con la normativa aplicable en la parte lateral de la unidad de transporte, a una altura media que permita su lectura. La placa con el número de las Naciones Unidas (UN)¹⁵, en todas las caras visibles de la unidad de transporte y la parte delantera de la cabina del vehículo de transporte de carga, el color de fondo de esta placa debe ser de color naranja y los bordes y el número UN serán negros. Las dimensiones serán 30 cm x 12 cm, por seguridad y facilidad estas placas podrán ser removibles. 	
Requisitos técnicos y mecánicos	
<ul style="list-style-type: none"> Tener el sistema eléctrico con dispositivos que minimicen los riesgos de chispas o explosiones. Contar con un dispositivo sonoro o pito, que se active en el momento en el cual el vehículo se encuentre en movimiento de reversa. En ningún caso un vehículo cargado con mercancías peligrosas puede circular con más de un remolque o semirremolque. 	
Equipo de carretera	
<ul style="list-style-type: none"> De acuerdo con el artículo 30 del <i>Código nacional de tránsito terrestre</i> "equipos de prevención y seguridad" ningún vehículo podrá transitar por las vías del territorio nacional sin portar el siguiente equipo de carretera como mínimo (Ley 769 de 2002): a) un gato con capacidad para elevar el vehículo con la carga que transporta, b) una cruceta, c) dos señales de carretera en forma de triángulo en material reflectivo y provistas de soportes para ser colocadas en forma vertical, o lámparas de señal de luz amarilla intermitentes o de destello, d) un botiquín de primeros auxilios¹⁶, e) dos tacos para bloquear el vehículo, f) Caja de herramienta básica que como mínimo deberá contener: alicate, destornilladores, llave de expansión y llaves fijas, g) llanta de repuesto y, h) linterna. 	

15 Cuando se transporte más de una mercancía peligrosa en una misma unidad de transporte, se debe fijar el número UN correspondiente a la mercancía peligrosa que presente mayor peligrosidad para el medio ambiente y la población, en caso eventual de derrame o fuga.

16 Aunque el Código de Transporte no fija el contenido de éste, se recomienda que contenga (MAVDT & CCS, 2003): a) antisépticos, b) material de curación: gasas estériles, compresas de agua, vendas de gasa, vendas elásticas, vendas adhesivas de diversos tamaños resistentes al agua, espadrabo y algodón y, c) instrumental: tijeras, guantes estériles desechables y termómetro.

Elementos básicos para atención de emergencias

- Extintores, mínimo 2 tipo multipropósito de acuerdo con el tipo y cantidad de mercancía peligrosa transportada, uno en la cabina y los demás cerca de la carga, en sitio de fácil acceso y que se pueda disponer de ello rápidamente en caso de emergencia.
- Equipo de protección personal, el recomendado en la tarjeta de emergencias que consiste en un equipo de respiración autónomo (SCBA) con pieza facial de cara completa y ropa de protección total que incluya guantes de neopreno y botas de caucho.
- Equipo para la recolección y limpieza de derrames, se recomienda en lo posible disponer de 2 que cuenten con: rollo de cinta amarilla y negra para aislar, paños absorbentes seleccionados de acuerdo con las características de la sustancia, cordones o barreras absorbentes seleccionados de acuerdo con las características de la sustancia a confinar, una pala de plástico antichispas, bolsas de polietileno de alta densidad, para depositar temporalmente los desechos de los derrames y masillas epóxica para reparar fisuras.

2.2.2. Consideraciones para las operaciones de transporte

En las operaciones de transporte de sustancias peligrosas el riesgo de accidentes o emergencias está presente en todas las etapas, por esta razón es conveniente que se especifiquen y tomen las medidas de prevención en los siguientes aspectos: a) manejo y alistamiento de la carga, b) carga y descarga, c) segregación, d) planificación del transporte y e) documentación.

Es importante resaltar que todo desplazamiento terrestre de PCB debe ser planeado y conocido por el conductor del vehículo y los responsables del transporte; para lo cual es preciso contar con una ruta y una lista de teléfonos para la notificación en caso de emergencia y de los puestos de control de la empresa a lo largo de la ruta. Así mismo, es menester contar con la siguiente documentación: mani-fiesto de carga, remesa terrestre de carga, tarjeta de registro nacional para el transporte de carga (no reglamentada a la fecha), registro nacional para el transporte de mercancías peligrosas y la tarjeta de emergencias.

Tabla 9. Medidas de prevención en las principales etapas relacionadas con el transporte de PCB

Etapa	Medidas de prevención
Manejo y alistamiento de la carga	Es necesario contar con toda la información de seguridad de los productos peligrosos a manipular, así como el personal entrenado para las operaciones de rutina y para las emergencias.
Carga y descarga	Deben existir áreas demarcadas y señalizadas para esta actividad, que garanticen buenas condiciones de accesibilidad, maniobrabilidad y seguridad, y suministrar condiciones adecuadas de ventilación. El personal a cargo debe seguir procedimientos de operativos y de seguridad industrial, establecidos por la empresa y las recomendaciones de la hoja de seguridad. Debe estar entrenado y su desempeño verificado. La información y los equipos de atención de emergencias deben estar disponibles para cualquier eventualidad.
Segregación	<p>La distribución de la carga dentro del vehículo debe realizarse teniendo en cuenta la compatibilidad entre las mercancías a transportar, en aquellos casos en donde resulte inviable realizar un transporte exclusivo para PCB. La NTC 3972 para el transporte de mercancías peligrosas clase 9, advierte que la segregación que puede ser necesaria se indica en la hoja de seguridad correspondiente a cada sustancia, para los PCB se señala: <i>"Evitar el contacto con agentes oxidantes fuertes, ácidos fuertes, bases fuertes"</i>.</p> <p>La carga debe ser adecuadamente acomodada, estibada, apilada y sujeta dentro del vehículo para evitar movimientos que puedan romper o averiar los embalajes y generar derrames o eventos de contaminación entre embalajes. No debe interferir en la visibilidad del conductor, y no comprometer la estabilidad o conducción del vehículo.</p> <p>No está permitido bajo ninguna circunstancia el transporte de PCB en la misma unidad de transporte junto con animales, alimentos, personas, medicamentos y demás sustancias consideradas no peligrosas.</p>

**No. 6. Manejo ambientalmente racional de equipos
y desechos contaminados con PCB**

Etapa	Medidas de prevención
Planificación del transporte	Se recomienda transitar en horas de poca congestión vehicular y peatonal, no transitar de noche y evitar toda situación que ofrezca mayor riesgo a la población y al ambiente.
Documentación	Los documentos: manifiesto de carga, remesa terrestre de carga, tarjeta de registro nacional para el transporte de carga y registro nacional para el transporte de mercancías peligrosas, hacen parte de la gestión legal y operativa que deben realizar las empresas legalmente constituidas para el transporte especializado de mercancías peligrosas en el país. La tarjeta de emergencia la debe suministrar el propietario de los equipos y desechos contaminados por PCB; se elabora a partir de la hoja de seguridad de las sustancias peligrosas bajo los lineamientos de la NTC 4532. En el anexo 1 se presenta una hoja de seguridad de referencia para los bifenilos policlorados.

Elaboración a partir de Minambiente & CCS, 2003



◀ Unidad de transporte

2.2.3. Disposiciones especiales para el transporte de PCB

En el *Libro Naranja* se presentan como disposiciones especiales para el transporte de PCB los epígrafes 361 y 305, disponibles en el capítulo 3.3 de dicha reglamentación modelo de Naciones Unidas.

Recuadro 4. Disposiciones Especiales para PCB en el Libro Naranja

Según el Libro Naranja (UNECE, 2011a) específicamente para PCB se establece que:

"Epígrafe 305: estas sustancias no están sujetas a las disposiciones de la presente reglamentación siempre que sus concentraciones no superen los 50 mg/kg".

"Epígrafe 361: para condensadores eléctricos de doble capa con una capacidad de almacenamiento de energía superior a 0,3 Wh. Los condensadores con una capacidad de almacenamiento de energía de 0,3 Wh o menos no están sujetos a la presente reglamentación. Por capacidad de almacenamiento de energía se entiende la energía almacenada en un condensador, calculada utilizando el voltaje y la capacitancia nominales. Todos los condensadores a los que se aplica este epígrafe, incluidos los que contenga un electrolito que no cumpla los criterios de clasificación de ninguna clase o división de mercancías peligrosas, deberán satisfacer las siguientes condiciones:

- Los condensadores no instalados en un equipo deberán transportarse descargados.
- Los condensadores instalados en un equipo se transportarán ya sea descargados o desprotegidos contra los cortocircuitos;
- Cada condensador se protegerá contra el posible peligro de cortocircuito durante el transporte de la siguiente manera:

Cuando la capacidad de almacenamiento de energía del condensador sea inferior o igual a 10Wh o cuando la capacidad de almacenamiento de energía de cada condensador de un módulo sea inferior o igual a 10Wh, el condensador o módulo se protegerá contra los cortocircuitos o se proveerá de un fleje metálico que conecte los bornes; y cuando la capacidad de almacenamiento de energía del condensador o de un condensador de un módulo sea superior a 10Wh, el condensador o el módulo se proveerá de un fleje metálico que conecte los bornes.

Los condensadores que contengan mercancías peligrosas estarán diseñados para resistir a una presión diferencial de 95 kPa; los condensadores llevarán marcada la capacidad de almacenamiento de energía en Wh. Los condensadores que contengan un electrolito que no cumpla los criterios de clasificación de ninguna clase o división de mercancías peligrosas, incluso cuando estén instalados en un equipo, no estarán sujetos a otras disposiciones de la presente reglamentación.

Los condensadores que contenga un electrolito que cumpla los criterios de clasificación de alguna clase o división de mercancías peligrosas y tengan una capacidad de almacenamiento de energía de 10Wh o menos no estarán sujetos a otras disposiciones de la presente Reglamentación si son capaces de aguantar, sin su embalaje/envase, un ensayo de caída desde 1,2 m de altura sobre una superficie rígida sin que se produzca pérdida de su contenido.

Los condensadores que contengan un electrolito que cumpla los criterios de clasificación de alguna clase o división de mercancías peligrosas, no estén instalados en un equipo y tengan una capacidad de almacenamiento de energía superior a 10Wh estarán sujetos a la presente reglamentación.

Los condensadores instalados en un equipo y que contengan un electrolito que cumpla los criterios de clasificación de alguna clase o división de mercancías peligrosas no estarán sujetos a otras disposiciones de la presente reglamentación a condición de que el equipo esté colocado en un embalaje/envase exterior resistente, construido con materiales apropiados y con la resistencia y el diseño adecuados en relación con el uso a que está destinado de modo tal que se impida la activación accidental del condensador durante el transporte. Los equipos grandes y robustos que contengan condensadores podrán presentarse para el transporte sin embalaje/envase o en bandejas en los casos en los que los condensadores queden protegidos de forma equivalente por el equipo en el que están instalados.

NOTA: los condensadores que por diseño mantienen un voltaje terminal (por ejemplo: los condensadores asimétricos) no corresponden a este epígrafe".

No. 6. Manejo ambientalmente racional de equipos y desechos contaminados con PCB

2.2.4. Higiene personal y equipo de seguridad en operaciones de transporte

Se recomienda que para esta temática se tomen como referencia las consideraciones dadas en detalle en el capítulo 4 de este documento denominado "Gestión de riesgos asociados a PCB, salud y seguridad", así como las planteadas en la hoja de seguridad de los PCB.

2.2.5. Capacitación y entrenamiento

Todo personal que manipule PCB debe ser capacitado y entrenado en el manejo de este tipo de sustancias y de los equipos contaminados, esta formación deberá incidir en la concienciación general de los peligros implicados y los impactos que se pueden ocasionar al ambiente. Es conveniente que toda la capacitación y entrenamiento recibida por un empleado figure en su expediente (tabla 10).

Tabla 10. Recomendaciones para el esquema básico para la capacitación de personal relacionado con el transporte de compuestos orgánicos persistentes (PCB)

Programa de capacitación	Procedimientos operativos normalizados y prácticas seguras
<ul style="list-style-type: none"> Clasificación de las sustancias químicas peligrosas Reconocimiento de los símbolos utilizados en la identificación de las sustancias químicas peligrosas Forma de obtener y usar la información que aparece en las etiquetas, hojas de seguridad, tarjetas de emergencia y demás documentos de transporte Información sobre los peligros que implica la exposición a estas sustancias Manejo y uso del equipo de protección Medidas en caso de una emergencia 	<ul style="list-style-type: none"> Embalaje. Rotulado y marcado Carga Descarga Almacenamiento Manipulación Disposición adecuada de residuos Descontaminación y limpieza Y lo establecido en la Ley 55 de julio 2 de 1993 sobre capacitación, entrenamiento y seguridad en la utilización de las sustancias peligrosas en el trabajo

Elaborada con información de MAVDT & CCS, 2003

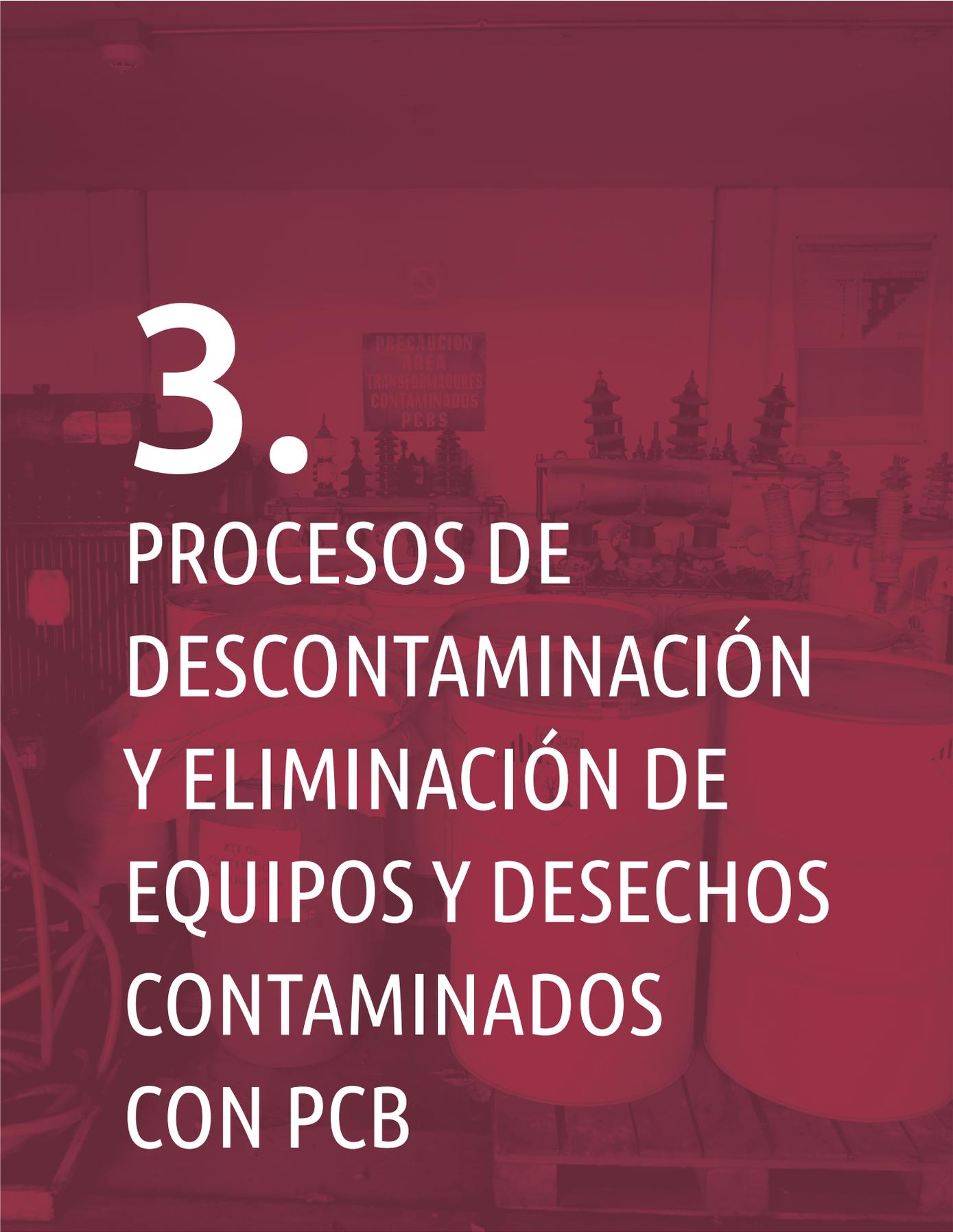
2.2.6. Manejo de residuos en operaciones de transporte

Los residuos generados durante las operaciones de transporte deben ser identificados y marcados, manipulados y transportados como mercancías peligrosas y

posteriormente gestionados de acuerdo con lo establecido en la normativa ambiental vigente¹⁷.

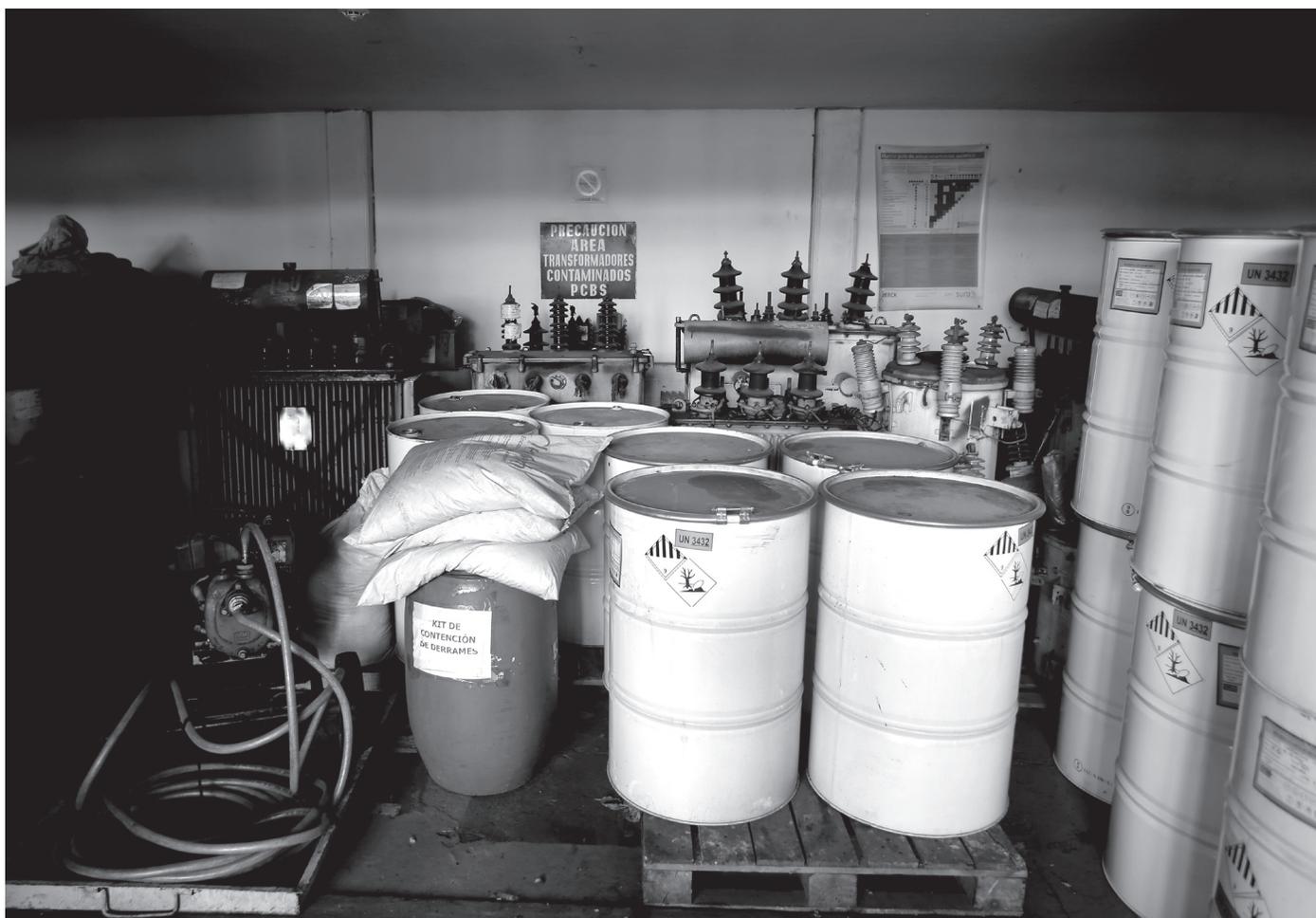
¹⁷ En especial el Decreto 4741 de 2005 y la Resolución 222 de 2011 expedidos por Minambiente o aquellos que los modifiquen, sustituyan o complementen.





3.

PROCESOS DE DESCONTAMINACIÓN Y ELIMINACIÓN DE EQUIPOS Y DESECHOS CONTAMINADOS CON PCB



Contenido Numeral 3

34

3.1.	Procesos de descontaminación de equipos con PCB	37
3.1.1.	Lavado de equipos contaminados	37
3.1.2.	Rellenado o retrofilling	40
3.1.3.	Calentamiento al vacío	41
3.2.	Procesos para la eliminación de PCB y desechos contaminados con PCB	43
3.2.1.	Tratamiento térmico	44
3.2.2.	Tecnología de decloración catalítica	45
3.2.3.	Tecnología de oxidación con agua supercrítica	47
3.2.4.	Otros procesos de tratamiento de desechos de PCB	50
3.3.	Descontaminación de suelos	50

De acuerdo con lo que se ha expuesto en los diversos documentos que componen este manual, un equipo eléctrico se considera contaminado con PCB si la concentración en el aceite dieléctrico es mayor o igual a 50 mg de PCB por Kg de aceite. En la práctica, esto implica que incluso un transformador contaminado con concentraciones ligeramente superiores a 50 mg PCB/Kg de aceite debe ser tratado de forma similar a un transformador que contiene una mezcla de PCB comercial. Por tal motivo, la contaminación cruzada ocasionada durante el mantenimiento de los transformadores al reemplazar el aceite usado con aceite mineral fresco libre de PCB, ha determinado que una parte del inventario de PCB en Colombia corresponda a transformadores con concentraciones ligeramente superiores al límite establecido de 50 mg/Kg (Marulanda, 2014).

Actualmente, la alternativa más utilizada para el manejo de los desechos contaminados con PCB es el tratamiento térmico a temperaturas entre 800 y 1200 °C en instalaciones especializadas que dispongan de sistemas de tratamiento de gases adecuados para evitar la liberación de especies aún más peligrosas, como las dioxinas y los furanos. Sin embargo, en la medida en que otras alternativas tecnológicas puedan ser probadas, validadas y aceptadas en el país, se contará con un mayor número de posibilidades de manejo de PCB.

Dado que el costo del tratamiento térmico depende, entre otras cosas, del peso total del inventario de cada propietario de PCB (es decir los equipos, los

desechos y el aceite que contienen), del embalaje apropiado y las tarifas de exportación hacia los países que reciben este tipo de desechos; el peso total de dichos inventarios puede ser del orden de varias toneladas. Teniendo en cuenta que gran parte del peso corresponde a los materiales metálicos de los equipos contaminados con PCB, los cuales pueden ser reciclados previa remoción del aceite contaminado de su superficie; se están evaluando alternativas que permitan viabilizar el manejo del aceite y los residuos contaminados con PCB a través de incineración, mientras que los materiales metálicos de los equipos son sometidos a otro tipo de operaciones que los conviertan en material aprovechable.

Por tal motivo, el lavado de los transformadores contaminados con PCB -con distintas concentraciones- se ha venido evaluando como una alternativa para la reducción de los costos del tratamiento térmico. Proceso que consiste en el drenado del aceite contaminado y su posterior almacenamiento en contenedores adecuados, seguido de un prelavado del interior y un lavado del transformador una vez desensamblado, ya sea por medio de un solvente orgánico o una solución emulsionante o desengrasante que permita remover eficientemente el aceite de las superficies metálicas del transformador (Marulanda & Bolaños, 2010). Además de reducir el peso del inventario a gestionar por medio de tratamiento térmico y por ende sus costos, este proceso permitiría reciclar el hierro y el cobre que constituyen la carcasa del transformador y el núcleo, respectivamente.

3.1. Procesos de descontaminación de equipos con PCB

Las alternativas de descontaminación más comúnmente utilizadas son las de lavado de los equipos contaminados, rellenado o *retrofilling* y el calentamiento al vacío, cuya viabilidad dependerá de las características de los equipos a tratar y el grado de concentración de PCB que contengan.

3.1.1. Lavado de equipos contaminados

Teniendo en cuenta las consideraciones presentadas anteriormente, los procesos de lavado permiten reducir el peso de los elementos contaminados con PCB que van a ser sometidos a destrucción, con el fin de reducir sus costos de eliminación en especial cuando deben ser sometidos a movimientos transfronterizos.

De manera sucinta, el proceso de lavado de transformadores eléctricos contaminados con PCB (figura 3 y figura 4) inicia con la remoción de aislantes y superficies de enfriamiento, y el posterior drenado del aceite del interior del transformador por medio del puerto de muestreo; etapa que puede optimizarse utilizando una superficie inclinada para favorecer el escurrimiento o



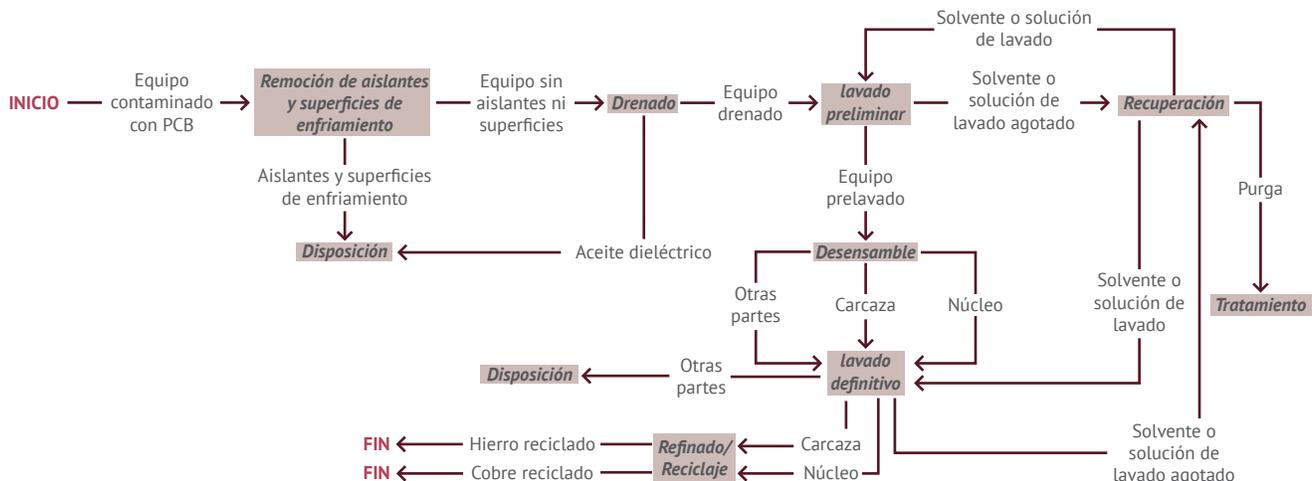
◀ Equipo contaminado con PCB

mediante el suministro de calor¹⁸ al transformador (a temperaturas entre 40°C y 60 °C) con el fin de reducir la viscosidad del aceite.

Posteriormente, y antes del desensamble, se llena el transformador con el solvente o solución de lavado para realizar un prelavado, recirculándolo durante un periodo de tiempo determinado, este fluido de lavado

¹⁸ Este suministro de calor se puede lograr mediante transferencia por convección utilizando aire caliente.

Figura 3. Diagrama de bloques (esquema general) para el proceso de lavado de equipos con PCB, caso transformador eléctrico



3. Procesos de descontaminación
y eliminación de equipos y
desechos contaminados con pcb

**No. 6. Manejo ambientalmente racional de equipos
y desechos contaminados con PCB**

puede también calentarse ligeramente para lograr una mejor remoción. Es importante evidenciar que esta etapa puede exigir varias inyecciones de solvente o solución, dependiendo de la cantidad de aceite dieléctrico que se puede solubilizar en el solvente orgánico o emulsionar en la solución de lavado.

Subsecuentemente, y al constatar que no se logra una mayor remoción en el prelavado, se procede a desensamblar y lavar¹⁹ el transformador dentro de una cuba, que debe contar con un medio de agitación, mecánico o ultrasónico, así como con un medio de calentamiento indirecto. Una vez finalizada esta etapa, se procede a recuperar la solución o el solvente orgánico usados en el prelavado y el lavado por medio de una operación de separación como

la destilación, de manera que se obtenga un solvente enriquecido en aceite contaminado con PCB y solvente o agua limpia para un lavado posterior²⁰ (Figura 4).

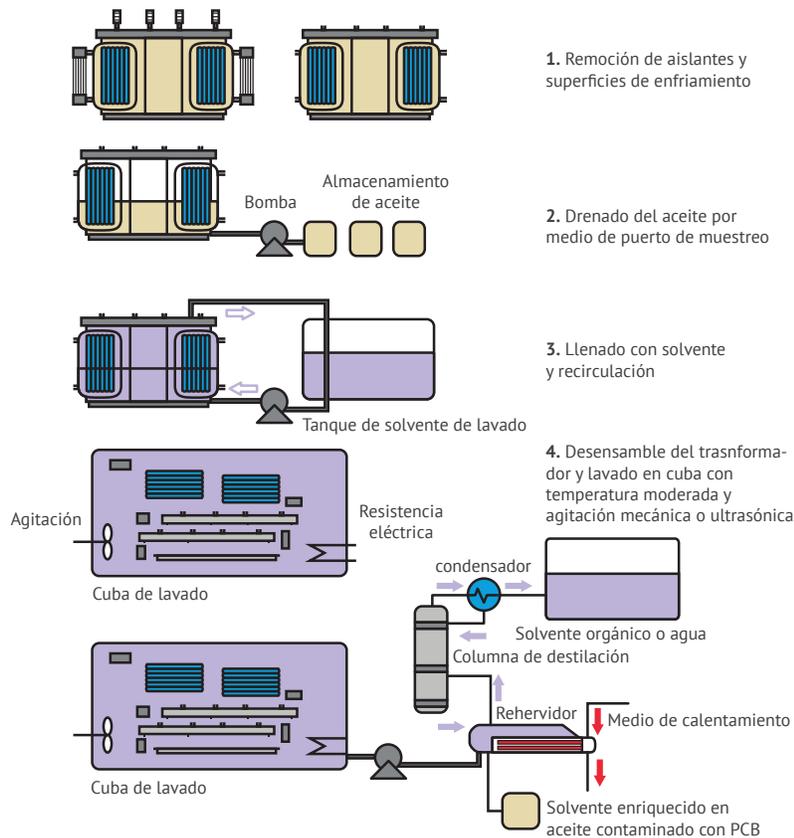
**3.1.1.1. Criterios generales para la selección
del solvente o solución de lavado**

Como se mencionó, el lavado de un equipo puede llevarse a cabo utilizando una solución acuosa de un agente emulsionante del aceite en agua (microemulsión) o con un solvente orgánico (fase homogénea); aun así, la concentración del producto seleccionado se considera óptima cuando disuelve una cantidad máxima de contaminante con una mínima cantidad de agente químico. Otros criterios en la selección de los

¹⁹ El tiempo de lavado se determina de acuerdo con indicadores cualitativos o cuantitativos del proceso.

²⁰ Idealmente, este proceso no debería producir vertimientos o emisiones que puedan generar un impacto ambiental significativo.

Figura 4. Esquema didáctico con las etapas que componen el proceso de lavado de transformadores contaminados con PCB



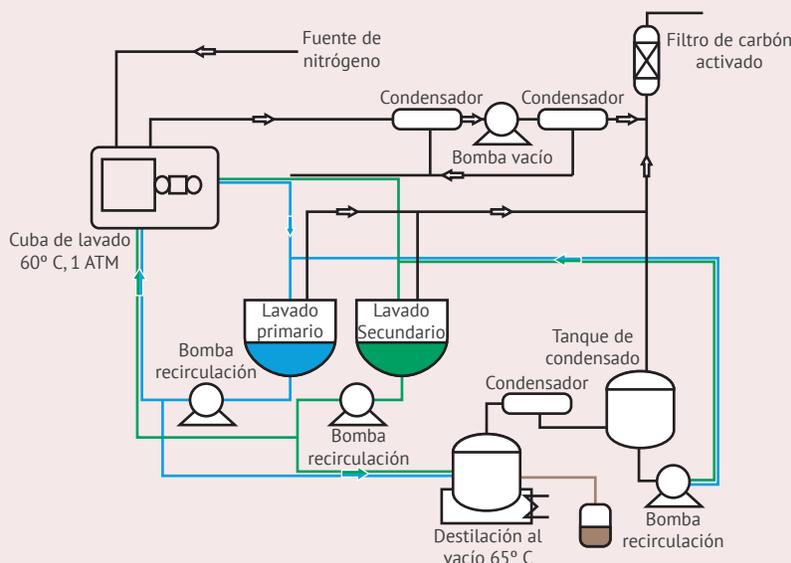
componentes de una solución de lavado y sus proporciones en la solución son los siguientes: (i) propiedades reológicas de la solución de lavado, antes y después de la solubilización de aceites y PCB, de manera que se facilite el bombeo a temperaturas moderadas (40-60 °C), (ii) utilización de productos no tóxicos y biodegradables, fáciles y seguros de manejar y (iii) disponibilidad comercial de los productos.

En el **recuadro 5** (Marulanda, 2014) se describen algunos estudios relacionados con la selección de solventes orgánicos o soluciones de lavado para la remoción de aceites contaminados con PCB de transformadores y suelos contaminados, enfatizando los parámetros considerados en la realización de estos estudios tanto para la selección de la solución de lavado como para el desarrollo de las pruebas.

Recuadro 5. Estudios realizados para la selección de solventes orgánicos y soluciones de lavado

Kanbe y Shibuya (2001): investigadores japoneses evaluaron la relación entre las etapas progresivas de desmantelamiento y la limpieza lograda usando hexano como solvente. Las pruebas de lavado²¹ se realizaron con dos transformadores que contenían aceite dieléctrico contaminado con 15 y 17 mg-PCB/Kg de aceite, respectivamente²². Por su parte, la planta piloto consistió en un sistema conformado por el equipo de limpieza o cuba de lavado (0.7 m³), dos tanques de almacenamiento de solvente, recuperación del aceite y reciclaje del solvente usado mediante una destilación al vacío (13 Kpa y 65 °C) y, un sistema de tratamiento de gases por adsorción por filtros con carbón activado (**figura 5**)

Figura 5. Representación de la planta piloto de lavado con hexano diseñada por Kanbe y Shibuya, (2001)



Elaborado con información de Kanbe y Shibuya (2001)

Por medio de este método, los autores verificaron que era posible limpiar los materiales no porosos de la pared y del núcleo llegando hasta el límite de detección de PCB. Sin embargo, la reducción del contenido de aceite y PCB en los materiales porosos no pudo establecerse por debajo del límite de detección sin una etapa adicional de lavado con reducción de tamaño del papel a trozos de 5 mm.

Li; Landriaul; Fingas & Potvin (2001): estos investigadores canadienses desarrollaron una alternativa al hexano, dando un resultado exitoso para la reconstrucción y descontaminación de transformadores contaminados haciendo uso de varsol -producto fácilmente disponible y de bajo costo-. El proceso consistió del drenado inicial y remoción del núcleo y serpentines. El interior del transformador se limpió con trozos de material adsorbente humedecidos con el solvente y un posterior enjuague con aceite dieléctrico, lo que permitió remover el 99% de los PCB. Sin embargo, las superficies de difícil acceso (bancos de aletas) requirieron múltiples lavados y recirculación del varsol²³. La reconstrucción del transformador exigió el remplazo del núcleo y los serpentines y el llenado con aceite dieléctrico libre de PCB, demostrándose que, luego de un año de operación, la concentración de PCB en el aceite era menor a 50 ppm, partiendo de una concentración inicial de PCB en el aceite de 280 ppm.

21 El lavado consistió de dos etapas y la duración de cada etapa dependió de la presencia de materiales porosos del núcleo (papel, madera y cables). En el caso del lavado de materiales no porosos (carcasa del transformador), el primer lavado tomó 5 minutos y el segundo lavado 10 minutos, mientras que el lavado de materiales porosos requirió un primer lavado durante 60 minutos y el segundo lavado por 600 min. La cantidad de solvente usado para cada etapa de lavado fue de 760 litros, con una velocidad de circulación del solvente de 200 l/min. La concentración de aceite en el solvente -una vez terminado el proceso de destilación y reciclaje- alcanzó 40-50 % en peso.

22 De acuerdo con estándares internacionales (CCME, 1995) estos transformadores se clasificarían como no PCB. Sin embargo, la norma Japonesa es aún más estricta, requiriendo valores de 0,5 mg-PCB/Kg como requisito para no ser considerado contaminado.

23 El progreso de la limpieza se siguió por medio del aumento de la concentración de PCB en el varsol hasta que no se registraron incrementos después de 30 minutos.

Estos estudios demuestran que el lavado de transformadores contaminados haciendo uso de solventes orgánicos, requiere el desmantelamiento del núcleo y la carcasa, así como el lavado en dos etapas, lo que permite descontaminar y facilitar el reciclado del material no poroso (hierro y cobre); proceso que ratifica la posibilidad de reducir los costos de la gestión de los residuos de PCB mediante incineración. No obstante, y debido a la dificultad que representa la limpieza de los materiales porosos, el lavado exige un proceso complementario para gestionar dichos residuos PCB, destinándolos al proceso de incineración²⁴. Sin embargo, y a pesar de que los resultados obtenidos con hexano en el lavado de los materiales porosos y no porosos son alentadores en cuanto a la versatilidad del proceso, la utilización de un solvente orgánico volátil y tóxico o compuestos similares -a escala planta piloto o industrial- requiere consideraciones adicionales de seguridad y control de emisiones, además del alto costo del hexano puro en la etapa de lavado.

Otra posibilidad de lavado es mediante el uso de varsol, cuya efectividad depende principalmente del tiempo de contacto y la agitación, así como del tiempo de servicio del transformador, ya que los PCB se pueden adsorber sobre las superficies barnizadas o rugosas, requiriendo múltiples lavados (Li et ál., 2001).

Se debe recordar que todos los desechos contaminados con PCB, deben ser destruidos de manera ambientalmente racional de acuerdo con lo planteado en la sección 3.2 de este documento.

3.1.2. Rellenado o retrofilling²⁵

El *rellenado o retrofilling* para equipos de potencia con contenidos menores de 500 ppm de PCB, es un método de descontaminación que se aplica principalmente cuando cuentan con una vida útil considerable y los costos de reemplazarlos por equipos nuevos justifican prolongar su vida útil²⁶. Este proceso inicia con el drenado del aceite dieléctrico contaminado con PCB y su almacenamiento en cacas de seguridad, seguido por el llenado con aceite dieléctrico libre de PCB con características similares al usado por el transformador (figura 6).

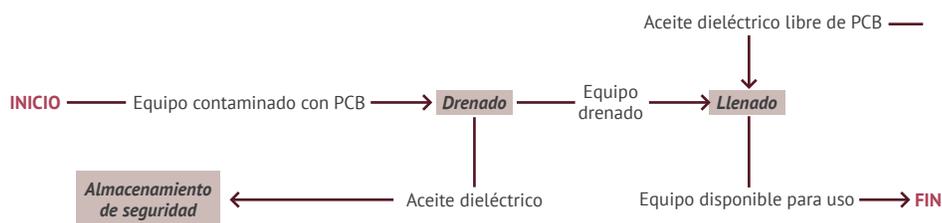
El *rellenado* se considera una opción de descontaminación de equipos que presenten una concentración de PCB dentro del intervalo de 50 a 500 ppm en el aceite, ya que se asume que después del drenado de aceites que se encuentran en este intervalo, su remanente en los materiales porosos se reduce hasta alcanzar un porcentaje del aceite inicial del 5% al 10%. Es decir, después del llenado con el aceite libre de PCB, la concentración de PCB en el aceite, resultado de la difusión del aceite contaminado impregnando los materiales porosos al aceite fresco, no debería exceder 50 ppm, permitiendo su reclasificación como no PCB. Es importante aclarar que este proceso es más efectivo con equipos contaminados con PCB -en procesos de mantenimiento- que con aquellos que originalmente contuvieron aceite PCB puro o alguna mezcla comercial (Pfafflin & Ziegler, 2006).

²⁴ Adicionalmente, los autores concluyeron que la condición más importante para remover los PCB de los componentes del transformador era asegurar que el solvente estuviera en contacto directo con la superficie de los materiales, por lo que dependiendo el tipo de material, poroso o no poroso, la etapa de desmantelamiento para lograr el objetivo de limpieza es mayor.

²⁵ Se debe tener en cuenta que el relleno o *retrofilling* en el marco de la gestión integral de PCB, solo aplicará para los casos aceptados por la normativa ambiental vigente.

²⁶ Es importante considerar la relación costo beneficio en la implantación de un método para descontaminación o retiro de un equipo PCB, ya que la adquisición de un equipo de características similares, así como la mano de obra y maquinaria requerida para las operaciones de desmontaje del transformador contaminado y puesta en línea del transformador nuevo pueden elevar los costos de operación y mantenimiento de una empresa con un significativo inventario.

Figura 6. Diagrama de bloques (esquema general) para el proceso de relleno de equipos con PCB, caso transformador eléctrico





Es conveniente realizar un análisis de PCB después de 6 meses de realizado el rellenado con el fin de verificar la concentración resultante de PCB en el equipo, ya que existe la posibilidad de exceder el límite de 50 ppm. Esta no conformidad tiende a obedecer al errado escalamiento del llenado (de pruebas piloto a escala real) en función del tamaño y diseño del equipo, desconocimiento de la cantidad y especificaciones de los materiales porosos y de la incorrecta realización del proceso de llenado propiamente dicho (**Canadian Council of Ministers of the Environment CCME, 1995**). Para finalizar, es menester evidenciar que la principal consideración de la operación de rellenado es la disposición final del aceite contaminado con PCB²⁷ así como de los desechos que se generen durante el proceso de descontaminación. Estos elementos contaminados con PCB deben manejarse de manera ambientalmente racional de acuerdo con las alternativas descritas en la sección 3.2.

3.1.3. Calentamiento al vacío

Además de la utilización de solventes orgánicos o soluciones emulsionantes, otros estudios han reportado la utilización del método de separación de aceites dieléctricos y PCB por medio de calentamiento al vacío, con el fin de evaporar los PCB de la superficie a temperaturas relativamente bajas en comparación con la incineración (Shibuya et ál., 1997). El montaje experimental



consta de una etapa inicial de pretratamiento donde se realiza el drenaje, posteriormente, y con calentamiento al vacío, se logra aumentar la velocidad de escurrecimiento del PCB para su posterior almacenamiento; por su parte, el aceite evaporado es condensado y recuperado gracias a una bomba de vacío y, las emisiones furtivas son tratadas con un sistema de control de emisiones fundamentado en filtros de carbón activado y colectores de niebla (**figura 7**).

La aplicación de este método a transformadores contaminados con menos de 50 mg PCB/Kg de aceite dieléctrico permitió verificar que la concentración del contaminante en los serpentines alcanza reducciones por debajo del límite de detección de 0.05 mg/Kg de aceite dieléctrico a 200°C (0.05 Torr y 10 horas)²⁸. Este método, asegura que los PCB no sufran transformaciones a productos indeseados (como las dioxinas) al trabajar a temperaturas inferiores a los 250 °C.

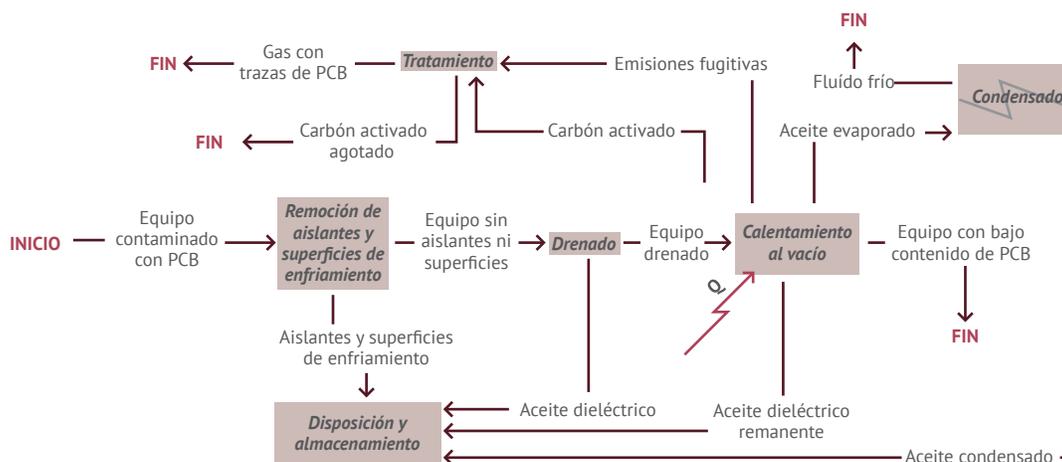
◀ Fotos 1 y 2. Aceites dieléctricos drenados contenidos

27 Se reitera la necesidad de analizar la relación costo/gasto/efectividad de este proceso, ya que el transporte y la eliminación del aceite dieléctrico contaminado con PCB puede alcanzar los costos de un transformador nuevo, para lo cual el peso de aceite contaminado a remover del transformador y el gasto del tratamiento, así como la vida útil remanente del transformador, entre otros aspectos, serán determinantes para la gestión interna y externa del residuo. Sin embargo, el remplazo de un transformador involucra erogaciones asociadas con el tratamiento del transformador contaminado y la logística del remplazo de la unidad (grúa, la suspensión del servicio, mano de obra, accesorios, entre otros).

28 Por medio de cromatografía de gases se estimó una distribución de puntos de ebullición del aceite dieléctrico entre 200 y 450 °C. Sin embargo, a 0.05 Torr se estimó de 185 °C. El aceite dieléctrico vaporizado es condensado a 5 °C.

**No. 6. Manejo ambientalmente racional de equipos
y desechos contaminados con PCB**

Figura 7. Diagrama de bloques (esquema general) para el proceso de calentamiento al vacío para el tratamiento de PCB, caso transformador eléctrico



Los experimentos de Shibuya et ál. (1997) evidencian que después del tratamiento no se detectaron PCB en las superficies del transformador y el núcleo, salvo en los materiales porosos como el papel y la madera, los cuales requieren de reducción de tamaño de los materiales para garantizar mayor escurrimiento. Así mismo, y con el fin de verificar el riesgo de emisión de PCB a la atmosfera, se midió el contenido de PCB antes y después del tratamiento por adsorción, utilizando el método de condensación con oxígeno líquido, obteniéndose concentraciones inferiores al límite de detección, por lo

que es posible considerar que la operación es ambientalmente segura.

En la **tabla 11** se resumen algunas de las consideraciones más relevantes con respecto al tipo de insumos requeridos en las opciones discutidas para el lavado y descontaminación de equipos contaminados con PCB, temperaturas de operación y productos obtenidos.

Tabla 11. Resumen de los procesos de lavado y descontaminación de transformadores

Tipo de proceso	Insumos requeridos	Temperatura de operación	Productos del proceso	Reciclaje de insumos y producto final
Lavado con solución emulsionante	Emulsionante o detergente comercial afín al aceite	Ambiente a 60°C	Solución acuosa contaminada	Se separa y recicla agua, se obtiene una solución acuosa concentrada en aceite y PCB, 10%-30%
Lavado con solvente orgánico	Solvente orgánico miscible con el aceite y fácil de separar de este	Ambiente a 60°C	Mezcla homogénea de solvente orgánico contaminado	Se separa y recicla el solvente, se obtiene un concentrado de PCB en el aceite 20-40% en peso
Rellenado o retrofilling	Aceite mineral libre de PCB afín al transformador	Ambiente	Aceite dieléctrico contaminado	El aceite contaminado se puede usar para rellenar un transformador con un contenido de PCB mucho mayor
Calentamiento al vacío	Gas caliente o calentamiento por radiación	>200°C	Aceite dieléctrico contaminado	Aceite contaminado con PCB

Elaborado con información de CCME (1995), Kambe & Shibuya (2001), Marulanda (2014), Shibuya et ál. (1997)

3.2. Procesos para la eliminación de PCB y desechos contaminados con PCB

Debido a la resistencia química de los bifenilos policlorados, los sistemas de eliminación para este tipo de sustancias exigen operación bajo condiciones extremas de presión y temperatura, como la incineración, la oxidación en agua bajo condiciones supercríticas, la reducción química en fase gas, el plasma, o

mediante uso de catalizadores que permitan reducir la energía de activación de reacciones químicas de remoción del cloro de la molécula (Plascon, 2014). Por su parte, tratamientos fundamentados en el ataque microbiológico, con exposición a radiación ultravioleta o aplicación de ultrasonido constituyen alternativas que hasta ahora se consolidan en laboratorios de investigación, y que por el momento no permiten procesar volúmenes significativos de este compuesto orgánico persistente (tabla 12).

Tabla 12. Comparación de procesos relevantes para la destrucción de PCB y su estado de desarrollo

Proceso	Ventajas	Condiciones de operación	Desventajas	Estado de desarrollo	Aplicabilidad
Tratamiento térmico	Sistema de flujo continuo, amplia aplicabilidad y eficiencia de destrucción	800°C<T<1200°C Presiones bajas. Tiempos de residencia del orden de segundos.	Costo elevado, alta temperatura. Emisión de gases tóxicos: PCDDs, PCDFs, N ₂ /SO _x	C	Residuos sólidos y líquidos, suelos contaminados
Oxidación en agua bajo condiciones críticas	Sistema cerrado de flujo continuo y alta eficiencia de destrucción con escasa formación de gases tóxicos	400°C<T<600°C P> 200 atm Tiempos de residencia del orden de segundos-minutos	Alta corrosión. Condiciones de presión y temperatura altas	P	Residuos líquidos
Decloración química	Sistema de flujo continuo operado a baja temperatura y presión	Uso de catalizadores, hidrógeno, sodio	Baja eficiencia de destrucción. Costo elevado	P	Aceite contaminado con PCB
Reducción química en fase gas	Sistema de flujo continuo con alta eficiencia de destrucción	Alta temperatura	Usa hidrógeno, riesgo de explosión costo elevado	C	Aceite contaminado con PCB
Bioremediación	No hay subproductos. Condiciones ambientales. Aplicable a grandes extensiones de tierra	Temperatura y presión ambiente	Baja eficiencia de destrucción. Proceso muy lento. Inactivo para Orto-PCB	L	Suelos contaminados

Nota: el estado de desarrollo se clasifica en L: laboratorio, C: comercial, P: piloto.

Elaborado con información de Marulanda (2014), Marulanda y Valencia (2013) y Tavlarides et ál. (2000).

**No. 6. Manejo ambientalmente racional de equipos
y desechos contaminados con PCB**

3.2.1. Tratamiento térmico

La descomposición térmica de los PCB, a temperaturas entre 870°C y 1200°C, ya sea en un incinerador dedicado²⁹ o en una planta de producción de cemento adaptada para tal fin³⁰, se ha considerado como una tecnología capaz de procesar grandes volúmenes de material y residuos peligrosos. Este proceso consta de tres grandes etapas, a saber: a) oxidación térmica, b) generación de vapor con calor residual y, c) tratamiento de gases en un tren de tratamiento (figura 8).

La oxidación se realiza habitualmente con un horno rotatorio y una cámara de postcombustión. En el primer equipo, el compuesto orgánico persistente logra ser oxidado mientras rota en el horno, cuyo perfil de temperatura se encuentra entre 850°C y 1200°C; en esta etapa también se logran fundir otros compuestos inorgánicos que acompañan el aceite, los cuales son removidos en forma de escoria en la base del horno incinerador. El segundo equipo es un cilindro vertical que quema combustible o desechos líquidos, el cual tiene por objeto oxidar compuestos gasi-

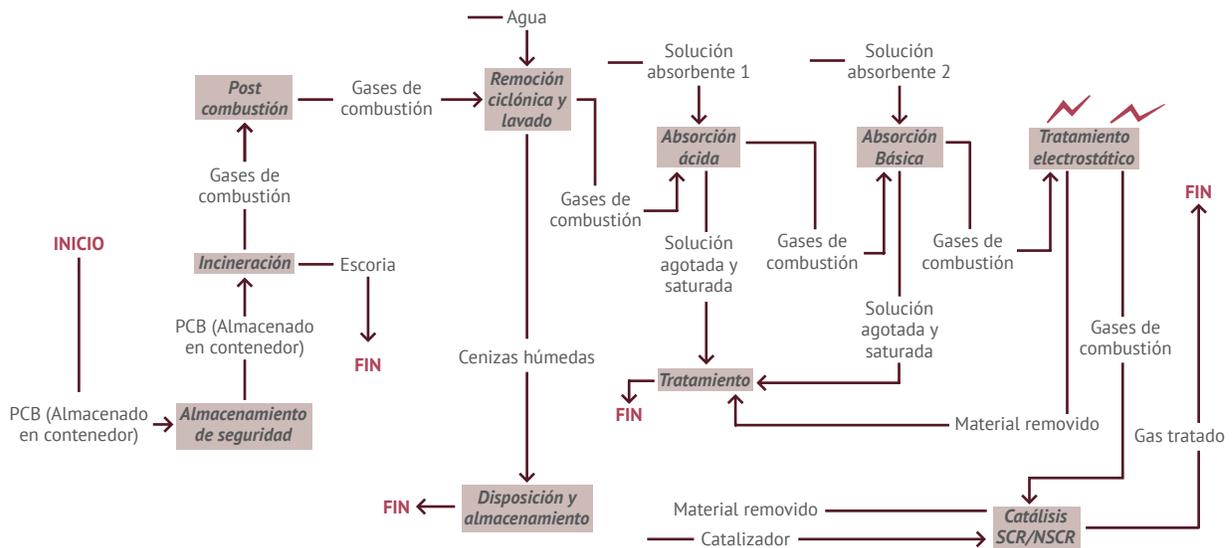
ficados o sustancias químicas parcialmente oxidadas. Posteriormente, la recuperación de calor residual se logra en una caldera que aprovecha las altas temperaturas de los gases de combustión para generar vapor sobrecalentado, el cual es utilizado como fluido de servicio en el proceso o en otra línea de trabajo (EPA, 2004; NETL, 2000; UNEP Chemical, 2000).

Finalmente, se establece un tren de tratamiento de gases de combustión que, en la mayoría de los casos, consta de un sistema de remoción de material particulado de gran tamaño y gases solubles en un hidrociclón; posteriormente pasa por un proceso de absorción reactiva (ácida y básica) en torres denominadas *scrubber*, donde se remueven gases ácidos o alcalinos. El gas residual pasa finalmente por un precipitador electrostático (ESP por sus siglas en inglés) y a un sistema catalítico selectivo (SCR) o no selectivo (NSCR por sus siglas en inglés). Es importante recordar que las cenizas generadas en el proceso y el material capturado en el tren de tratamiento de emisiones se consideran materiales peligrosos, razón por la cual son dispuestos en rellenos sanitarios de seguridad (Bayer, 2010).

29 Un horno incinerador es utilizado habitualmente en las plantas de tratamiento de residuos peligrosos con dimensiones aproximadas entre 10 y 15 metros de longitud y diámetros entre los 2.5 y 4 metros.

30 Por lo general, los hornos de cemento consisten en un cilindro de entre 50 y 150 metros de largo, ligeramente inclinado con respecto a la horizontal (en pendiente de entre 3% y 4%), cuya rotación oscila entre 1 y 4 revoluciones por minuto aproximadamente. Por el extremo superior, o "frío", del horno rotatorio se introducen las materias primas, como piedra caliza, silicio, alúmina y óxidos de hierro. La pendiente y la rotación hacen que los materiales descendan hasta el extremo inferior, o "caliente", del horno. Este recibe calor por el extremo inferior, donde las temperaturas llegan a ser de 1.400°C-1.500°C. A medida que los materiales se desplazan en el horno son sometidos a un proceso de secado y tratamiento térmico para formar el clínker (PNUMA, 2005).

Figura 8. Diagrama de bloques (esquema general) para el proceso de incineración de PCB, caso aceite dieléctrico



Elaborado con información de Bayer, 2010; EPA, 2004; NETL, 2000; UNEP Chemical, 2000.



◀ **Horno incinerador de residuos peligrosos**

Es bien sabido que las quemas a cielo abierto y los procesos térmicos en condiciones no controladas son una de las fuentes principales de generación de dioxinas (PCDD) y furanos (PCDF), que resultan como subproductos de la combustión incompleta de compuestos halogenados, siendo incluso más tóxicos que los mismos químicos de los cuales proceden (Caneghen et ál., 2014), razón por la cual la incineración de desechos requiere de estrictos controles técnicos y ambientales. En este sentido, varios estudios y reportes técnicos de UNEP Chemical (2000) indican que los incineradores y hornos cementeros³¹ bien operados pueden destruir los PCB eficientemente, sin la formación de estos compuestos (Karstensen, 2008; Karstensen et ál., 2010).

Por otra parte, según UNEP Chemical (2000), otra tecnología de tipo térmico disponible es la de plasma que puede servir para convertir numerosos compuestos orgánicos complejos en moléculas más sencillas e inocuas como dióxido de carbono, agua y ácido clorhídrico. Se basa en el principio de someter una corriente del material que se va a tratar a una descarga eléctrica de alta energía. Con el arco plasmático pueden alcanzarse temperaturas extraordinariamente elevadas. A esas tempe-

raturas las sustancias químicas se disocian rápidamente. Las condiciones del plasma, en particular la presión y la posible atmósfera residual, pueden adaptarse a los requerimientos concretos del caso. La complejidad de la tecnología implica que los costos del tratamiento pueden ser relativamente elevados y, por consiguiente, aún no se utiliza ampliamente. Otras tecnologías afines utilizan un método combinado plasma-químico, en el que la “atomización” a alta temperatura va seguida de una oxidación a productos secundarios inocuos.

3.2.2. Tecnología de declorinación catalítica

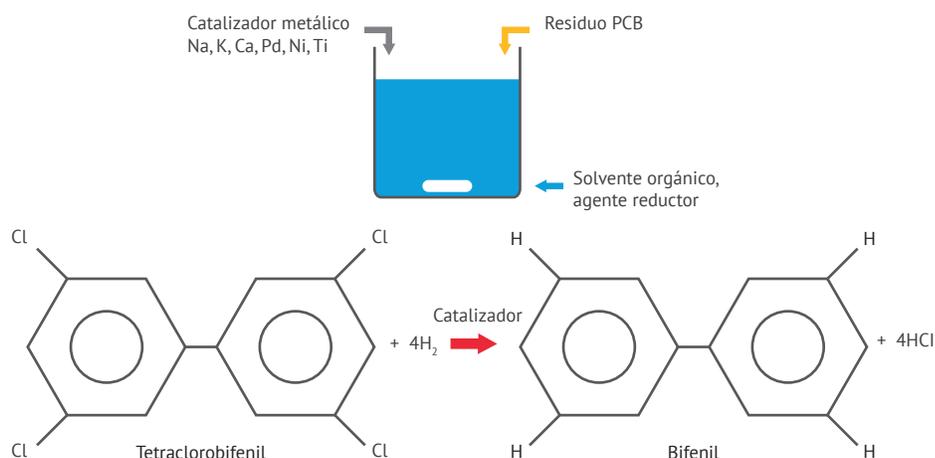
La declorinación catalítica es un proceso usado para remover el cloro de los PCB por medio de la reacción, promovida por un catalizador metálico³², entre el hidrogeno gaseoso o un solvente orgánico que contenga un agente reductor o donante de hidrógeno y el cloro de los PCB; de forma tal que se obtienen como productos de la reacción el bifenil y ácido clorhídrico para una molécula de tetraclorobifenil (figura 9).

Aunque la declorinación es un proceso que puede ocurrir con relativa facilidad en laboratorios de

31 En la actualidad (2015) aún no existen en Colombia incineradores u hornos cementeros autorizados para tratar desechos contaminados con PCB en concentraciones mayores a 50mg/Kg. Esta falta de tecnologías de destrucción apropiadas para el tratamiento de los desechos contaminados con PCB es una seria dificultad e incluso una preocupación nacional debido a la existencia de tratados internacionales que han fijado fechas para la eliminación de estos residuos (MAVDT, 2007). Sin embargo, se han venido adelantado por parte del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, con la colaboración del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo -PNUD, las gestiones necesarias con el fin de realizar pruebas piloto de destrucción de PCB por medio de incineradores y hornos cementeros.

32 Entre los catalizadores se pueden considerar los siguientes: Sodio, potasio, cadmio, paladio, níquel y talio.

Figura 9. Ejemplo de la reacción de declorinación catalítica



Elaborado con información de Marulanda (2014)

investigación, existen limitaciones de orden técnico y ambiental que han impedido el escalamiento del proceso a un nivel de planta piloto o industrial, entre las cuales se pueden enunciar las siguientes: a) la dificultad del mezclado del sistema heterogéneo formado por el aceite, catalizador y agente reductor, lo que obliga realizar un mezclado mecánico intenso; b) la alta explosividad de hidrógeno gaseoso como agente reductor, c) la alta reactividad de catalizadores metálicos al entrar en contacto con el agua; d) la facilidad de desactivación de los catalizadores debido a la contaminación que sufren con los mismos productos de las reacciones que promueven, lo cual incrementa los costos de operación y; e) el subproducto regular del proceso es un aceite dieléctrico contaminado con bifenil y ácido clorhídrico, de manera que éste no es reutilizable directamente debido a la toxicidad del bifenil y la corrosividad del ácido clorhídrico³³.

A manera de orientación general, en el recuadro 6 se enuncian algunos resultados reportados en la literatura para la declorinación de aceites contaminados y PCB puros, entre los cuales se destacan las investigaciones realizadas por De Filippis y colaboradores (1999), Mu-



◀ **Tanques de almacenamiento de
aceite dieléctrico regenerado**

nera y otros (2000), Wu et ál. (2005), Mitoma et ál. (2006), Noma y colaboradores (2007), Liao y otros (2007), Rodríguez y Lafuente (2008), Simion et ál., (2013). Trabajos experimentales que, al ser considerados para una eventual aplicación industrial, requerirán de trabajos preliminares a escala banco, lo que aumenta el número de variables fisicoquímicas, financieras y logísticas no consideradas en un principio; de igual manera, el aumento de la escala exigiría un uso extensivo de catalizadores de alto costo, lo que podría inviabilizar la estrategia de tratamiento alternativo.

33 Separar ambos subproductos del aceite no es fácil, razón por la cual el aceite resultante es un problema de manejo de residuos peligrosos para el cual no existe una metodología apropiada, diferente de la incineración.

Recuadro 6. Estudios realizados para remoción de cloro de aceites contaminados y PCB

De Filippis et ál. (1999): estos investigadores reportaron la utilización del proceso KPEG, en el cual se usa hidróxido de potasio (KOH) como agente reductor usando una mezcla de polietilenglicol (PEG) y dimetilsulfóxido como solvente, para tratar aceites dieléctricos contaminados con PCB (1015 mg/L). Dicho proceso de degradación de PCB se alcanzó entre 2 y 5 horas a temperaturas entre 80 y 125 °C. Aunque el proceso reportado es seguro, efectivo y tolerante del agua y otros contaminantes, requiere un elevado exceso de KOH, genera subproductos tóxicos y no es muy efectivo para degradar los PCB menos clorados.

Murena et ál. (2000): en esta investigación se utilizó un catalizador sulfurado de níquel y molibdeno en un reactor batch presurizado con hidrógeno gaseoso a 50 bar. Los autores reportaron que a 350 °C y 200 minutos se obtuvo una decloración completa de los PCB. No obstante, la utilización de hidrógeno gaseoso en un proceso a mayor escala representa un desafío importante debido a los riesgos de explosividad que conlleva.

Wu et ál. (2005): este equipo de investigación evaluó la utilización de hidróxido de sodio manométrico y catalizadores de metales de transición para el tratamiento de aceite de transformador contaminado con PCB a condiciones de reacción suaves. Los autores reportaron una eficiencia de decloración de 89.8% con el hidróxido manométrico y del 99.9% cuando se añadió un catalizador de metal de transición. La ventaja más importante de este método es que el aceite puede ser reutilizado y no usa solventes orgánicos. Sin embargo, el proceso requiere una agitación intensa para lograr un buen mezclado del aceite con el sodio durante la reacción y una vez terminada la reacción la separación del catalizador manométrico es difícil de lograr.

Mitoma et ál. (2006): estos investigadores estudiaron la degradación con calcio metálico, el cual actúa como agente reductor, y un catalizador de rodio (Rh/C) en una solución alcohólica de PCB en 24 horas a 25 °C usando una operación de agitación simple. Los autores reportaron una eficiencia alta y un proceso seguro, sin necesidad de los riesgos inherentes a la utilización de hidrógeno.

Noma et ál. (2007): en esta esta investigación se utilizó sodio metálico en los procesos de decloración aplicando el método de dispersión de sodio metálico (SD por sus siglas en inglés) para degradar 9 congéneres de PCB y obtener información detallada acerca de los mecanismos de descomposición y la estructura de los productos finales de degradación a alta temperatura. Las principales desventajas de este método están asociadas con la dispersión del sodio metálico en el aceite bajo atmósfera de nitrógeno, y a la exigencia de alimentar desechos de PCB libres de agua, con el fin de prevenir reacciones violentas del sodio.

Liao et ál. (2007): con el fin de evitar el uso de solventes orgánicos y la formación de subproductos tóxicos, estos investigadores usaron dióxido de carbono supercrítico (SC-CO₂)³⁴ y gas hidrógeno como agente reductor, catalizado por nano partículas de paladio. El dióxido de carbono supercrítico es viable a 30°C y a presiones superiores a 80 atm, y se separa fácilmente por medio de despresurización sin dejar rastros; adicionalmente es altamente miscible con el gas hidrógeno, evitando problemas de mezclado que se pueden presentar en los sistemas con burbujeo de hidrógeno en el aceite. Propiamente, la investigación demostró que a 100 °C y con una presión parcial de hidrógeno de 5 atm, 90% de los PCB fueron transformados a biciclohexil; de igual manera, el catalizador no sufrió envenenamiento, permitiendo su reutilización sin perder su capacidad.

Rodríguez & Lafuente (2008): estos investigadores utilizaron un catalizador de hidrocioruro de hidrazina y paladio (HZ/Pd) a 60 °C y con la asistencia de ultrasonido. La hidracina libre, producida del hidrocioruro de hidracina y carbonato de sodio actúa como donante de hidrógeno, razón por la cual a la temperatura de operación se obtuvo una completa decloración de un aceite dieléctrico contaminado con PCB (2768 ppm) en 30 minutos y en 15 minutos cuando se aplicó ultrasonido (487 Khz).

Simion et ál. (2013): en esta investigación se propuso descontaminar el aceite dieléctrico contaminado utilizando calcio metálico y una mezcla de isopropanol y etanol en una relación de volúmenes 1:4, con lo cual no se destruye el aceite dieléctrico y puede ser reciclado. Este proceso³⁵, que consiste en un mezclado, agitación y separación, define el calcio como donador de electrones y el alcohol como un generador de hidrógeno necesario para la reducción; operación que ha logrado eficiencias de decloración cercanas al 99.6% sin destrucción del aceite, dejando sin atacar los PCB mono y diclorobifenilos, de relativa baja toxicidad.

Elaborado a partir de información de Marulanda (2014)

3.2.3. Tecnología de oxidación con agua supercrítica

La tecnología de oxidación en agua supercrítica o SCWO (por las siglas en inglés de supercritical water oxidation), se ha venido consolidando como uno de los métodos más promisorios para el tratamiento de de-

sechos de PCB (tabla 13). Este es un proceso³⁶ que se lleva a cabo a temperaturas y presiones superiores al punto crítico del agua (647 K y 22.1 MPa), usualmente a 450 y 550°C y presiones solo ligeramente superiores a las del punto crítico; de igual manera, requiere un agente oxidante, que regularmente es el peróxido de hidrógeno (8 a 10% v/v), el cual –junto con el contami-

34 Este fluido es conocido como solvente verde, y su uso es amplio en la industria de alimentos.

35 El aceite dieléctrico usado en la investigación contenía 75 ppm de PCB. La reacción se llevó a cabo en un reactor sellado a 60°C por 3 h. Los autores definieron usar un volumen igual de aceite y alcohol, y una relación en peso de alcohol a calcio de 100:1. El contenido final de PCB se redujo a 0.3 ppm.

36 Esta oxidación ha sido aplicada con éxito a diferentes tipos de desechos, desde aguas residuales industriales hasta una amplia variedad de sustancias de difícil disposición y manejo, reportándose en la mayoría de los casos conversiones superiores al 99% a temperaturas entre 450 y 550 °C, excesos de oxígeno desde valores ligeramente superiores a la cantidad estequiométrica requerida para la oxidación completa hasta elevados excesos, con tiempos de residencia del orden de unos cuantos segundos a minutos.

**No. 6. Manejo ambientalmente racional de equipos
y desechos contaminados con PCB**

nante orgánico- es presurizado y precalentado previa entrada al reactor, donde, en pocos segundos y en estas condiciones, el aceite y el oxígeno son solubles con el agua supercrítica permitiendo la oxidación sin limitaciones de solubilidad, tal como ocurre en los procesos convencionales; de esta manera se obtienen como sub-productos el dióxido de carbono, nitrógeno gaseoso, y en el caso de sustancias orgánicas cloradas, se forma el ácido correspondiente. Finalmente, el efluente del reactor se enfría a temperatura ambiente por medio de un intercambiador de calor y se despresuriza por medio de una válvula de regulación de caudal que además controla la presión del sistema, permitiendo la separación de las fases gaseosa y líquida al final del proceso (figura 10).

La oxidación en agua supercrítica de PCB es un proceso que permite tratar congéneres específicos, mezclas comerciales y aceites dieléctricos contaminados, para lo cual siempre se deben identificar las condiciones de reacción, temperatura, presión, exceso de oxígeno y tiempo de residencia, así como la conversión o porcentaje

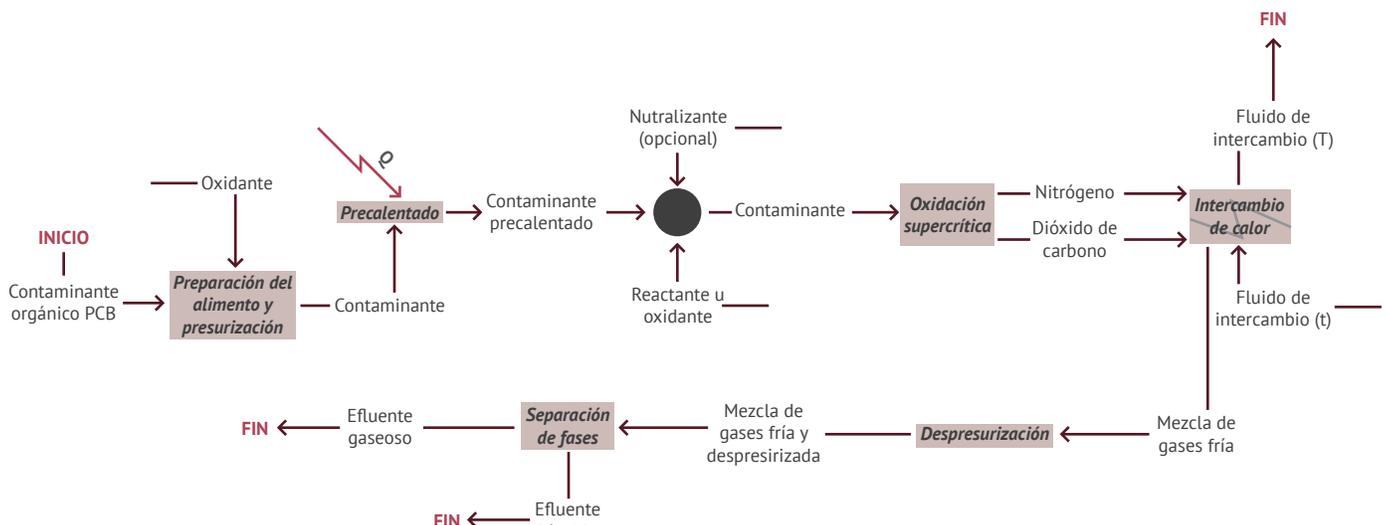


◀ **Reactor de oxidación de PCB en agua supercrítica**

37 Es menester informar que, a nivel industrial, en Tokio actualmente se encuentra en operación una planta perteneciente a la Corporación de Seguridad Ambiental del Japón -JESCO, que ha variado el proceso bajo la tecnología de oxidación avanzada hidrotérmica (AHO) (sigla en inglés de advanced hydrothermal oxidation), la cual utiliza una fase sólida, típicamente carbonato de sodio, para asistir en la oxidación y adsorber el ácido que se forma, por lo que el reactor se puede asociar a un reactor de lecho fluidizado operado a 370 - 400 °C y 265 bar, seguido de un reactor tubular. Propiamente, esta instalación tiene una capacidad de 200 Kg/día de PCB y 100.000 Kg/día de agua (Marrone, 2013).

de destrucción de los PCB. Por último, es importante señalar que una de las ventajas de este proceso³⁷, con respecto a la incineración, es la operación a una menor temperatura, lo que reduce considerablemente la posibilidad de formación de dioxinas y furanos, los cuales no se detectan en los efluentes del proceso cuando el porcentaje de destrucción es cercano al 100%.

Figura 10. Esquema general de la reacción de oxidación de PCB con agua supercrítica



Elaborado con información de Marulanda (2014)

Tabla 13. Investigaciones más relevantes reportadas en la literatura para el tratamiento de desechos contaminados con PCB por medio de oxidación en agua supercrítica o SCWO

Referencia	Desecho de PCB tratado	T (°C)	P (Mpa)	Tiempo de residencia (s)	Tipo de reactor	Exceso de oxidante (%)	Eficiencia de destrucción (%)	Comentarios
Hatakeda et ál. (1999)	3 Clorobifenil disuelto en hexano	450	30	1800	Batch	H ₂ O ₂ 200%	99.999	Formación de PCDFs en corridas con deficiencia de oxígeno
Hatakeda et ál. (1999)	Kaneclor 300 en hexano	400	30	72.7-101.7	Tubular	H ₂ O ₂ 100 -450%	99.99	Formación de PCDFs en corridas con deficiencia de oxígeno
O'Brien et ál. (2005)	2 Clorobifenil disuelto en metanol y agua	514	25	1.3	Tubular	H ₂ O ₂ 50%	99.9	No se observó efecto del metanol sobre la velocidad de reacción, ni formación de dioxinas o furanos
Anitescu et ál. (2000)	Aroclor 1248 disuelto en metanol 16.79 ppm PCB a condiciones de reacción	550	25.3	54.4	Tubular	H ₂ O ₂ 20%	99.95	No se detectaron dioxinas
Kawasaki et ál. (2006)	3 Clorobifenil emulsionado en agua 8.4 %W/W % PCB a condiciones de reacción	630	24	120	Tubular	Aire comprimido 150%	99.999	Dioxinas detectadas debido a cortocircuito en el reactor
Lee et ál. (2006)	Kaneclor 500 disuelto en hexano 84.9 g/L PCB	450	39	1800	Tubular	Sales de nitrato y nitrito de sodio	99.95	Neutralización in situ de HCL. Problemas de taponamiento. Remoción de sales requerida
Kim ³⁸ (2006)	Aceite dieléctrico contaminado con 50 ppm de PCB	500	25	30	Tubular	H ₂ O ₂ 200 - 500%	99	No se detectaron dioxinas o furanos
Marulanda y Bolaños ³⁹ (2010)	Aceite dieléctrico contaminado con 7390 ppm de PCB	530	24	25	Tubular	H ₂ O ₂ 250 - 400%	>99.99	El efluente del proceso no es ecotóxico

Elaboración propia con información de Marulanda (2014)

38 Esta investigación (escala de planta piloto) permitió verificar la fiabilidad de la tecnología, oxidando 30 Kg/h de una emulsión de PCB en agua al 3% en peso, encontrando como condiciones óptimas una temperatura de 500 °C, 150% exceso de oxígeno sobre el estequiométrico para combustión completa y 60 segundos de tiempo de residencia, obteniendo una conversión del 99.98%. Al mismo tiempo, los autores verificaron una concentración de dioxinas y furanos por debajo del límite de detección, así como de óxidos de nitrógeno (Kim et ál., 2011).

39 Esta investigación de la Universidad del Valle con financiación de Colciencias, desarrolló un proceso de oxidación en agua supercrítica para el tratamiento de aceites dieléctricos contaminados con elevadas concentraciones de PCB (Marulanda y Bolaños, 2010, 2011). El estudio experimental permitió determinar que a 540 °C, 300% de exceso de oxígeno y tiempos de residencia de menos de 30 segundos era posible destruir de forma efectiva los PCB de una emulsión de aceite dieléctrico en agua hasta valores no detectables por medio de técnicas cromatográficas, con conversiones mayores a 99.996%, así como un efluente no ecotóxico. Esta tecnología, económicamente factible, se encuentra protegida por patentes americana y china, y se adelantan negociaciones para su comercialización.

3. Procesos de descontaminación
y eliminación de equipos y
desechos contaminados con pcb

No. 6. Manejo ambientalmente racional de equipos y desechos contaminados con PCB

3.2.4. Otros procesos de tratamiento de desechos de PCB

Diversos autores han propuesto y continúan investigando diferentes alternativas para el tratamiento de PCB con base en procesos termoquímicos, ultrasónicos, asistidos por radiación ultravioleta y bioremediación. La tecnología de ultrasonido se fundamenta en la aplicación de ultrasonido de alta frecuencia al agua con el fin de producir implosiones y fragmentación de burbujas, las cuales resultan en microzonas con temperaturas extremas entre 2000 y 4000 K, promoviendo diferentes reacciones de descomposición y oxidación de compuestos orgánicos.

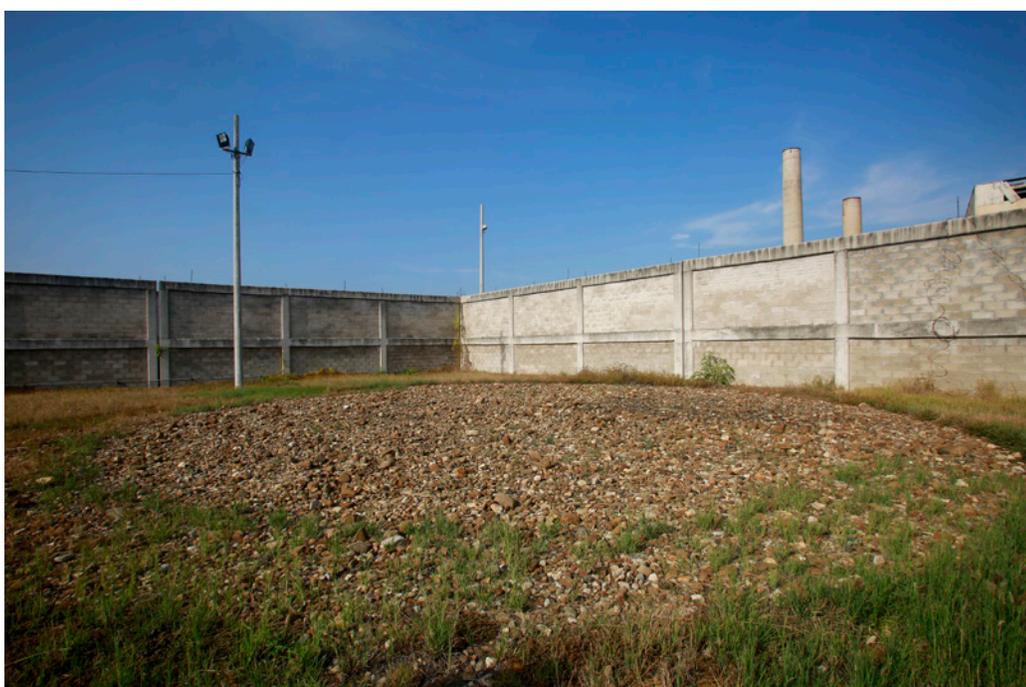
Por su parte, la radiación ultravioleta produce la excitación y posterior dechlorinación reductiva de los PCB con mayor contenido de cloro. Sin embargo, es un proceso lento y difícil de controlar, que deja como subproducto los PCB menos clorados. Algunos autores han evidenciado la formación de PCB coplanares, lo que hace que el efluente resultante sea aún más tóxico (Marulanda y Valencia, 2013).

La biodegradación de PCB se ha estudiado desde dos perspectivas: la degradación oxidativa por parte de mi-

croorganismos aerobios y la dechlorinación por medio de anaerobios. De forma general se ha encontrado que los microorganismos aerobios que pueden utilizar bifenil como sustrato y que potencialmente pueden acostumbrarse a PCB como sustrato difícilmente atacan los PCB más clorados, degradando solo los menos clorados. Por otra parte, algunas bacterias anaerobias reducen solo los PCB más clorados, dejando los menos clorados. La dificultad en la implementación de la bioremediación tiene que ver con el aislamiento y posterior adaptación de una comunidad de microorganismos que pueda sustentarse de un sustrato de PCB, razón por la cual diversas investigaciones se han adelantado enfocadas en el aislamiento de comunidades obtenidas de zonas aledañas a incineradores de PCB o suelos contaminados. Sin embargo, la mayoría de estudios se encuentran aún a escala de laboratorio y no se reportan aplicaciones de dicho proceso a nivel de planta piloto o industrial.

3.3. Descontaminación de suelos

Debido a la posible existencia de pasivos ambientales en el país, aún sin detectar o cuantificar, asociados con suelos contaminados con PCB, es menester



◀ Suelo en estudio para determinar
contaminación con PCB

enunciar algunos métodos de descontaminación que reduzcan la concentración de este contaminante en el medio, los cuales permitirán minimizar el riesgo de bioacumulación, bioconcentración y biomagnificación en organismos vivos y prevenir que el contaminante se extienda a niveles freáticos o aguas subterráneas y que a su vez el PCB migre al aluvión o cuerpos de agua superficial.

En este orden de ideas, y una vez establecidos los objetivos de la recuperación de un suelo, LaGreca (1996:1165) propone el desarrollo de cinco etapas

para el desarrollo de alternativas, a saber: a) identificación de acciones de respuesta para cada objetivo de descontaminación, b) caracterización físico química y biológica del suelo a recuperar, c) la identificación de las tecnologías potenciales existentes, d) la selección y, e) la incorporación de la tecnología o conjunto de tecnologías. Procedimiento cuyo éxito depende de la decisión de realizar la descontaminación in situ o en un sistema confinado y de la viabilidad técnica, ambiental, social y financiera de la tecnología potencial; cuya sucinta descripción se presenta en el **recuadro 7**.

Recuadro 7. Estudios realizados para la remoción de PCB en suelos contaminados

Riaza et ál. (2007): esta investigación demostró que el uso del surfactante comercial LAS (sal de sodio de ácido dodecil bencen sulfónico), componente mayoritario de la mayoría de los detergentes de uso corriente, es viable para lograr la desorción de PCB de suelos contaminados con alrededor de 70 mg/Kg de suelo. Este proceso, que tiene sus valores óptimos en 300 ppm, 120 minutos, una extracción y a una temperatura de 25 °C, logra eficiencias de remoción del 87%; cifra que se alcanza gracias al sometimiento de la solución resultante del lavado a un proceso de oxidación foto-fentonentre ion ferroso-obtenido a partir de una solución de sulfato de hierro (FeSO_4)- y el peróxido de hidrógeno (H_2O_2)-promovida a su vez por la presencia de una fuente de iluminación que acelera el proceso-. Adicionalmente, el efecto de la longitud de onda resultó ser el más importante, obteniendo un 97% de mineralización de la materia orgánica a dióxido de carbono a una longitud de onda de 254 nm y en un tiempo de 30 min.

Kastanek y Kastanek (2005): estos investigadores checos utilizaron un surfactante aniónico comercial (Novanik 1047 A) para extraer PCB de sedimentos y residuos sólidos, así como la adición de solventes orgánicos como componentes de solubilización. La elección de este tipo de surfactante obedeció a alta eficiencia de movilización del PCB, a su disponibilidad comercial y al bajo precio. Otros surfactantes que mostraron eficiencias similares al Novanik 1047 A fueron: Tween 40, Tween 80, Brij 58, Brij 92 y Hyonik NP 90. Por ejemplo, una de las mezclas preparadas como emulsionante consistió de una solución acuosa de Novanik 1047 A al 3,5% en peso y Pentanol al 2,5%. Las soluciones de lavado fueron sometidas a diferentes procesos de tratamiento usando sodio metálico y radiación UV, encontrando eficiencias de destrucción de 99,9% partiendo de una concentración de PCB en el agua de lavado 10 µg/L.

Mechliska et ál. (2010): este proyecto estudió diferentes técnicas de extracción de PCB de sedimentos con diclorometano, hexano y tolueno, aplicando agitación ultrasónica. Los autores reportaron que los mejores solventes para la remoción de PCB son el tolueno y el diclorometano debido a su estructura y polaridad.

Martel et ál. (2005): esta investigación reportó el lavado in situ del suelo contaminado con concentraciones hasta de 10.000 mg de PCB/ Kg, el cual se encontraba debajo de una construcción industrial. Previamente a la etapa de lavado, se realizó una evaluación de diferentes alcoholes, solventes orgánicos y surfactantes aniónicos, no iónicos y anfotéricos, puros y formando mezclas⁴⁰, para lo cual construyeron 52 diagramas de fases distintos. Los mejores resultados, en cuanto a remoción de PCB del suelo en laboratorio, se obtuvieron con una mezcla compuesta por el surfactante aniónico NANSÁ HS 85S, un sulfonato de dodecilbenceno, y el alcohol n-butanol.

Elaborado con información de Marulanda (2014)

En los casos en que las tecnologías de descontaminación de suelos conlleven a la aplicación de un detergente comercial o solvente orgánico determinado para el lavado, estas deben estar acompañadas de un estudio preliminar que permita determinar entre otros aspectos los siguientes:

- a. concentración a usar del emulsionante en agua, relación que en algunos casos es sugerida por el fabricante; sin embargo, una evaluación de la cantidad de emulsionante usada y la cantidad de aceite emulsionado permitirá obtener dosis de agente químico menores, con la consiguiente reducción de costos;

⁴⁰ El NANSÁ HS 85S es un surfactante que tiene un alto potencial para disolver o extraer los PCB debido a la presencia de un anillo aromático en su estructura molecular, compatible con la de los PCB. De acuerdo con los estudios de solubilidad, llevados a cabo a nivel de laboratorio, la solución de lavado que produjo los mejores resultados es la compuesta por 12,5 % de butanol y 12,5% NANSÁ HS 85S en peso en agua; la cual pudo disolver un máximo de 53 g de arocloros del suelo por Kg de solución. Así mismo, entre los surfactantes no iónicos, el grupo alquilfenoletoxilado ARKOPAL, también conocido como ARKO, presenta una alta solubilidad en hidrocarburos clorados y no clorados; así mismo, una alta gama comercial que permite equilibrar las soluciones de lavado de acuerdo con propósitos específicos. Por otro lado, la solución de lavado compuesta por un 80% en masa de etanol también tuvo una excelente recuperación de PCB en las pruebas de laboratorio. Sin embargo, para la aplicación particular de lavado de suelos su uso se dificulta debido a la baja densidad en comparación con el agua, lo que imposibilita el mezclado eficaz de la solución de lavado con suelos con elevado contenido de humedad, al no ser esta miscible con la solución de lavado.

3. Procesos de descontaminación
y eliminación de equipos y
desechos contaminados con pcb

**No. 6. Manejo ambientalmente racional de equipos
y desechos contaminados con PCB**

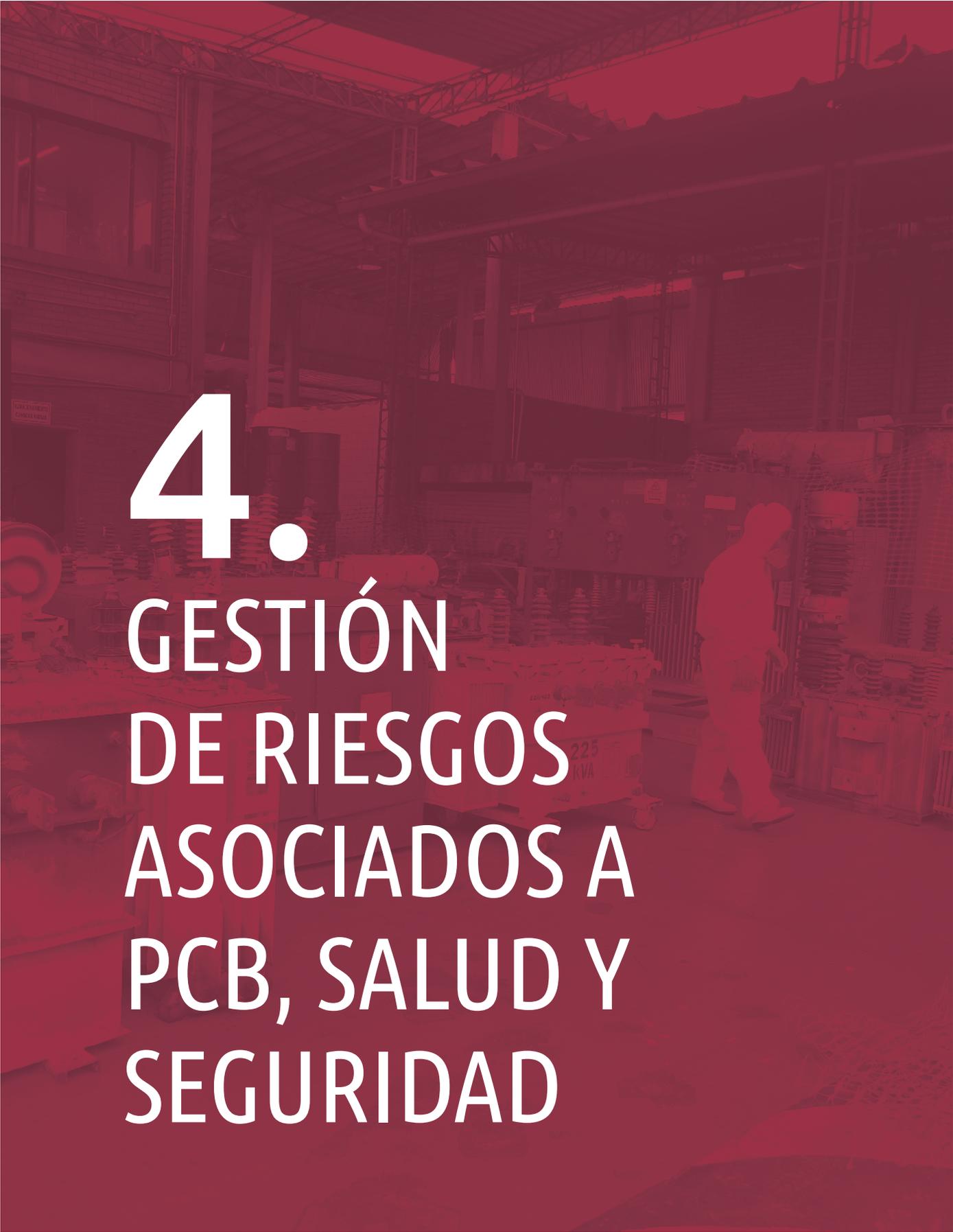
- b. la forma de poner en contacto la solución de lavado y los materiales contaminados, ya que el mezclado y la agitación eficiente de los materiales a lavar y la solución de lavado puede darse gracias a una recirculación constante del solvente;
- c. la eficiencia esperada del producto a usar, la cual está relacionada con el tiempo de trabajo y la capacidad de emulsificación máxima de aceite, de manera que se determine el tiempo máximo de lavado o la necesidad de reemplazar la solución de lavado usada por solución fresca⁴¹ y;
- d. el proceso físico-químico a implementar para recuperar o regenerar las soluciones de lavado, puesto que la evaporación del agua de la

solución de lavado y su recirculación al proceso es parte fundamental del esquema del lavado. Así mismo, no debería implementarse este proceso sin realizar las respectivas pruebas de laboratorio y a nivel piloto de las operaciones unitarias a emplear para recircular el agua de las soluciones de lavado⁴².

41 Entre las propiedades que son relativamente fáciles de medir, tanto en laboratorio como en planta, se encuentran la densidad, la viscosidad y la humedad. Una vez establecido el comportamiento de una de estas propiedades con el tiempo durante la emulsificación del aceite se puede determinar el momento adecuado para finalizar el lavado o reemplazar la solución de lavado.

42 En este aspecto, la destilación ordinaria de la solución de lavado en una columna de bandejas o empacada es una opción de fácil implantación, dada la diferencia de puntos de ebullición considerable entre el agua y los compuestos orgánicos del aceite y PCB. Sin embargo, otras operaciones unitarias tales como la ósmosis inversa o ultrafiltración podrían ser igualmente eficientes, aunque con costos mayores.





4. GESTIÓN DE RIESGOS ASOCIADOS A PCB, SALUD Y SEGURIDAD



Contenido Numeral 4

4.1.	Generalidades	56	4.8.	Límites y referencias – niveles de exposición	68
4.2.	Problemática de los PCB, dioxinas y furanos	59	4.9.	Entrenamiento	69
4.3.	Efectos de los PCB en la salud	60	4.10.	Elementos de protección personal	71
4.4.	Estudios a nivel ocupacional	61	4.11.	Contingencias – planes de emergencia	74
4.5.	Recomendaciones para la vigilancia de salud	63	4.11.1.	Características de los planes de emergencia	75
4.5.1.	Aspectos de vigilancia ocupacional	64	4.11.2.	Respuesta y limpieza de derrames de PCB	76
4.5.2.	Aspectos de vigilancia de salud pública	65	4.11.3.	Primeros auxilios	77
4.6.	Evaluación de riesgos	66	4.12.	Marco legal de referencia	77
4.7.	Comunicación del riesgo	67	4.13.	Recomendaciones para actividades que pueden presentar riesgos en las que están relacionados los PCB	78

Este capítulo tiene por objeto remarcar y aclarar lo relacionado con la protección, seguridad y salud de las personas, cuando deban realizar tareas, interactuar, o estar en cercanías de PCB o productos contaminados con ellos.

Uno de los focos de este trabajo es hacer hincapié sobre la toxicidad de los PCB, cómo han sido catalogados toxicológicamente por la Organización Mundial de la Salud - OMS (WHO por sus siglas en inglés) y vincular estos conceptos con la protección de las personas, fundamentando algunas de las medidas que se establecen como apropiadas para tareas específicas.

Buena parte de los temas mencionados en los puntos siguientes ya han sido desarrollados en los capítulos anteriores, en especial lo concerniente a aspectos técnicos y ambientales; sin embargo, en este apartado se reformula su vínculo con la prevención, integrándolos con las condiciones de exposición que puedan existir en esas tareas, con el fin de minimizar los riesgos potenciales asociados a las actividades que involucran la presencia de PCB.

Como concepto general, y de aplicación de los aspectos relacionados con tareas específicas y las evaluaciones de sus riesgos, las recomendaciones y especificaciones que se detallan a continuación no remplazan de ninguna manera las determinaciones de peligros y evaluaciones de riesgos específicos para cada caso, que deberán elaborarse y documentarse en todos los casos, tomando las condiciones

reales en las que se cumplirán las actividades a controlar, en conjunto con las personas que realizarán dichos trabajos.

Otro punto para resaltar en el desarrollo de este capítulo es la referencia a la legislación local, la que debe ser considerada en cada análisis y planificación de tareas que se realicen, debiendo actuar siempre bajo los lineamientos que brinde la normativa vigente en la materia.

4.1. Generalidades

Retomando algunas de las ideas presentadas en los tomos anteriores de este manual, a continuación en los recuadros 8, 9 y 10, se retoman o amplían algunos conceptos básicos sobre PCB, que resultan importantes para la contextualización de la salud y la seguridad en el marco de la gestión integral de PCB.



Recuadro 8. Reseña histórica de los PCB

En 1881 se descubrió la síntesis de los PCB (Schmitt-Schulz), y su producción comercial empezó a fines de la década de 1920, manufacturados y comercializados por Anniston Ordnance Company en Anniston, Alabama, EEUU.

En 1930 la compañía cambia de nombre a Swan Chemical Company. En 1933 una veintena de trabajadores tuvieron problemas de salud en la fábrica tales como: cloracné, tanto en el cuerpo como en la cara; pérdida de energía y; falta de apetito. Estos síntomas fueron conocidos como el primer signo de exposición a los PCB.

En 1935 Swann fue vendida a Monsanto (Industrial Chemical Company of St. Louis, Missouri). Esta empresa produjo PCB en sus plantas de Sauget, Illinois y Anniston hasta 1977 debido a una prohibición de fabricación originada en EEUU. A posterior Monsanto otorgó la licencia a distintas industrias para producirlo. Desde 1978 aproximadamente, y hasta principios de los 2000, los PCB se industrializaron en Italia (Caffaro), Francia (Protolec), Japón (Kanegafuchi Chemical Co.), Alemania (Bayer) y en la Unión Soviética.

Desde 1936 los científicos han afirmado distintos efectos en la salud y en el ambiente vinculados al uso y fabricación de PCB.

A fines de los años 60 y a mediados de los 70 se conocieron dos casos de contaminación accidental con estos productos a través del consumo de aceite de cocina que contenía PCB (Japón-1968, Taiwán-1979), cuando se expuso de manera accidental a miles de personas a altas concentraciones de estos productos. Algunos de los efectos generados a raíz de estos episodios, consistieron en abortos y nacimientos de niños con malformaciones. Posteriormente se llegó a demostrar que estos problemas prenatales no fueron consecuencia de los mismos PCB, sino de los dibenzofuranos policlorados o policloro-dibenzofuranos (dioxinas y furanos) producidos al calentar el aceite contaminado para la cocción de los alimentos.

Luego de estos hechos comenzaron a relacionarse los conceptos y efectos de toxicidad de los PCB, productos sintetizados por el hombre, con las dioxinas y furanos, que como se planteó, se generan como sub-productos no intencionados en una serie de procesos químicos y en casi todos los procesos de combustión, hasta en las erupciones volcánicas.

La evidencia de toxicidad de los PCB se dio a inicios de los 70, en el siglo pasado. En 1976, bajo el Acta de Control de Substancias Tóxicas (The 1976 Toxic Substances Control Act) en Estados Unidos se prohibió la producción, manipulación, distribución y comercialización de PCB. La misma prohibición se dio recién 10 años después en el Reino Unido, como parte de una iniciativa de la Comunidad Económica Europea, sin embargo se admitió que estos fluidos seguirían existiendo en equipos ya construidos, por lo que el Reino Unido y otros países del Mar del Norte determinaron en 1990 encarar y destruir los PCB definitivamente a fines de 1999 y para los países que no hicieron parte de la Conferencia Internacional relativa al Mar del Norte, pero que participaron de la convención de París en el año 90, extender ese límite hasta el año 2010.

Solo en 2004 con la entrada en vigencia del Convenio de Estocolmo, se estableció que los PCB son altamente tóxicos y que por ello deben ser eliminados. De acuerdo a este tratado habrá plazo hasta el año 2025 para seguir utilizando transformadores y condensadores que contengan PCB.

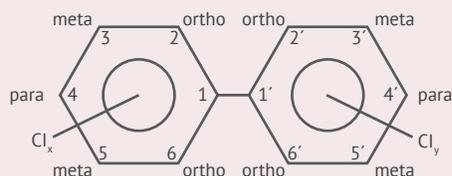
Este convenio ha sido un gran avance ya que reconoció su toxicidad y se activaron medidas para su eliminación.

Recuadro 9. Características de los PCB

- Son de aspecto líquido aceitoso o sólido incoloro o amarillo claro. No tienen olor ni sabor. Casi siempre se presentan como mezclas comerciales (Aroclor®, Kanechlor®). En estas puede percibirse un olor que se debe a otras sustancias cloradas más volátiles que pueden acompañar la mezcla.
- Los PCB, policlorobifenilos o bifenilos policlorados son una serie de compuestos que en teoría constituyen una familia de 209 congéneres.
- Estructuralmente están formados por un sistema de dos anillos bencénicos (bifenilos) en el que un número variable de hidrógenos ha sido sustituido por átomos de cloro. Son sustancias con fórmula general $C_{12}H_{10-n}Cl_n$. El número y posición (10 posibles posiciones diferentes) de los átomos de cloro determinan sus propiedades y su comportamiento ambiental y toxicológico.

Recuadro 9. Características de los PCB

Figura 11. Estructura de los PCB



- De los 209 posibles congéneres solo se han identificado alrededor de 130 de estos productos en mezclas comerciales y cada una de estas tiene la característica de tener diferentes proporciones aun dentro de la misma marca.
- Muy pocos PCB son biodegradables. Solo algunos (aproximadamente un 6% de todos ellos) presentan alta toxicidad.
- No existen PCB naturales. Todas las mezclas son producto de síntesis química llevada a cabo por el hombre.
- Todos los PCB son solubles en medios hidrofóbicos tales como aceites y grasas.
- Son inertes y muy estables a temperaturas elevadas (hasta 800° C), presentan bajas presiones de vapor y son excelentes aislantes eléctricos, por lo que se los ha utilizado principalmente como refrigerantes de transformadores eléctricos y condensadores.
- También formaron parte de la formulación de plastificantes, como agentes para mantener flexibles a otros materiales (ej.: PVC). Se han empleado también en otros procesos tales como la fabricación de papel para copia, fluidos de transferencia de calor en maquinarias, como agentes impermeables al agua y otras muchas aplicaciones.
- Sus características más importantes son:
 - » Solubilidad: ligeramente solubles en agua, muy liposolubles, se disuelven en la mayoría de disolventes orgánicos.
 - » Baja polaridad
 - » Baja volatilidad
 - » Elevada constante dieléctrica
 - » Alta viscosidad
 - » Alta estabilidad química y térmica
 - » No inflamables

Tabla 14. Propiedades físicas y químicas de mezclas comerciales de PCB

Propiedad	Unidad - referencia	Valor (intervalo)
Color	APHA	40 - 150
Estado físico	N.A.	Aceitoso, viscoso, resinoso o sólido
Estabilidad	N.A.	Inerte
Densidad	lb/gal (25°C)	9.85 - 13.50
Gravedad específica	(15.5 °C)	1.18 - 1.39
Rango de destilación	(°C)	275 - 420
Índice de acidez	mg KOH / g máximo	0.010 - 0.015
Punto de inflamación (fire point)	(°C)	176 - 238
Punto de relámpago (flash point)	(°C)	141 - 196
Presión de vapor	mmHg a 100°F (37.8°C)	0.00006 - 0.005
Viscosidad	Centistokes	3.6 - 540

Elaborado con información de Monsanto, 1995; Concoll, 2014

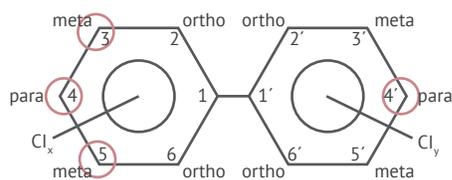
4.2. Problemática de los PCB, dioxinas y furanos

Dentro de los 209 congéneres de PCB mencionados, existen 12 llamados del “tipo Dioxinadioxina”. Estos están dentro de los compuestos que se consideran más peligrosos por su toxicidad y ciertas características de su estructura que los hacen similares a las dioxinas y furanos. Como ejemplo de un compuesto de este tipo, podemos mencionar al 3,4,4,5 tetraclorobifenilo. Este compuesto pertenece al grupo de los PCB co-planares, debido a la posición de sus átomos de cloro (**Figura 12**).

Este tipo de congéneres tienen importancia medioambiental y analítica debida a su toxicidad, similar a la de la dibenzodioxinas policloradas (PCDD) y dibenzo furanos policlorados (PCDF), por la co-planaridad de la molécula.

La cantidad y ubicación de los átomos de Cloro dentro de las moléculas determinan tanto las propiedades físicas como químicas de los PCB. La presión de vapor será menor en cuanto sea menor el grado de cloración, tal como sucede con la persistencia (estabilidad en el ambiente) y las variaciones en los tiempos de vida media del compuesto, que van desde el orden de días hasta más de un año. En relación con el concepto de persistencia y vida media de una sustancia química, se recomienda revisar la información presentada en documento: “*Generalidades y conceptos básicos sobre bifenilos policlorados – PCB*”, documento N° 1 de la serie técnica que constituye el Manual para la Gestión Integral de Bifenilos Policlorados - PCB y las referencias mencionadas en el mismo.

Figura 12. Estructura PCB co-planares



Del mismo modo que las propiedades mencionadas, la toxicidad de los PCB es directamente proporcional a la cantidad de cloro de sus moléculas, así como dependiente de su posición en la molécula, siendo los PCB co-planares los que se consideran con mayor toxicidad.

Según la OMS el congener 2,3,7,8 – TCDD “PCB dioxina” (PCB like dioxine) ha sido asignado como el PCB de máxima toxicidad y todos los demás congéneres se refieren a éste, con un porcentaje de esa característica para indicar su nivel de peligro. Este valor se denomina TEF (toxicity equivalency factors). Como ejemplo: un congener con un 0.01 TEF se considera 100 veces menos tóxico que su congener similar 2,3,7,8-tetracloro-dibenzo-pdioxina, según consta en la tabla siguiente.

Tabla 15. Factores de equivalencia de toxicidad para PCB

Congéner	Fórmula	TEF (OMS, 1994)
	2,3,7,8 - Tetracloro-dibenzo-pdioxina	1
PCB-77	3,3',4,4'- Tetracolorobifenilo	0,005
PCB-126	3,3',4,4',5'-Pentacolorobifenilo	0,1
PCB-169	3,3',4,4',5,5'-Hexacolorobifenilo	0,01
PCB-170	2,2',3,3',4,4',5'-Heptacolorobifenilo	0,00001

Fuente: OMS, 1994 – 1998 - 2005

4.3. Efectos de los PCB en la salud

La probabilidad de que se presenten daños o efectos en la salud depende del peligro que esté asociado a la sustancia y el nivel de exposición a la misma. Ésta se determina por el tiempo y la cantidad a la cual se ha expuesto una persona, que a su vez depende de la vía de ingreso al organismo entre las cuales se encuentran las siguientes principalmente:

- ✓ Absorción a través de la piel
- ✓ Inhalación de vapores o gases
- ✓ Ingesta de sustancia o de alimentos o bebidas contaminadas con éstas

La mayoría de los incidentes que se han registrado con referencia a efectos de los PCB se refieren a exposiciones por largos períodos de tiempo. Muchos de estos problemas han involucrado a trabajadores de industrias que producían o utilizaban PCB o ensamblaban componentes que contenían alguno de sus congéneres. Otro grupo de afectados se relaciona con la gente que accidentalmente fue contaminada por la ingesta de productos comestibles que contenían PCB.

Una vez que el PCB ha ingresado al organismo tiende a alojarse en tejidos, especialmente grasos, permaneciendo por tiempo considerable dada su persistencia, produciendo lesiones y efectos de bioacumulación.

Respecto a las afectaciones **agudas**, que son respuestas de los organismos que suceden o aparecen en periodos de tiempo relativamente cortos, Flynn y Kleiman (1997) señalan que luego de una exposición de corta duración a PCB, pueden presentarse patologías como el cloracné y algunos efectos en los nervios periféricos, músculos, piel y articulaciones que se denominan neuropatía periférica.

De todos modos y tal como se ha mencionado, los compuestos generados en la degradación de los PCB, como

las dioxinas y furanos, son casi siempre las causas de estas afectaciones, esto sin descartar los efectos de otros productos sensibilizantes de la piel que generalmente se pueden encontrar en elementos que contienen PCB, como los compuestos epóxicos.

En cuanto a las afectaciones **crónicas**, que se presentan como consecuencia de exposiciones prolongadas a las sustancias, se pueden mencionar: el posible desarrollo de cáncer y, la afectación de las funciones endócrinas y reproductivas (Falck et ál., 1992; Krishnan & Safe, 1993).

Frente a la determinación de umbrales o límites de exposición, así como la definición de “dosis de referencia” (RfD) que corresponden a la cantidad de sustancia a la cual podrían estar expuestos los miembros más sensibles de la población durante un tiempo de vida de 72 años, sin presentar afectaciones de su salud, EPA (1996) ha establecido la dosis de referencia para dos mezclas de PCB según se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 16 – Dosis de referencia (RfD)

Mezcla de PCB	Dosis de Referencia (RfD)
Aroclor 1016	0,07 microgramos/kg peso corporal /día
Aroclor 1254	0,02 microgramos/kg peso corporal/día

Fuente: EPA (1996)

Del mismo modo, la Conferencia Americana de Higienistas Industriales – AGIH (2014) y el Departamento de Salud New Jersey – NJHealth (1995), han ratificado la información suministrada en la hoja de seguridad proveniente del que fuera el mayor productor de PCB a nivel mundial (Monsanto), en el sentido que el valor límite de exposición a PCB en el ambiente laboral (TLV-TWA⁴³), se encuentra entre los 0,5 mg/m³ y 1 mg/m³, dependiendo del nivel de cloración de las moléculas (entre 42% a 54% de cloro).

43 TLV – TWA es el valor límite umbral. Corresponde a la concentración media ponderada en el tiempo para una jornada de trabajo diaria de 8 horas, hasta 40 horas semanales, a las que pueden estar expuestos casi todos los trabajadores, repetidamente día tras día, sin efectos adversos (ACGIH – 2014)

Tabla 17. Límites de exposición para los PCB (contacto dérmico)

Porcentaje de cloración	OSHA (mg/m ³)	NIOSH (mg/m ³)	ACGIH (mg/m ³)	IDLH (mg/m ³)
Clorodifenil 42% cloro	1 (TWA 8h)	0.001 (TWA 10h)	1 (TWA 8h)	5
Clorodifenil 54% cloro	0.5 (TWA 8h)		0.5 (TWA 8h)	

Elaboración propia con información de: ACGIH (2014), Monsanto (1995), NJHealth (2014).

De acuerdo con lo citado por Flynn & Kleiman (1997) del American Council on Science and Health, a partir de las investigaciones de diversos autores, se encuentra que a pesar de los estudios epidemiológicos adelantados en individuos con diferentes niveles de exposición a PCB con afectaciones tanto agudas como crónicas, no se han identificado patrones claros de respuesta para los diferentes grupos de individuos.

4.4. Estudios a nivel ocupacional

Según Flynn y Kleiman (1997) los estudios ocupacionales más extensos a largo plazo se han enfocado en trabajadores empleados en la fabricación de equipamientos eléctricos. Estos individuos, quienes tuvieron una exposición

cutánea diaria con los PCB durante muchos años, inhalaron niveles de PCB relativamente altos, y probablemente ingirieron algo del producto al comer cerca de sus lugares de trabajo, pueden ser considerados la población con mayores niveles de exposición a los PCB.

Según los reportes, además de molestias e irritación de piel (no se evidenció cloracné) y ojos, y de perturbaciones de la función hepática detectadas a través de análisis del nivel de enzimas del hígado, no se pudieron determinar efectos crónicos o agudos relevantes en estas personas. A pesar de la altísima concentración de PCB en sangre y tejidos grasos, no se detectaron efectos similares a los reportados en episodios de envenenamiento masivo, como los de Yuso y Yu-Cheng⁴⁴.



◀ *Actividades relacionadas con el manejo de aceite dieléctrico residual.*

⁴⁴ Caso de envenenamiento masivo reportado en Yusho (Japón) en 1968 y Yu-Cheng (Taiwan) en 1979, asociado al uso y consumo de aceite de arroz contaminado con PCB. En cerca de 3.700 pacientes de las dos poblaciones, se evidenció afectaciones oculares, pigmentación en uñas, piel y mucosas, así como manifestaciones cloracné.

Tabla 18. Estudios sobre la peligrosidad y respuesta en humanos a la exposición a PCB

Autor	Observaciones
NIOSH (Instituto Nacional para la Seguridad y Salud Ocupacional)	Realizó un estudio sobre trabajadores de mantenimiento expuestos en dos compañías eléctricas (Smith et ál., 1981a). Las concentraciones de PCB en sangre eran mucho más elevadas en esos trabajadores que en el nivel nacional de fondo (12 a 298 partes por millón (ppm) versus 10 a 20 ppm). Sin embargo, los trabajadores no demostraron tener ningún efecto sobre su salud, ni siquiera cloracné.
NIOSH (Instituto Nacional para la Seguridad y Salud Ocupacional)	Concentró su estudio sobre 224 trabajadores expuestos a PCB en una planta de manufactura de equipos eléctricos y encontró concentraciones de PCB en sangre, variando de 15 a 3.580 ppm. A pesar de estos elevadísimos niveles, no se observaron efectos adversos (Smith et ál., 1981)
Lawton et ál. (1976-1979)	Estudiaron la salud de 194 trabajadores fuertemente expuestos durante un promedio de 15 años, con algunos casos de hasta 35 años. El primer informe de trabajadores seguidos hasta 1976 no mostró efectos nocivos. Una re-evaluación en 1979 tampoco produjo evidencias de efectos adversos sobre su salud.
NIOSH (Instituto Nacional para la Seguridad y Salud Ocupacional) y Lawton et ál. (1985)	El más completo estudio sobre los efectos a largo plazo de la exposición involucró a más de 2.500 trabajadores empleados en dos distintas plantas manufactureras de condensadores eléctricos (Brown y Jones, 1981). Los investigadores del NIOSH no identificaron ningún exceso significativo de cánceres individuales entre los trabajadores, la mayoría de ellos con 20 años en el trabajo. NIOSH informó que la mortalidad total por cáncer para esta población ocupacionalmente expuesta era ligeramente menor que la de la población de los Estados Unidos en general. Se observaron 39 casos de cáncer, aunque se hubiese debido esperar 43 en una población con un perfil demográfico similar (es decir: distribución similar de edad/raza/sexo) a los de los 2.500 trabajadores estudiados. Además, no había una clara y estrecha respuesta de correlación entre la duración del empleo en los trabajos con PCB y el riesgo de mortalidad debido al cáncer.

Fuente: recopilación de información en Flynn y Kleiman (1997).

Si bien en la última parte del siglo pasado los PCB se han catalogado como cancerígenos (“probable cancerígeno humano”) (Casanovas 1996 – OIT 2004 - EPA, ACGIH, IARC, NTP), a raíz principalmente de conclusiones obtenidas de estudios sobre animales, por otro lado se han publicado estudios ocupacionales, en los que no se logran evidenciar relaciones directas entre afectaciones en salud y la exposición a PCB. Las conclusiones de cuatro de los estudios ocupacionales más importantes en la descripción de efectos asociados a los PCB se presentan en la **tabla 18**.

En línea con estas conclusiones, el *Addendum to the Toxicological Profile for Polychlorinated Biphenyls*, publicación de la Agencia para Sustancias Tóxicas y Registro de Enfermedades de Estados Unidos – ATSDR (2011), hace referencia a 38 estudios epidemiológicos en humanos y 34 en animales. En todos estos trabajos se concluye sobre los riesgos y afectaciones que pueden

producir los PCB a la salud en general se asocian, al igual que las dioxinas y furanos, con el probable riesgo de aumento a condiciones propicias para el desarrollo de cáncer de algún tipo.

Sin embargo, en el año 2015 la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer – IARC tras la revisión de la evidencia de estudios epidemiológicos ocupacionales (principalmente realizados en empresas de manufactura de transformadores) y ambientales, publicó una monografía relativa a los Bifenilos Policlorados, en la cual documenta la existencia de evidencia suficiente en humanos para documentar la capacidad de los PCB de producir melanoma maligno, por lo cual los categorizó como carcinógenos para el ser humano, asignándolos al Grupo 1. Así mismo, reporta que se ha observado asociación positiva para Linfoma No Hodgkin y cáncer de seno. Dicho documento especifica que los PCB similares a dioxina con un factor de

equivalencia de toxicidad (TEF) de acuerdo a establecido por OMS, son carcinógenos para los humanos. Entre ellos se incluyen: PCB-77, PCB-81, PCB-105, PCB-114, PCB-118, PCB-123, PCB-126, PCB-169, PCB-156, PCB-157, PCB-167, PCB-189. (IARC, 2015)

La dificultad para identificar fácilmente, inclusive en mezclas comerciales, los porcentajes de cloro y su distribución dentro de las moléculas, sumado a sus características de bio-acumulación, persistencia y adicionalmente a la eventual generación de dioxinas y furanos durante su combustión, hacen que se establezcan como tóxicos persistentes que requieren altos niveles de protección.

Sobre este criterio se basan todas las medidas de prevención que se detallan en los siguientes puntos de este apartado.

4.5. Recomendaciones para la vigilancia de salud

Tal como se planteó en la sección de efectos de los PCB en salud, en la práctica se debe hacer una diferenciación entre los abordajes de salud desde los focos: ocupacional y de la salud pública. En ambos casos, es necesario que tanto las empresas como las autoridades establezcan planes de acción para conocer la posible influencia de los PCB en la salud de trabajadores de

los que se presume o hay certeza que tienen o han tenido exposición, y de la comunidad en general, debido a contactos accidentales con estos productos.

En los párrafos siguientes se mencionan los conceptos y criterios que a través de estudios profesionales, determinaciones de la OMS y prácticas de salud ocupacional se aconseja manejar para un control integral de los aspectos de salud.



◀ 1. Foco – Salud pública

2. Foco - ocupacional



4.5.1. Aspectos de vigilancia ocupacional

Con respecto a lo manifestado en puntos anteriores, se han especificado conclusiones de estudios que ratifican el marco de control que debe existir en un ámbito como el laboral, en el cual se tienen que asegurar adecuados controles de exposición y la vigilancia de las personas expuestas. A continuación se detallan algunos criterios a considerar en los planes de seguimiento de salud en ámbitos ocupacionales.

De acuerdo con las vías de contacto con PCB y a la dinámica de acumulación y efectos en el organismo humano, los exámenes de salud eventuales o periódicos que se programen tienen que enfocarse en síntomas, evolución o afecciones agudas, buscando evidencia de:

- ✓ Alteraciones en función hepática
- ✓ Enfermedades del aparato respiratorio
- ✓ Afecciones dermatológicas
- ✓ Síndromes alérgicos

El esquema de los exámenes pre-ocupacionales requiere enfocarse en los siguientes aspectos, que pueden predisponer riesgos para la salud de personal expuesto a PCB:

- ✓ Afecciones del aparato respiratorio
- ✓ Enfermedades infecciosas
- ✓ Eczemas
- ✓ Dermatitis alérgicas
- ✓ Reacciones alérgicas específicas

Con base en estos focos, los servicios de salud deben elaborar planes de control pre-ocupacional y periódicos fundamentados en el siguiente esquema:

- ✓ Histórica clínica con antecedentes laborales.
- ✓ Examen clínico con atención en piel y función hepática, incluyendo determinaciones de SGOT y SGPT⁴⁵, así como triglicéridos y otros indicadores del metabolismo graso.
- ✓ En los casos en que durante los exámenes se detecten condiciones preexistentes que pudieran agravarse con la cercanía a PCB, se deben acordar los cambios de puestos que eviten la exposición específica a los mismos.
- ✓ Las mujeres en edad gestacional, durante los procesos de gestación o en período de lactancia no deberían tener exposición a PCB.
- ✓ En los casos de exposición, los servicios médicos deberán conservar durante 30 años los registros de estudios de salud ocupacionales.
- ✓ Todos los trabajadores que en algún momento hayan realizado tareas con PCB o que hayan estado expuestos a estos o a equipos que los contengan, y aunque hayan dejado de hacer esos trabajos, deberán continuar con el mismo esquema de vigilancia.
- ✓ Los servicios de salud y de seguridad laboral deben verificar la calidad de la información y la correlación entre ella, que aseguren la trazabilidad de datos como: tipo de tareas realizadas, tiempo de exposición y frecuencias, fecha de realización de las tareas, elementos de protección que fueron entregados y evidencia sobre el grado de utilización.

45 **SGOT:** transaminasa glutámico-oxalacética y **SGPT:** transaminasa glutámico-pirúvica.

4.5.2. Aspectos de vigilancia de salud pública

Para contar con un conocimiento sobre posibles afectaciones de salud a nivel público o de la comunidad en general, debe existir una efectiva comunicación e interrelación entre los organismos de salud, autoridades ambientales y laborales, con el fin de poder diseñar campañas de seguimiento orientadas a sitios o áreas evaluadas con la presencia de PCB, sospechosas de contar con estos productos o en sectores aledaños a actividades industriales donde existen operaciones con ellos o han existido en el pasado.

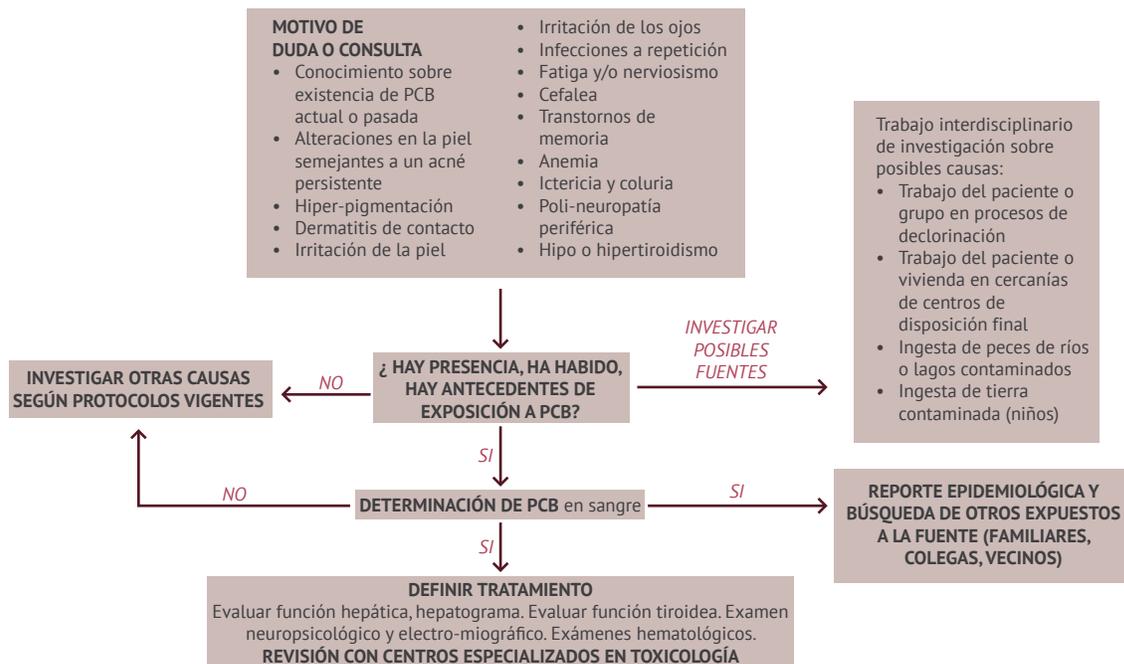
En el flujograma de la **figura 13**, se esquematizan los criterios sugeridos para la formulación de acciones relacionadas con la vigilancia de la salud pública, en relación con exposición a PCB

La interrelación mencionada ayudará a que las autoridades sanitarias puedan diseñar campañas de investigación y seguimientos lógicos y efectivos que ayuden a determinar la existencia de afectados y políticas de acción direccionadas a los focos reales e importantes de la problemática.



◀ Transformador tipo pedestal ubicado en zona pública

Figura 13. Criterios para la vigilancia en salud pública



Elaborado con información de SRT, 2009.

4.6. Evaluación de riesgos

Basados en estudios sobre animales, la EPA, ACGIH, IARC, y el NTP han clasificado a los PCB como "cancerígeno humano". El criterio de toxicidad (los RfD⁴⁶ y estimaciones numéricas de potencia del cáncer) publicado por la EPA, usados para cuantificar los riesgos de cánceres y no-cánceres para los seres humanos, se derivan exclusivamente de estudios sobre animales.

Como señalan Flynn y Kleiman (1997), es necesaria más investigación científica para mejorar la predicción de riesgos para la salud humana, pues si bien se ha procurado reducir o eliminar la incertidumbre en relación con las evaluaciones sobre efectos de los PCB en la salud humana, se ha reconocido que la determinación de la toxicidad de concentraciones específicas de PCB muy pocas veces se obtiene de análisis de muestras del ambiente, haciendo difícil evaluar los riesgos de las exposiciones a un PCB en particular.

EPA (1996) propone una forma de enfrentar otra mayor fuente de incertidumbre en la evaluación del riesgo de los PCB, puesto que las mezclas comerciales difieren de

las mezclas presentes en el ambiente, tanto en composición como en toxicidad, se están usando criterios de toxicidad específicos al medio de exposición (ej.: suelo, aire, comida) para considerar metodológicamente las diferencias en las mezclas de PCB presentes en estos diferentes medios ambientales.

También es notable la reciente disminución de las estimaciones publicadas por EPA de la potencia cancerígena del PCB (entre 4 y 20 veces menos), reflejando el uso de nueva información científica y una metodología revisada de evaluación de riesgos.

De todos modos, se llega a las mismas conclusiones citadas previamente, en el sentido de que la dificultad para identificar en tiempo real los tipos de congéneres presentes en PCB, su nivel de cloración (referencia directa de su toxicidad), las condiciones de bioacumulación y persistencia, más la relación con la producción accidental de dioxinas y furanos en algunas etapas de su uso o destrucción, hacen que las evaluaciones cuantitativas de riesgos nos deban ubicar siempre en niveles de prevención y protección elevados para minimizar la exposición de las personas.

Tabla 19. Consideraciones de riesgos asociados a las actividades en donde se pueden encontrar involucrados los PCB

Situaciones que se pueden presentar	Riesgos a considerar
Trabajos con posible presencia de tensión	Riesgo eléctrico
Trabajos con temperatura y vapor	Riesgos de presión mecánica y contacto con superficies calientes
Trabajos en sitios cerrados, de difícil acceso o ingreso, con atmósferas contaminadas o defecto de oxígeno	Riesgos de trabajo en espacios confinados
Trabajos sobre niveles superiores a 1,5 m, sin protecciones	Riesgos de trabajo en altura
Presencia de material orgánico en descomposición, insectos, ofidios u otras alimañas	Riesgos biológicos
Condición y orden de los lugares de trabajo	Riesgos de caídas y golpes

46 RfD: Dosis de Referencia - OMS

Lo anterior aplica a la consideración de los riesgos debidos a los posibles contactos con PCB y su afectación al organismo, teniendo en cuenta solamente actividades relacionadas con productos o equipos contaminados o que contienen PCB. En la práctica todas las tareas que se hagan con materiales que contengan o en presencia de PCB van a tener componentes de riesgos adicionales debidos a las actividades que en conjunto se deban realizar. En la **tabla 19** se enumeran algunas condiciones de trabajo y sus características de peligros y riesgos, las que deberán tenerse en cuenta en cada evaluación.

4.7. Comunicación del riesgo

Los procesos de identificación de peligros y evaluación de riesgos requieren que se tomen acciones de control, que se verifique el cumplimiento de estas acciones y posteriormente su efectividad.

El primer paso del control de riesgos es su información. La mayoría de las legislaciones laborales de higiene y seguridad en el mundo denominan “el derecho a saber” y siempre es una responsabilidad de la organización po-

ner a disposición los datos e informes que permitan a todos los involucrados estar atentos a los riesgos identificados y también sobre las formas de prevenir ser dañados por los peligros asociados.

En capítulos anteriores se han mencionado consideraciones relativas al etiquetado y señalización. Sin embargo, se debe tener en cuenta que no solo los equipos y desechos contaminados con PCB son susceptibles a ser marcados o etiquetados, sino también otro tipo de residuos peligrosos que se generen en las diferentes actividades adelantadas.

Por otra parte, las hojas de seguridad contienen información relevante de todos los productos peligrosos, y en especial la identificación de peligros, información toxicológica, las medidas de primeros auxilios y en especial los tipos de controles de exposición y la protección personal necesaria. En el anexo, se incluye la hoja de seguridad de PCB elaborada por el Comité Internacional de Expertos del IPCS (International Programme on Chemical Safety) en cooperación con la Comisión Europea.

¿QUÉ SON LOS COMPUESTOS ORGÁNICOS PERSISTENTES?

Los denominados Compuestos Orgánicos Persistentes (COP) son sustancias con frecuencia sintéticas, que se caracterizan por su capacidad para resistir las condiciones climáticas y biológicas más adversas durante meses e incluso años, además son capaces de acumularse a una mayor concentración dentro de la red trófica (biomagnificación) y poseen un alto potencial de transporte, es decir que son capaces de desplazarse a grandes distancias del lugar en que se generaron, usando medios como el aire, el agua y/o especies migratorias.

¿QUÉ SON LOS BIFENILOS POLICLORADOS—PCB?

Son compuestos químicos creados a base de carbono y cloro, de textura líquida, que poseen una larga vida útil, no son inflamables y tienen propiedades aislantes óptimas para ser utilizados como aceite dieléctrico, motivo por el cual se usaron ampliamente en equipos eléctricos por todo el mundo. En Colombia nunca fueron fabricados, pero llegaron al país importados en equipos y aceites dieléctricos, abundantemente no está permitida fabricarlos a nivel mundial, debido a los graves impactos y riesgos sobre la salud humana y el medio ambiente que representan estos compuestos.

Estructura molecular de un PCB

¿DÓNDE SE ENCUENTRAN?

En su mayoría los PCB se encuentran en equipos que contienen o hayan contenido aceite dieléctrico, como los mencionados a continuación:

- Transformadores eléctricos
- Condensadores eléctricos
- Interruptores
- Reguladores
- Reconectores

Los anteriores son los más representativos entre otros.

¿CUÁLES SON LOS RIESGOS PARA LA SALUD HUMANA?

Actualmente se han identificado las formas de ingreso de los PCB al organismo humano, las cuales son:

Absorción en la piel, por contacto directo con aceites dieléctricos contaminados con PCB, por ejemplo en actividades de mantenimiento de equipos u otros usos indebidos.

Inhalación, por la respiración de humos derivados de la quema de aceites dieléctricos contaminados con PCB, por ejemplo en caso de explosión y/o incendio de un equipo con aceite contaminado con PCB.

Ingestión, por el consumo de alimentos o bebidas contaminados con PCB, por ejemplo peces o aguas contaminados con PCB.

Efectos nocivos, en los seres humanos, la acumulación de PCB puede causar lesiones en la piel, hinchazón de las extremidades, problemas en los ojos y el hígado y posiblemente cáncer y defectos congénitos.

ENTRAN A NUESTRO CUERPO POR:

Y NOS PRODUCEN:

METAS PARA LA GESTIÓN AMBIENTALMENTE ADECUADA DE LOS PCB

- **Meta de Marcado:** Los propietarios deben marcar e identificar todos los equipos y desechos reportados en el inventario de PCB. Como mínimo se debe tener marcado el 30% de los equipos al 31 de diciembre del 2016, el 60% en el 2020 y el total de los equipos al 31 de diciembre del 2024.
- **Meta de Retiro de Uso:** La totalidad de equipos que contengan PCB en concentración igual o mayor a las 50 ppm, deben ser retirados de uso a más tardar el 31 de diciembre de 2025.
- **Meta de Eliminación:** Los equipos identificados y marcados que contengan o estén contaminados con PCB en una concentración mayor o igual a las 50 ppm, deben ser eliminados de una manera ambientalmente segura en los siguientes plazos.

Identificado y Marcado	Eliminación Obligatoria
2016	2017
2020	2022
2024	2028

OBLIGACIONES DE PROPIETARIOS DE EQUIPOS

- Inscribirse en el Inventario Nacional de PCB ante la Autoridad Ambiental correspondiente y reportar la totalidad de equipos de su propiedad, actualizando anualmente la información sobre sus equipos.
- Identificar si los equipos están o no contaminados con PCB por medio de un análisis cuantitativo en un laboratorio acreditado.
- Marcar e identificar sus equipos, puede usar una nomenclatura propia, pero debe ser clara y concisa, teniendo en cuenta el cumplimiento de las metas de marcado.
- Retirar de uso los equipos contaminados con PCB a más tardar el 31 de diciembre de 2025.
- Eliminar de manera ambientalmente adecuada los equipos contaminados con PCB, cumpliendo con las metas de eliminación.

◀ **Ejemplo material de divulgación a población general de información sobre riesgos asociados a los PCB**

Las acciones de control de los riesgos que se identifiquen deberán hacer hincapié en la disponibilidad de la información necesaria para que el personal involucrado reconozca los peligros y sus formas de control, debiendo a su vez asegurar el correcto entendimiento por parte de los involucrados, que muchas veces son actores con limitada formación técnica (vecinos, comunidades, clientes, proveedores, entre otros).

4.8. Límites y referencias – niveles de exposición

Para establecer los niveles de riesgo que pudieran existir por el contacto potencial con PCB es necesario contar con

límites que permitan comparar los niveles de exposición reales o potenciales con los valores de referencia que se han fijado con base en estudios científicos y experiencia desarrollada en diferentes centros e instituciones mundiales. Es oportuno recalcar que para comparaciones efectivas se deben considerar tanto la calidad de las mediciones que se efectúen, que estas se realicen con muestreos representativos y siguiendo los estándares de determinaciones a los que se refiere en cada uno de esos valores.

La **tabla 20** contiene los parámetros más destacados y que pueden ser de utilidad, junto con sus unidades y referencia de la fuente.

Tabla 20. Parámetros y valores de referencia relativos a PCB

Parámetro	Valor de Referencia	Unidad	Referencia Legal
Máxima concentración permitida de PCB en aceites	50	ppm	OSHA ⁴⁷ , NIOSH ⁴⁸ , EPA ⁴⁹
Máxima concentración en superficies sólidas impermeables de acceso público	10	µg/ 100cm ²	EPA
Máxima concentración en superficies sólidas impermeables industriales con acceso	1000	µg/ 100cm ²	EPA
Ingesta máxima tolerable de PCB en alimentos	10	pg./kg de peso por día	OMS
Nivel permitido de PCB en leche	1,5	ppm	
Nivel permitido de PCB en pollo	3	ppm	
Nivel permitido de PCB en huevos	0,3	ppm	
Nivel permitido de PCB en pescados	2	ppm	
Niveles permitidos/recomendados en sangre humana – promedio general de la población	6	ppm	
Niveles permitidos/recomendados en sangre humana – máximo nivel en personas	30	ppm	
Calidad de agua para cursos de agua	1	ppt	CCME
Calidad de agua potable	0,5	ppb	EPA
Calidad de sedimentos en cursos de agua	0,07	ppm	Ministerio de Ambiente de Ontario
Calidad de aire – promedio anual permitido	35	ng/m ³	CCME
Calidad de aire – promedio permitido en 24 horas	150	ng/m ³	CCME
Calidad de aire – promedio permitido en 0,5 horas	450	ng/m ³	CCME
Calidad de suelo – uso agrícola	0,5	ppm	Ministerio de Ambiente de Ontario
Calidad de suelo – uso residencial	5	ppm	Ministerio de Ambiente de Ontario
Calidad de suelo – uso industrial	25	ppm	Ministerio de Ambiente de Ontario

Recopilación a partir de CERI & ACDI & MMA (2001).

⁴⁷ OSHA Occupational Safety & Health Administration

⁴⁸ NIOSH National Institute for Occupational Safety and Health

⁴⁹ EPA Environmental Protection Agency

4.9. Entrenamiento

Es necesario establecer programas de capacitación y entrenamiento para las personas que se expongan a diferentes niveles de contacto con PCB, considerando no solo los riesgos propios referidos a estos productos sino también a todas las tareas que se deban realizar.

A través del estándar 1910.120 “*Hazardous waste operations and emergency response*” de OSHA (2005) se establecen una serie de recomendaciones que aplican en general para todos los materiales peligrosos incluyendo los PCB, las que se sintetizan en la siguiente tabla:

Tabla 21. Esquemas de inducción y entrenamiento

Aspectos a considerar	Especificaciones y exigencias
Riesgos que se deben considerar para incluir en entrenamiento y capacitaciones cuando se evalúe exposición real o potencial a PCB	<ol style="list-style-type: none"> Exposición a niveles superiores a los permitidos, Concentraciones máximas permitidas (ej.: IDLH⁵⁰.) Potencial contacto con la piel y las fuentes de este peligro Potencial contacto e irritación de la vista y las fuentes de este peligro Riesgo de incendios y explosiones Deficiencia en los niveles de oxígeno
Inducción inicial para empleados, supervisores y nivel de gerencia	Todos las personas que trabajan en el sitio, en todas las labores que se desarrollen en el mismo, que estén expuestos y que tengan riesgos para su salud y riesgos laborales en general, deberán participar en una actividad de inducción inicial en la que se aclaren y especifiquen los riesgos principales de las tareas y sus medidas de control, previamente a permitir su participación en operaciones con materiales y productos que puedan contener PCB, y otros riesgos que pudieran existir, sobre los que deberán recibir información. Estas actividades de inducción deben ser actualizadas cada cierto tiempo (sugerido cada dos años).
Inducción inicial como requisito obligatorio	Los empleados no deben tener permitido iniciar sus tareas habituales, ni los supervisores cumplir con las de ellos, hasta tanto hayan sido entrenados en el nivel requerido para sus funciones y responsabilidades.
Temas y conceptos que se deben incluir en la inducción inicial (no excluyentes)	<ol style="list-style-type: none"> Nombre de las personas (titulares y alternos) que son responsables por los temas de seguridad en el sitio. Peligros para la salud y seguridad evaluados en el sitio. Especificaciones y uso correcto de elementos de protección personal asignados para el sitio. Prácticas y procedimientos seguros a través de los cuales los trabajadores podrán minimizar los riesgos asociados a los peligros evaluados. Conceptos de salud y de vigilancia médica para indicar posibles síntomas de exposición a contaminantes. Elementos principales de los planes de seguridad y salud del sitio, tales como: <ul style="list-style-type: none"> Análisis de riesgos de seguridad y salud de cada área, tarea y su ubicación en el plan. Especificación de los equipos de protección personal requeridos de usar por los empleados en cada sitio, tareas y operaciones de acuerdo a las especificaciones e instructivos que se definen para tal fin. Actividades y requerimientos de los planes de vigilancia médica. Indicaciones sobre los tipos de monitoreos de ambientes laborales y de dosimetrías personales, así como las frecuencias de mediciones y los aspectos relacionados con las mismas. Aspectos generales de los controles del sitio tales como: mapa de la propiedad, zonas características, sistemas de seguridad patrimonial, sistemas de comunicación incluyendo los medios para emergencias, listado de prácticas y procedimientos de trabajo para tareas de alto riesgo y detalle y ubicación de las áreas e instalaciones para atención de salud y primeros auxilios.
Duración del entrenamiento para personal expuesto a PCB	Todos los trabajadores y los supervisores, relacionados con la operación de materiales peligrosos como PCB, los que podrían o están expuestos a estas sustancias y a los consiguientes peligros para su salud deberán recibir un mínimo de 40 horas de entrenamiento específico y al menos 24 horas de experiencia en campo bajo la supervisión y entrenamiento de un superior experimentado.

⁵⁰ Valores de concentración IDLH (immediately dangerous to life or health : peligro inmediato para la vida o la salud) - NIOSH

Aspectos a considerar	Especificaciones y exigencias
Entrenamiento para trabajadores ocasionales	Los trabajadores que cumplan ocasionalmente en el sitio alguna tarea limitada (ej.: monitoreos, auditorías, etc.) y que con poca probabilidad estén expuestos a contacto directo con PCB, por riesgos a su salud deberán recibir como mínimo una inducción de 24 horas en aula y como mínimo una jornada de trabajo bajo la directa supervisión de un supervisor experimentado y entrenado.
Entrenamiento para personal con baja posibilidad de exposición	Los trabajadores que regularmente desempeñan funciones en áreas perfectamente monitoreadas y caracterizadas como zonas que se encuentran debajo de límites de exposición, en los cuales no se requiere el uso de protección respiratoria y cuya caracterización indica que no hay riesgos para la salud o la posibilidad de ocurrencia de una emergencia, deberán recibir como mínimo una inducción de 24 horas en aula y luego un día de instrucción en campo a cargo de un supervisor experimentado y entrenado.
Entrenamiento ante cambio de puestos o funciones que impliquen el uso de protección respiratoria específica	Los trabajadores que han recibido 24 horas de inducción y que cambien sus funciones para cumplir las de trabajadores generales o deban trabajar utilizando respiradores, deberán adicionar 16 horas de entrenamiento para cubrir los requerimientos de conocimientos y práctica del nuevo puesto.
Entrenamiento y acompañamiento para gerentes y supervisores de tareas relacionadas con PCB	El entrenamiento de gerentes del sitio y supervisores que directamente sean responsables o supervisen tareas relacionadas con sustancias peligrosas como PCB deberán recibir 40 horas de entrenamiento inicial, y tres días de acompañamiento y experiencia en campo bajo supervisión experta. En el caso de gerentes y supervisores que hayan pasado por alguno de los entrenamientos mencionados en los puntos anteriores solamente deberán recibir un complemento de 24 horas de actividades en sala, asegurando que al menos se incluya y aclaren los conceptos y alcances de tópicos como: equipos de protección personal, programa de seguridad y salud, programa de derrames y emergencias y programa y conceptos de monitoreos ambientales y personales.
Calificación de capacitadores y entrenadores	Los entrenadores deben estar calificados para instruir a los empleados sobre la temática presentada en el entrenamiento. Cada entrenador deberá completar un programa de capacitación que le permita enseñar los temas y conceptos que se espera que transmita, o deberá contar con certificación académica y experiencia comprobada para enseñar los temas que cubra el entrenamiento. Los capacitadores deben demostrar suficiente competencia en la transmisión pedagógica de conocimientos.
Certificación de conocimientos	Gerentes, supervisores y trabajadores que hayan completado los entrenamientos en aula y prácticas de campo mencionadas en los puntos anteriores, deberán recibir del instructor líder y de los supervisores a los que estuvieron asignados, la correspondiente certificación de conocimientos y experiencias. Las personas que no completen los programas o que no cumplan con los requisitos del mismo no podrán desempeñar funciones relacionadas con el manejo de sustancias peligrosas en general y con PCB en particular.
Entrenamiento en emergencias y derrames	Los empleados encargados de participar activamente en los procedimientos de emergencia y limpieza de derrames deberán recibir entrenamiento específico en aula y terreno, participando en los simulacros que se generen para tal fin.
Re-entrenamiento para gerente, jefes y supervisores	Los gerentes, jefes y supervisores que hubieran sido entrenados de acuerdo con los puntos anteriores, deberán recibir una actualización de su entrenamiento al menos una vez al año, en sesiones de no menos de 8 horas de duración, en las que se incluyan los temas mencionados para la inducción inicial y en el análisis de incidentes que hubieran ocurrido el último año, que se utilizará como material de capacitación.
Equivalencia de conocimientos	Los empleados que puedan demostrar por certificación que han recibido entrenamiento equivalente al mencionado en los puntos anteriores no requerirán recibir los conceptos de inducción que se indicaron anteriormente pero sí el adecuado entrenamiento en riesgos, medidas de control y emergencias específicas del sitio donde realizarán funciones. La equivalencia de entrenamiento también se podrá demostrar por certificación académica.

Recopilación a partir de CERI & ACDI & MMA (2001) y OSHA (2005)



4.10. Elementos de protección personal

Si bien de acuerdo con los conceptos modernos de evaluación de riesgos y la figura de la “jerarquía de control de riesgos”⁵¹, se determina que los elementos de protección personal deben ser la última barrera que se considere para separar a los individuos involucrados en una actividad de la exposición a riesgos, en el caso de PCB es sumamente importante considerar y especificar el tipo adecuado de elementos de protección personal.

Dado que el equipo de protección personal se diseña para reducir la exposición del usuario mediante barreras que se ubican sobre las posibles vías de ingreso de la sustancia peligrosa al organismo, OSHA desarrolló varias categorías de elementos de protección personal a las que se refiere como “niveles” para los diversos tipos de escenarios de exposición.

A continuación se presenta una descripción de los 4 niveles presentados en OSHA (2005), así como ejemplos de su aplicación. Cada exposición debe ser analizada por los empleadores, supervisores y empleados, con el fin de identificar el nivel apropiado de elementos de protección personal. Dependiendo del tipo y número de vías de exposición potencial identificadas, antes del trabajo, está permitido seleccionar los elementos entre los diversos niveles para que se ajusten a la categoría de riesgo que se ha seleccionado.

El **nivel A** se utiliza cuando se requiere el mayor nivel de protección personal. Por lo general es cuando se necesita contar con mayor protección de los ojos, la piel y el sistema respiratorio, basado bien sea en la concentración más alta medida (o el potencial) de vapores o de partículas, o donde hay un alto potencial de salpicaduras a la piel o de inmersión en PCB.

Por ejemplo, los trabajadores que habitualmente realizan el mantenimiento de rutina o toman muestras de equipos de PCB, no requerirán tan alto nivel de

protección. Las situaciones en que esta protección es aconsejable, incluyen: cualquier trabajo dentro de una edificación con ventilación deficiente y otros espacios cerrados donde se hayan volatilizado los PCB a partir de superficies grandes, por ejemplo, una situación de limpieza de un derrame importante.

El **nivel A** de elementos de protección personal 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

El **nivel B** se debe emplear en lugares donde se requiere un alto nivel de protección respiratorio y existe poco potencial para que haya contacto de la piel con los PCB. Un ejemplo de situación en que se requiere el uso del nivel B es aquella en que el trabajador ingrese a un recinto mal ventilado u otro espacio confinado donde se ha presentado un derrame y el trabajador solamente está ahí para inspeccionar y no para participar en la operación de limpieza.

El **nivel B** de elementos de protección personal 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
3. Guantes exteriores, anti-químicos para trabajo pesado
4. Guantes interiores, anti-químicos para trabajo liviano

⁵¹ Jerarquía de control de riesgos: criterio de OSHA relacionado con los modos más efectivos de controlar riesgos, desde la eliminación de los peligros, pasando por medidas de ingeniería, administración y finalmente consideración de uso de elementos de protección personal

4. Gestión de riesgos asociados a
pcb, salud y seguridad

No. 6. Manejo ambientalmente racional de equipos y desechos contaminados con PCB

5. Botas, anti-químicos, puntera y talón de acero
6. Máscara facial o gafas protectoras, de ser necesario
7. Calzado de seguridad según corresponda al riesgo

Figura 14. Elemento de protección tipo SCBA



Fuente: OSHA (2009)

Los elementos de protección personal de nivel C por lo general se emplean en lugares en que el peligro respiratorio no es alto, pero se espera que las concentraciones de PCB en el aire continúen estando por encima de los niveles aceptables. Ejemplo de situaciones en las que se recomienda el nivel C es el de operaciones en recinto interior con equipo PCB abierto o tambores abiertos de materiales contaminados, operaciones al aire libre en áreas grandes de derrame u operaciones en que se trabaje de manera estrecha y continua con equipo abierto que contenga PCB o con tambores de material contaminado con PCB, sin cierre.

El nivel C de elementos de protección personal 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- Referencia NIOSH)
2. Ropa anti-químicos con capucha
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. Mascara facial o gafas protectoras, de acuerdo con la evaluación de riesgos

Figura 15. Elemento de protección respirador con purificador de aire tipo NIOSH



Fuente: CDC (2012)

El nivel D se emplea cuando no hay riesgo respiratorio, pero puede existir el potencial de daños menores por contacto de los PCB con la piel o la ropa. Un ejemplo de situaciones donde el nivel D se recomienda es la toma de muestras en transformadores, o en áreas pequeñas de suelos o aguas contaminadas. Sin embargo, se debe tener en cuenta que no se puede generalizar para todo los casos y por lo tanto se deberá verificar el nivel de protección adecuado según la evaluación de riesgo específico en cada actividad.

El nivel D de elementos de protección personal incluye los siguientes elementos:

1. Overoles enterizos
2. Guantes anti-químicos
3. Botas, con puntera y talón de acero, de acuerdo con la evaluación de riesgos
4. Cubre-botas, anti-químicos
5. Mascara facial o gafas de seguridad, de acuerdo con la evaluación de riesgos

Independiente del nivel de elementos de protección personal que se utilice, los trabajadores deben respetar las buenas prácticas de higiene, con el fin de reducir su exposición a los PCB, por ejemplo:

- ✓ En primer lugar los elementos de protección deben ser colocados de la manera especificada y mostrada en el entrenamiento, para asegurar su efectividad
- ✓ Al quitarse el elementos de protección personal, se debe tener cuidado de retirar el elemen-

to de protección contaminado, de manera que se prevenga el contacto de la piel con los PCB.

- ✓ Los trabajadores deben lavarse bien con agua y jabón después de trabajar con PCB.
- ✓ Los trabajadores deben abstenerse de fumar, beber o comer mientras se trabaja con PCB, con el fin de reducir la ingestión de los mismos.
- ✓ Los elementos de protección deben utilizarse en todo momento, mientras exista el riesgo de exposición.

Los conceptos mencionados se sintetizan en las **tablas 26 a 29**, en las que se relacionan diversas recomendaciones y criterios de acuerdo con las evaluaciones de riesgo previas que se tienen que realizar, así como referencias a normas internacionales sobre algunos de los elementos de protección más específicos.



◀ *Uso de elementos de protección personal en actividades asociadas a PCB*

4.11. Contingencias – planes de emergencia

Los planes de emergencia o de contingencia deben ser elaborados exclusivamente para el sitio que aplique y deben estar basados en un profundo análisis de peligros y de riesgos, con base en el estudio de las situaciones normales y anormales que se podrían presentar durante las operaciones que se están gestionando.

Las situaciones en las que se pueda generar una condición anormal deberán considerarse junto al resto de los peligros existentes para las actividades que se analizan, entendiendo que la combinación de distintos factores de riesgos pueda requerir gestionar una emergencia.

Para operaciones con PCB hay que considerar como mínimo tres situaciones anormales como pueden ser derrames, contactos accidentales e incendios. En cada una de estas situaciones se debe considerar que la situación se ha normalizado cuando se ha gestionado la emergencia, desde el punto de vista de los daños materiales y las posibles afectaciones de la salud además haber contenido y dispuesto los desechos que se pueden haber generado durante el evento (agua utilizada para atacar incendios, materiales absorbentes impregnados, suelos contaminados, etc.).

En el estándar OSHA 1910.120⁵² Operaciones de desechos peligrosos y respuesta de emergencia así como en algunas recomendaciones del Manual de Manejo de PCB para Colombia (CERI & ACDI & MMA, 2001), se encuentran las consideraciones clave para este tipo de eventos, relacionadas con PCB, las que pueden sintetizarse en referencias y tablas que se detallan a continuación:



◀ *Recolección de material absorbente contaminado con aceites dieléctricos*

⁵² OSHA 1910.120 Hazardous waste operations and emergency response.

4.11.1. Características de los planes de emergencia

Tabla 22 .Características de los planes de emergencia

Tipo de contingencia y temas a abordar	Recomendaciones
Recomendaciones generales	Deben identificarse todas las operaciones y actividades normales, así como las situaciones de emergencia que se puedan producir.
Consideraciones para los planes de emergencias – qué tener en cuenta	<ul style="list-style-type: none"> • Las características asociadas a esas actividades deben ser reconocidas. • Deben asignarse respuestas apropiadas a cada emergencia identificada. • Debe prepararse y comunicarse un organigrama que identifique los responsables para cada paso del plan de emergencia. • Roles claves para el inicio del tratamiento de la emergencia con los evaluadores de situaciones y el coordinador o su eventual remplazo. • Se deberá contar con un listado de todas las respuestas ante emergencias, incluyendo elementos de protección personal, extintores adicionales, equipos de apoyo tales como duchas o lavajos, estaciones de primeros auxilios, etc. • Los planes de emergencia deben ser debidamente comunicados de acuerdo al rol que cada persona deba cumplir. Esta comunicación deberá incluir las alarmas que se utilizan para anunciar las distintas etapas de emergencias. • Los planes de comunicación, que hacen parte del plan de emergencias, requieren contar con un diagrama de flujo de las actuaciones, líneas de avisos con nombres y teléfonos tanto de personas clave de la organización, como autoridades gubernamentales, ambientales, bomberos y centros de atención de salud. • Debe identificarse con precisión al encargado de comunicar externamente cada una de las alternativas del plan de acuerdo al desarrollo de la emergencia. • Cada plan o situación prevista en el mismo debe ser probada para asegurar la capacidad de cumplimiento de la organización con respecto a lo indicado en el plan. • Dentro del plan se debe asegurar la capacidad para atender, evacuar y contener a las personas que pudieran haber sido heridas o afectadas por el evento que origina la emergencia.
Para situaciones de derrames	<ul style="list-style-type: none"> • Tratar inmediatamente de detener la fuente del derrame. • Poner en marcha el plan de comunicaciones y en general las demás consideraciones previstas en el plan de emergencias. • Evaluar las necesidades para contención y evitar que el derrame se extienda. • Luego de contenido, se pueden iniciar las tareas de limpieza (bombeo de líquidos, utilización de absorbentes para recoger los líquidos remanentes, limpieza de zonas adyacentes).
Para casos de incendio	<ul style="list-style-type: none"> • Al tratarse de combustión con presencia de PCB, debe considerarse la potencial formación de dioxinas y furanos, tanto en gases, vapores, humo y hollín que se produzcan durante el evento. • Nadie debe actuar por su cuenta en el combate del incendio hasta tanto se active el plan a través de sus responsables. • Dar inicio al plan de emergencias incluido el plan de comunicaciones. • Considerar si son necesarias evacuaciones adicionales a las previstas en el plan. Este plan por lo general tiene en cuenta que las personas que no tengan un rol asignado en el incendio deberán dirigirse a los puntos de reunión o salida y ayudar a su identificación para que puedan ser contabilizados exactamente. • Utilizar los mismos medios de extinción que para los derivados del petróleo: <ul style="list-style-type: none"> » Polvo químico seco » Inundación con nitrógeno » Extintores de dióxido de carbono • Evitar la utilización de agua para el combate del incendio debido a: 1) el agua no es el mejor elemento para atacar incendios de líquidos oleosos, 2) en el caso de utilizar agua, se generan grandes volúmenes de líquidos contaminados que luego deben ser tratados como residuos peligrosos. • Las personas que combatan el fuego y se encuentren en las inmediaciones deben utilizar protección Nivel "A" y estar debidamente entrenados para tal fin. • Estos elementos deben estar disponibles y en condiciones de uso. • Considerar en estos casos que luego del incendio, y ante la posibilidad de que durante éste se hayan producido dioxinas, las tareas de limpieza exigirán un exhaustivo análisis de riesgos y su ejecución requerirá de personal especializado.

Tipo de contingencia y temas a abordar	Recomendaciones
Para situaciones de lesiones o riesgos para la salud	<ul style="list-style-type: none"> • Considerar que en el plan de emergencia se reconozcan las personas, equipos o instituciones que atiendan los temas de lesiones y riesgos para la salud. • La disponibilidad en tiempo y forma de estos recursos debe estar probada a través de chequeos permanentes previos a las emergencias. • Deben evaluarse medios alternativos de evacuación de lesionados (p. ej.: helicópteros), dependiendo de la complejidad de la situación y de la distancia a los centros de salud. • Se debe contar con facilidades de primeros auxilios (p. ej.: botiquines, duchas de emergencia, lavaojos) en lugares estratégicos, definidos durante la etapa de preparación.

Recopilación propia a partir de CERI & ACIDI & MMA (2001) y OSHA (2005)

4.11.2. Respuesta y limpieza de derrames de PCB

Tabla 23. Recomendaciones para situaciones de derrames

Tipo de contingencia	Recomendaciones
Respuesta ante derrames	<ul style="list-style-type: none"> • De ser posible, deténgase inmediatamente la fuente del derrame (p. ej.: cierre de válvula específica), la que debería haber sido identificada en la etapa de evaluación de riesgos. Si no es posible, continúe con el siguiente paso del plan. • Dé aviso al coordinador de emergencia y a los evaluadores, para que evalúen las acciones de control y comunicaciones. • En esta etapa cumplir con los requerimientos de control de derrames (p. ej.: equipos necesarios, insumos, elementos de protección personal) para evitar la propagación de estos. • Limitar la expansión del derrame mediante el uso de diques y tapones. • Asegurar que se eviten contactos de las personas con los líquidos que contengan PCB, a través del correcto uso de sus elementos de protección y de las prácticas establecidas previamente para la respuesta ante derrames.
Limpieza de derrames	<ul style="list-style-type: none"> • 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 (no aserrín ya que este es inflamable) sobre el derrame para formar un semisólido, el cual puede ser depositado en tambores con pala. En estos casos y dependiendo de las mezclas que contengan PCB (p. ej.: con combustibles) tener en cuenta la utilización de palas plásticas. • Una vez removidos los líquidos residuales del lugar del derrame, realizar la limpieza del área. • Las superficies que no absorben PCB, tales como metales, cerámica o concreto cubierto de material epóxico podrán ser descontaminados con solventes (p. ej.: keroseno, gasóleo). Se debe considerar a partir de este momento el tratamiento adecuado de esos solventes contaminados y el grado de descontaminación que se alcanzó en las superficies. • Para esta última condición será necesario tomar muestras de las superficies descontaminadas teniendo en cuenta la profundidad de la penetración de los líquidos. • En determinadas situaciones, completar la remoción de toda la superficie contaminada. • Observar en todo momento las prácticas de trabajo establecidas y el uso correcto de elementos de protección personal para evitar el contacto accidental de los trabajadores con materiales y equipos que puedan contener PCB.

Recopilación propia a partir de CERI & ACIDI & MMA (2001) y OSHA (2005).



4.11.3. Primeros auxilios

Dentro de las provisiones que se tendrán en cuenta en los planes, se debe prestar atención prioritaria a posibles heridas y en el tema que nos ocupa, el contacto eventual de personas con PCB.

Las recomendaciones para primeros auxilios se muestran en la tabla siguiente:

Tabla 24. Recomendaciones para primeros auxilios

Tipo de contingencia	Recomendaciones
Contacto con la piel	<ul style="list-style-type: none"> • Lavar la zona de contacto con agua corriente fría y jabón neutro. En caso de grandes contaminaciones, bañarse con abundante agua corriente fría y jabón • No utilizar solventes, detergentes o abrasivos • Eventualmente se untará la piel afectada con crema emoliente
Contacto con los ojos	Lavar con agua corriente en abundancia y con solución de ácido bórico al 3% o con solución de cloruro de sodio al 1,5%.
Inhalación	Retirar inmediatamente a la persona afectada del lugar y ventilar con aire fresco o utilizar una máscara de oxígeno.
Ingestión	Suministrar 3 ml de vaselina medicinal por kg de peso y luego una cucharada de sulfato de sodio en 250 ml de agua.

Fuente: Recopilación propia a partir de CERI & ACIDI & MMA (2001) y OSHA (2005).

La preparación de los procedimientos de primeros auxilios deben ser avalados por un profesional de la salud, del mismo modo que las prácticas periódicas para asegurar la capacidad de las personas encargadas de manejar esta primer asistencia. También es función de los profesionales médicos tener certeza de los elementos que se requiere que se encuentren disponibles y en buen estado de conservación en todo momento. Del mismo modo la organización tiene que tener evaluados los medios necesarios para la evacuación de posibles afectados y los centros de salud que recibirán a estas personas.

4.12. Marco legal de referencia

El marco de todas las tareas que se desarrollen con PCB se debe ajustar a la legislación nacional en cuanto a la seguridad y la salud.

En la tabla siguiente se hace referencia a los principales documentos normativos que regulan estas actividades en Colombia, sobre los que se ha fundamentado este trabajo, y que se deben consultar y seguir, en su versión más actualizada, en todas las actividades que se realicen.

Tabla 25. Esquema legal relacionado con PCB

Norma	Año	Contenido
Ley 9	1979	Se dictan medidas sanitarias
Resolución 2400 del Ministerio de Trabajo y Seguridad Social	1979	Se establecen algunas disposiciones sobre vivienda, higiene y seguridad en los establecimientos de trabajo
Decreto 614	1984	Bases para la administración de la salud ocupacional en el país
Resolución 213 del Ministerio de Trabajo y Seguridad Social y Ministerio de Salud	1986	Se reglamenta la organización y funcionamiento de los comités de medicina, higiene y seguridad industrial en los lugares de trabajo.
Resolución 1016 del Ministerio de Trabajo y Seguridad Social y Ministerio de Salud	1989	Se reglamenta la organización, funcionamiento y forma de los programas de salud ocupacional que deben desarrollar los patronos o empleadores en el país.
Ley 100	1993	Creación del Sistema General de Riesgos Profesionales
Decreto 1295	1994	Regula la organización y administración de los riesgos profesionales
Decreto 1832	1994	Tabla de enfermedades profesionales
Decreto 1281	1994	Actividades de alto riesgo
Decreto 0723	2013	Afiliación al Sistema General de Riesgos Profesionales
Resolución 2346 del Ministerio de la Protección Social	2007	Regula las evaluaciones médicas ocupacionales y el manejo y contenido de las historias clínicas
Resolución 1401 del Ministerio de la Protección Social	2007	Regula la investigación de incidentes y accidentes de trabajo
Resolución 2844 del Ministerio de la Protección Social	2007	Adopta las guías de atención integral en salud ocupacional basadas en la evidencia
Decreto 1477	2014	Se expide la tabla de enfermedades profesionales
Ley 1562	2012	Modifica el Sistema General de Riesgos Laborales (SGRL)
Decreto 1443	2014	Directrices obligatorias para la implementación de Sistemas de gestión de la seguridad y salud en el trabajo (SG-SST)

Esta tabla no es exhaustiva sobre la legislación de higiene y seguridad; simplemente tiene relación específica con PCB. Para el resto de las tareas que se desarrollen en todos los procesos y etapas de trabajo con estos contaminantes, la mayoría mencionadas en este manual, deberán considerarse los documentos normativos respectivos.

4.13. Recomendaciones para actividades que pueden presentar riesgos en las que están relacionados los PCB

Tal como se mencionó en la sección 4.6 de este documento, la identificación de peligros y la evaluación del nivel de riesgo deben ser integrales y no considerar solo el posible contacto con PCB, sino otros riesgos asociados a las condiciones reales de las tareas que se quiere controlar y con la participación de las personas que van a efectuar esos trabajos, de este modo se asegura la calidad y efectividad

de las medidas que se van a establecer para minimizar el efecto potencial de los peligros reconocidos.

Con el fin de facilitar la identificación de peligros y evaluación de riesgos, y solamente con carácter orientativo, se muestran a continuación algunas actividades que se mencionan en diferentes números, capítulos y secciones de la serie técnica que constituye el Manual para la Gestión Integral de Bifenilos Policlorados - PCB, sobre las que de antemano se pueden identificar algunas situaciones de riesgo.

Se debe tener en cuenta que estas tablas solo deberán ser tomadas como guía y sugerencia, para iniciar el análisis particular en cada caso, pues los peligros, riesgos y medidas de control que figuran en ellas, no son exactamente los que se van a encontrar en cada situación y seguramente se deberán considerar situaciones adicionales y particulares.

Tabla 26. Modelo de identificación de algunos peligros y riesgos comunes para actividades de toma de muestras y realización de análisis⁵³ y recomendaciones para su control y minimización

Actividad	Eventuales Peligros - Riesgos	Medidas de Control	Recomendaciones	Comentarios
Toma de muestras	Contacto con PCB	Evaluación de cada tarea. Evitar el contacto con PCB y utilizar los elementos de protección personal	El tipo de elemento de protección dependerá de las condiciones de la tarea, ambiente abierto o cerrado, atmósfera contaminante, suelo contaminado, etc.	Usualmente corresponde a niveles de protección C o D
	Golpes. Uso de herramientas	Implementar los procedimientos de trabajo seguro	Entrenamiento del personal y control de realización de tareas Control de las condiciones de las herramientas	
	Contacto con energía eléctrica	Aplicar las recomendaciones de la NTC 2050 – Código Eléctrico Colombiano y lo establecido en el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas - RETIE	Desenergización efectiva en los casos que corresponda	Considerar utilización de elementos de protección personal adecuados para el trabajo con tensión
	Falta de competencias de las personas que realizan la tarea	Cumplimiento por parte del personal de toma de muestras con la certificación en la Norma de Competencias Laborales - NCL 220201030 sobre muestreo de fluidos aislantes y superficies sólidas	Verificación y control de cumplimiento de procedimientos	
	Contacto con herramientas y elementos de protección contaminados	Implementar el procedimiento de uso y descarte de elementos de protección Implementar el procedimiento para gestión de residuos contaminados	Adecuado control de las actividades	Considerar los tipos de solventes que normalmente se utilizan para estos fines (n-hexano, isooctano, acetato de etilo, dietileter, diclorometano), así como que requieren el uso de guantes adecuados. Así mismo, se debe tener en cuenta que luego de la aplicación de los solventes y el uso de los elementos de protección personal, éstos elementos se deben manejar como contaminados.
	Riesgos por trabajo en altura (mayor a 1,5 metros), según situación y evaluación	Cumplir con los requisitos de la Resolución 1409 de 2012 expedida por el Ministerio de Trabajo	Control de equipos para izaje de personas y elementos de protección colectiva para trabajo en altura. Control de uso de estos elementos	Si se utilizan elevadores de personas, seguir recomendaciones del documento de trabajo del Instituto de Desarrollo Urbano –IDU denominado Protocolo N° 3 - Izaje de cargas en obra.
	Riesgos asociados a la realización de tareas en sitios cerrados con condiciones de espacios confinados, según situación y evaluación.	Seguir procedimiento de trabajo en espacios confinados	Asegurar el cumplimiento del procedimiento y que este tenga como referencia al menos regulación OSHA 29CFR 1910-120 "Hazardous waste operations and emergency responses"	Asegurar la presencia de un trabajador adicional en la salida del espacio confinado
	Riesgos biológicos por condiciones del entorno según situación y evaluación.	Realizar una evaluación de riesgos que contemple el entorno particular donde se realizará la tarea	Rehacer la evaluación cada vez que se debe repetir la tarea, ya que las condiciones ambientales pueden cambiar	Los riesgos biológicos tienen relación con la picadura de insectos, ofidios, presencia de material orgánico en descomposición, entre otros.

⁵³ Solo como guía, no reemplaza a la Identificación de peligros y evaluación de riesgos.

4. Gestión de riesgos asociados a pcb, salud y seguridad

No. 6. Manejo ambientalmente racional de equipos y desechos contaminados con PCB

Actividad	Eventuales Peligros - Riesgos	Medidas de Control	Recomendaciones	Comentarios
Toma de muestras	Derrames	Contar con un procedimiento para contención de derrames y kit de contención	Adecuado control de las actividades	No utilizar como absorbentes materiales inflamables (e.g. aserrín) Los kits de contención deben ser del tamaño adecuado para los eventuales derrames
Análisis	Riesgos químicos propios de laboratorios	Cumplimiento de los protocolos IDEAM M2-SAPc01 y M2-SAPc04 para la determinación de PCB en aceites dieléctricos y en superficies sólidas respectivamente.	Verificación de cumplimiento	

Tabla 27. Modelo de identificación de algunos peligros y riesgos comunes para actividades de marcado de equipos y desechos⁵⁴ y recomendaciones para su control y minimización

Actividad	Eventuales Peligros - Riesgos	Medidas de Control	Recomendaciones	Comentarios
Marcación de equipos	Riesgo eléctrico	Aplicar las recomendaciones de la NTC 2050 – Código Eléctrico Colombiano y lo establecido en el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas - RETIE.	Desenergización efectiva en los casos que corresponda	
	Riesgos por trabajo en Altura (mayor a 1,5 metros), según situación y evaluación.	Cumplir con los requisitos de la Resolución 1409 de 2012 expedida por el Ministerio de Trabajo	Control de equipos para izaje de personas y elementos de protección colectiva para trabajo en altura. Control de uso de estos elementos	
	Contaminación con herramientas y elementos de protección contaminados	Implementar el procedimiento de uso y descarte de elementos de protección Implementar el procedimiento para gestión de residuos contaminados	Adecuado control de las actividades	Considerar los tipos de solventes que normalmente se utilizan para estos fines (n-hexano, iso-octano, acetato de etilo, dietileter, diclorometano), así como que requieren el uso de guantes adecuados. Así mismo, se debe tener en cuenta que luego de la aplicación de los solventes y el uso de los elementos de protección personal, éstos elementos se deben manejar como contaminados.
	Contacto con PCB, por pérdidas o derrames de esta sustancia	Evitar el contacto con PCB y utilizar elementos de protección personal	El tipo de elemento de protección dependerá de las condiciones de la tarea, ambiente abierto o cerrado, atmósfera, suelo contaminado, etc.	En condiciones normales el nivel de protección D es el indicado (guantes anti químicos, overol enterizo, calzado de seguridad, cubre calzado anti químicos, casco) y de ser necesario: protección facial y respiratoria
Marcación de desechos contaminados	Condiciones generales del sitio que puedan generar riesgo tales como materiales en el piso, falta de iluminación, pisos inestables, entre otros.	Evaluación del sitio - espacio cerrado o abierto -. Descartar la existencia de conductores vivos conectados a fuentes de tensión. Habilitar vías de circulación si es necesario para prevenir golpes y caídas. Asegurar iluminación si se requiere. Uso de elementos de protección personal	Dependiendo de la evaluación de riesgo se identifica la necesidad de elementos de protección nivel B o C	

⁵⁴ Solo como guía, no reemplaza a la identificación de peligros y evaluación de riesgos.

Actividad	Eventuales Peligros - Riesgos	Medidas de Control	Recomendaciones	Comentarios
Marcación de desechos contaminados	Contactos con PCB	Evaluación general de tareas de acuerdo con el sitio. Evitar contacto con superficies contaminadas y utilización de elementos de protección personal	El tipo de elemento de protección dependerá de las condiciones de la tarea, ambiente abierto o cerrado, atmósfera, suelo contaminado, etc.	Protección personal nivel B, C o D según evaluación de riesgos
	Riesgos asociados a la realización de tareas en sitios cerrados con condiciones de espacios confinados, según situación y evaluación.	Seguir procedimiento de trabajo en espacios confinados	Asegurar el cumplimiento del procedimiento y que éste tenga como referencia al menos la regulación OSHA 29CFR 1910-120 "Hazardous waste operations and emergency responses"	Asegurar la presencia de un trabajador adicional en la salida del espacio confinado
	Riesgos biológicos por condiciones del entorno según situación y evaluación.	Realizar la evaluación de riesgos que contemple el entorno particular donde se realizará la tarea	Rehacer la evaluación cada vez que se debe repetir la tarea, ya que las condiciones ambientales pueden cambiar	Los riesgos biológicos tienen relación con la picadura de insectos, ofidios, presencia de material orgánico en descomposición, entre otros.
	Contaminación con herramientas y elementos de protección contaminados	Implementar el procedimiento de uso y descarte de elementos de protección Implementar el procedimiento para gestión de residuos contaminados	Adecuado control de las actividades	Considerar los tipos de solventes que normalmente se utilizan para estos fines (n-hexano, isooctano, acetato de etilo, dietileter, diclorometano), así como que requieren el uso de guantes adecuados. Así mismo, se debe tener en cuenta que luego de la aplicación de los solventes y el uso de los elementos de protección personal, éstos elementos se deben manejar como contaminados.

Tabla 28. Modelo de identificación de algunos peligros y riesgos comunes para actividades de mantenimiento de equipos⁵⁵ y recomendaciones para su control y minimización

Actividad	Eventuales Peligros - Riesgos	Medidas de Control	Recomendaciones	Comentarios
Mantenimiento de equipos	Golpes Cortes	Implementar los procedimientos de trabajo seguro	Entrenamiento del personal y control de realización de tareas. Control de las condiciones de las herramientas	
	Riesgos por trabajo en Altura (mayor a 1,5 metros), según situación y evaluación.	Cumplir con los requisitos de la Resolución 1409 de 2012 expedida por el Ministerio de Trabajo	Control de equipos para izaje de personas y elementos de protección colectiva para trabajo en altura. Control de uso de estos elementos	
	Contacto con energía eléctrica	Aplicar las recomendaciones de la NTC 2050 – Código Eléctrico Colombiano y lo establecido en el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas - RETIE.	Desenergización efectiva en los casos que corresponda	Se deben utilizar los elementos de protección personal adecuados para el trabajo con tensión
	Contacto con PCB	Evaluación de cada tarea. Evitar el contacto con PCB y utilizar los elementos de protección personal	El tipo de elemento de protección dependerá de las condiciones de la tarea, ambiente abierto o cerrado, atmósfera contaminante, suelo contaminado, etc.	Usualmente corresponde a niveles de protección A, B o C
	Izaje de cargas	Implementar el procedimiento específico y controles de operación	Seguir recomendaciones del documento de trabajo del Instituto de Desarrollo Urbano - IDU denominado protocolo N° 3 - Izaje de cargas en obra -	

⁵⁵ Solo como guía, no reemplaza a la Identificación de peligros y evaluación de riesgos.

4. Gestión de riesgos asociados a
pcb, salud y seguridad

**No. 6. Manejo ambientalmente racional de equipos
y desechos contaminados con PCB**

Actividad	Eventuales Peligros - Riesgos	Medidas de Control	Recomendaciones	Comentarios
Mantenimiento de equipos	Riesgos asociados a la realización de tareas en sitios cerrados con condiciones de espacios confinados, según situación y evaluación.	Seguir procedimiento de trabajo en espacios confinados	Asegurar el cumplimiento del procedimiento y que éste tenga como referencia al menos la regulación OSHA 29CFR 1910-120 "Hazardous waste operations and emergency responses"	Asegurar la presencia de un trabajador adicional en la salida del espacio confinado
	Riesgo biológico, según situación y evaluación de las condiciones del entorno	Realizar una evaluación de riesgos que contemple el entorno particular donde se realizará la tarea	Rehacer la evaluación cada vez que se debe repetir la tarea, ya que las condiciones ambientales pueden cambiar	Los riesgos biológicos tienen relación con la picadura de insectos, ofidios, presencia de material orgánico en descomposición, entre otros.
	Derrames	Contar con un procedimiento para contención de derrames y kit de contención	Adecuado control de las actividades	No utilizar como absorbentes materiales inflamables (p. ej.: aserrín). Los kits de contención deben ser del tamaño adecuado para los eventuales derrames
	Contaminación con herramientas y elementos de protección contaminados	Implementar el procedimiento de uso y descarte de elementos de protección Implementar el procedimiento para gestión de residuos contaminados	Adecuado control de las actividades	Considerar los tipos de solventes que normalmente se utilizan para estos fines (n-hexano, isooctano, acetato de etilo, dietileter, diclorometano), así como que requieren el uso de guantes adecuados. Así mismo, se debe tener en cuenta que luego de la aplicación de los solventes y el uso de los elementos de protección personal, éstos elementos se deben manejar como contaminados.
Desmantelamiento de equipos	Golpes Cortes	Implementar los procedimientos de trabajo seguro	Entrenamiento del personal y control de realización de tareas Control de las condiciones de las herramientas	
	Riesgos por trabajo en Altura (mayor a 1,5 metros), según situación y evaluación.	Cumplir con los requisitos de la Resolución 1409 de 2012 expedida por el Ministerio de Trabajo	Control de equipos para izaje de personas y elementos de protección colectiva para trabajo en altura. Control de uso de estos elementos	
	Contacto con energía eléctrica	Aplicar las recomendaciones de la NTC 2050 – Código Eléctrico Colombiano y lo establecido en el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas - RETIE	Desenergización efectiva en los casos que corresponda	Considerar utilización de elementos de protección personal adecuados para el trabajo con tensión
	Contacto con PCB	Evaluación de cada tarea. Evitar el contacto con PCB y utilizar los elementos de protección personal	El tipo de elemento de protección dependerá de las condiciones de la tarea, ambiente abierto o cerrado, atmósfera contaminante, suelo contaminado, etc.	Usualmente corresponde a niveles de protección A, B o C
	Izaje de cargas	Implementar procedimiento específico y controles de operación	Seguir recomendaciones del protocolo N° 3 - Izaje de cargas en obra - Instituto de Desarrollo Urbano - Colombia	
	Derrames	Contar con un procedimiento para contención de derrames y kit de contención	Adecuado control de las actividades	No utilizar como absorbentes materiales inflamables (ej.: aserrín) Los kits de contención deben ser del tamaño adecuado para los eventuales derrames
	Emergencias	Implementar el plan de emergencia con base en los riesgos que se hayan evaluado	Testeos periódicos. Adecuado entrenamiento	
	Contaminación con herramientas y elementos de protección contaminados	Implementar procedimiento de uso y descarte de elementos de protección Implementar procedimiento para gestión de residuos contaminados	Adecuado control de las actividades	Considerar los tipos de solventes que normalmente se utilizan para estos fines (n-hexano, isooctano, acetato de etilo, dietileter, diclorometano), así como que requieren el uso de guantes adecuados. Así mismo, se debe tener en cuenta que luego de la aplicación de los solventes y el uso de los elementos de protección personal, éstos elementos se deben manejar como contaminados.

Tabla 29. Modelo de identificación de algunos peligros y riesgos comunes para actividades de descontaminación y eliminación de elementos contaminados con PCB⁵⁶ y recomendaciones para su control y minimización.

Actividad	Eventuales Peligros - Riesgos	Medidas de Control	Recomendaciones	Comentarios
Tratamiento térmico de elementos contaminados con PCB	Contacto con PCB	Evaluación de cada tarea. Evitar el contacto con PCB y utilizar los elementos de protección personal	El tipo de elemento de protección dependerá de las condiciones de la tarea, ambiente abierto o cerrado, atmósfera contaminante, suelo contaminado, etc.	Usualmente corresponde a niveles de protección, B o C
	Emisiones	Control de variables de proceso y monitoreo	Asegurar que no existan emisiones fugitivas	
	Derrames	Contar con un procedimiento para contención de derrames y kit de contención	Adecuado control de las actividades	No utilizar como absorbentes materiales inflamables (p. ej.: aserrín). Los kits de contención deben ser del tamaño adecuado para los eventuales derrames
	Emergencias	Implementar el plan de emergencia con base en los riesgos que se hayan evaluado	Testeos periódicos. Adecuado entrenamiento	
	Riegos industriales	Identificación de peligros, evaluación de riesgos. Implementar los procedimientos de trabajo seguro	Análisis de las tareas previamente a su inicio	
	Generación y tratamiento de residuos	Contar con un procedimiento que asegure segregación y tratamiento de residuos contaminados con PCB	La limpieza luego de las corridas con materiales con PCB debe ser efectiva y deben estar previstos el tratamiento de los productos remanentes y los que se utilicen para descontaminar la instalación	
Descontaminación	Golpes Cortes	Implementar los procedimientos de trabajo seguro	Entrenamiento del personal y control de realización de tareas Control de las condiciones de las herramientas	
	Riesgos por trabajo en Altura (mayor a 1,5 metros), según situación y evaluación.	Cumplir con los requisitos de la Resolución 1409 de 2012 expedida por el Ministerio de Trabajo	Control de equipos para izaje de personas y elementos de protección colectiva para trabajo en altura. Control de uso de estos elementos	
	Contacto con energía eléctrica	Aplicar las recomendaciones de la NTC 2050 – Código Eléctrico Colombiano y lo establecido en el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas - RETIE.	Desenergización efectiva en los casos que corresponda	Considerar utilización de elementos de protección personal adecuados para el trabajo con tensión
	Contactos con PCB	Evaluación de cada tarea. Evitar el contacto con PCB y utilizar los elementos de protección personal	El tipo de elemento de protección dependerá de las condiciones de la tarea, ambiente abierto o cerrado, atmósfera contaminante, suelo contaminado, etc.	Usualmente corresponde a niveles de protección A, B o C
	Izaje de cargas	Implementar el procedimiento específico y controles de operación	Seguir recomendaciones del documento de trabajo del Instituto de Desarrollo Urbano - IDU denominado protocolo N° 3 - Izaje de cargas en obra	
	Generación de vapor y posibles fallas en aparatos sometidos a presión	Realizar la evaluación de riesgos e implementar los procedimientos operativos al respecto	Seguridad e inspecciones periódicas de los equipos involucrados	

⁵⁶ Solo como guía, no reemplaza a la Identificación de peligros y evaluación de riesgos.

4. Gestión de riesgos asociados a
pcb, salud y seguridad

**No. 6. Manejo ambientalmente racional de equipos
y desechos contaminados con PCB**

Actividad	Eventuales Peligros - Riesgos	Medidas de Control	Recomendaciones	Comentarios
Descontaminación	Eventuales derrames	Contar con un procedimiento para contención de derrames y kit de contención	Adecuado control de las actividades	No utilizar como absorbentes materiales inflamables (ej.: aserrín) Los kits de contención deben ser del tamaño adecuado para los eventuales derrames
	Emergencias	Implementar el plan de emergencia en base a los riesgos que se hayan evaluado	Testeos periódicos. Adecuado entrenamiento	
	Contaminación con herramientas y elementos de protección contaminados	Implementar el procedimiento de uso y descarte de elementos de protección Implementar el procedimiento para gestión de residuos contaminados	Adecuado control de las actividades	Considerar los tipos de solventes que normalmente se utilizan para estos fines (n-hexano, isooctano, acetato de etilo, dietileter, diclorometano), así como que requieren el uso de guantes adecuados. Así mismo, se debe tener en cuenta que luego de la aplicación de los solventes y el uso de los elementos de protección personal, éstos elementos se deben manejar como contaminados
Rellenado	Golpes Cortes	Implementar los procedimientos de trabajo seguro	Entrenamiento del personal y control de realización de tareas Control de las condiciones de las herramientas	
	Riesgos por trabajo en Altura (mayor a 1,5 metros), según situación y evaluación.	Cumplir con los requisitos de la Resolución 1409 de 2012 expedida por el Ministerio de Trabajo	Control de equipos para izaje de personas y elementos de protección colectiva para trabajo en altura. Control de uso de estos elementos	
	Contacto con energía eléctrica	Aplicar las recomendaciones de la NTC 2050 - Código Eléctrico Colombiano y lo establecido en el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas - RETIE.	Desenergización efectiva en los casos que corresponda	Utilizar los elementos de protección personal adecuados para el trabajo con tensión
	Contacto con PCB	Evaluación de cada tarea. Evitar el contacto con PCB y utilizar los elementos de protección personal	El tipo de elemento de protección dependerá de las condiciones de la tarea, ambiente abierto o cerrado, atmósfera contaminante, suelo contaminado, etc.	Usualmente corresponde a niveles de protección B o C
	Izaje de cargas	Implementar el procedimiento específico y controles de operación	Seguir recomendaciones del documento de trabajo del Instituto de Desarrollo Urbano - IDU denominado protocolo N° 3 - Izaje de cargas en obra	
	Derrames	Contar con un procedimiento para contención de derrames y kit de contención	Adecuado control de las actividades	No utilizar como absorbentes materiales inflamables (ej.: aserrín) Los kits de contención deben ser del tamaño adecuado para los eventuales derrames
	Emergencias	Implementar el plan de emergencia en base a los riesgos que se hayan evaluado	Testeos periódicos. Adecuado entrenamiento	
	Contaminación con herramientas y elementos de protección contaminados	Implementar el procedimiento de uso y descarte de elementos de protección Implementar el procedimiento para gestión de residuos contaminados	Adecuado control de las actividades	Considerar los tipos de solventes que normalmente se utilizan para estos fines (n-hexano, isooctano, acetato de etilo, dietileter, diclorometano), así como que requieren el uso de guantes adecuados. Así mismo, se debe tener en cuenta que luego de la aplicación de los solventes y el uso de los elementos de protección personal, éstos elementos se deben manejar como contaminados.

Actividad	Eventuales Peligros - Riesgos	Medidas de Control	Recomendaciones	Comentarios
Embalaje de equipos o residuos para exportación	Golpes Cortes	Implementar los procedimientos de trabajo seguro	Entrenamiento del personal y control de realización de tareas Control de las condiciones de las herramientas	
	Izaje de cargas	Implementar el procedimiento específico y controles de operación	Seguir recomendaciones del documento de trabajo del Instituto de Desarrollo Urbano - IDU denominado protocolo N° 3 - Izaje de cargas en obra	
	Contacto con PCB	Evaluación de cada tarea. Evitar el contacto con PCB y utilizar los elementos de protección personal	El tipo de elemento de protección dependerá de las condiciones de la tarea, ambiente abierto o cerrado, atmósfera contaminante, suelo contaminado, etc.	Usualmente corresponde a niveles de protección C
	Derrames	Contar con un procedimiento para contención de derrames y kit de contención	Adecuado control de las actividades	No utilizar como absorbentes materiales inflamables (ej.: aserrín) Los kits de contención deben ser del tamaño adecuado para los eventuales derrames
	Emergencias	Implementar el plan de emergencia en base a los riesgos que se hayan evaluado	Testeos periódicos. Adecuado entrenamiento	
Transporte de PCB	Falta de seguridad vehicular	Realizar una adecuada planificación, recursos (humanos y vehículos) y control de cumplimiento de lo planificado	Actuar de acuerdo al Decreto 1609 de 2002 Reglamento de manejo y transporte terrestre automotor de mercancías peligrosas por carreteras	
	Contacto con PCB	Evaluación de cada tarea. Evitar el contacto con PCB y utilizar los elementos de protección personal	El tipo de elemento de protección dependerá de las condiciones de la tarea, ambiente abierto o cerrado, atmósfera contaminante, suelo contaminado, etc.	Usualmente corresponde a niveles de protección C o D
	Derrames	Realizar una evaluación de riesgos, implementar el plan de contingencia y garantizar la provisión de los medios necesarios	Actuar de acuerdo al Decreto 321 de 1999 Plan nacional de contingencia contra derrame de hidrocarburos, derivados y sustancias nocivas	
	Emergencias	Realizar una evaluación de riesgos, implementar el plan de contingencia y garantizar la provisión de los medios necesarios		
Almacenamiento	Derrames	Contar con un procedimiento para contención de derrames y kit de contención	Adecuado control de las actividades	No utilizar como absorbentes materiales inflamables (p. ej.: aserrín). Los kits de contención deben ser del tamaño adecuado para los eventuales derrames
	Contacto con PCB	Evaluación de cada tarea. Evitar el contacto con PCB y utilizar los elementos de protección personal	El tipo de elemento de protección dependerá de las condiciones de la tarea, ambiente abierto o cerrado, atmósfera contaminante, suelo contaminado, etc.	Usualmente corresponde a niveles de protección B, C o D
	Riesgos asociados a las características del sitio y a la contaminación ambiental existente en el mismo	Implementar medidas de ingeniería, observación permanente y control	Respetar requisitos mínimos establecidos para el almacenamiento en la normativa vigente aplicable. Monitoreo de suelo y agua según corresponda	
	Emergencias	Implementar el plan de emergencia en base a los riesgos que se hayan evaluado	Testeos periódicos. Adecuado entrenamiento	

Anexo

Ejemplo de hoja de seguridad para PCB

Fichas Internacionales de Seguridad Química

BIFENILO POLICLORADO (AROCLOR 1254)		ICSC: 0939	
		Octubre 1999	
Clorobifenilo (54% cloro)	Clorodifenilo (54% cloro)	PCB	
CAS: RTECS: NU: CE Índice Anexo I: CE / EINECS:	11097-69-1 TQ1360000 2315 602-039-00-4 215-648-1	Masa molecular: 327 (media)	
TIPO DE PELIGRO / EXPOSICIÓN	PELIGROS AGUDOS / SÍNTOMAS	PREVENCIÓN	PRIMEROS AUXILIOS / LUCHA CONTRA INCENDIOS
INCENDIO	No combustible. En caso de incendio se desprenden humos (o gases) tóxicos e irritantes.		En caso de incendio en el entorno: polvo, dióxido de carbono,
EXPLOSIÓN			
EXPOSICIÓN		¡EVITAR LA FORMACION DE NIEBLA DEL PRODUCTO! ¡HIGIENE ESTRICTA!	
Inhalación		Ventilación.	Aire limpio, reposo. Proporcionar asistencia médica.
Piel	¡PUEDE ABSORBERSE! Piel seca. Enrojecimiento.	Guantes de protección. Traje de protección.	Quitar las ropas contaminadas. Aclarar y lavar con agua y jabón. Proporcionar asistencia médica.
Ojos		Gafas ajustadas de seguridad, pantalla facial.	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad), después proporcionar asistencia médica.
Ingestión	Dolor de cabeza. Aletargamiento.	No comer, ni beber, ni fumar durante el trabajo.	Reposo. Proporcionar asistencia médica.
DERRAMES Y FUGAS		ENVASADO Y ETIQUETADO	
Consultar a un experto. Recoger el líquido procedente de la fuga en recipientes precintables. Absorber el líquido residual en arena o absorbente inerte y trasladarlo a un lugar seguro. NO permitir que este producto químico se incorpore al ambiente. (Protección personal: traje de protección completa incluyendo equipo autónomo de respiración).		Envase irrompible; colocar el envase frágil dentro de un recipiente irrompible cerrado. No transportar con alimentos y piensos. Contaminante marino severo. Clasificación UE Símbolo: Xn, N R: 33-50/53; S: (2-)35-60-61 Nota: C Clasificación NU Clasificación de Peligros NU: 9 Grupo de Envasado NU: II	
RESPUESTA DE EMERGENCIA		ALMACENAMIENTO	
Ficha de emergencia de transporte (Transport Emergency Card): TEC (R)-90GM2-II-L		Separado de alimentos y piensos. Mantener en lugar fresco, seco y bien ventilado.	
<p>IPCS International Programme on Chemical Safety</p> <p>WHO UNEP</p> <p>Preparada en el Contexto de Cooperación entre el IPCS y la Comisión Europea © IPCS, CE 2005</p>			

VÉASE INFORMACIÓN IMPORTANTE AL DORSO

Fuente: IPCS & CE, 2005



Fichas Internacionales de Seguridad Química

BIFENILO POLICLORADO (AROCLOR 1254) **ICSC: 0939**

DATOS IMPORTANTES	
<p>ESTADO FÍSICO; ASPECTO: Líquido amarillo claro, viscoso.</p> <p>PELIGROS QUÍMICOS: La sustancia se descompone al arder, produciendo gases tóxicos e irritantes.</p> <p>LÍMITES DE EXPOSICIÓN: TLV: 0.5 mg/m³ (como TWA), (piel), A3 (ACGIH 2004). MAK: 0.05 ppm, 0.70 mg/m³, H (absorción dérmica), Categoría de limitación de pico: II(8), Cancerígeno: categoría 3B, Riesgo para el embarazo: grupo B (DFG 2004).</p>	<p>VÍAS DE EXPOSICIÓN: La sustancia se puede absorber por inhalación del aerosol, a través de la piel y por ingestión.</p> <p>RIESGO DE INHALACIÓN: Por evaporación de esta sustancia a 20 °C se puede alcanzar bastante lentamente una concentración nociva en el aire.</p> <p>EFFECTOS DE EXPOSICIÓN PROLONGADA O REPETIDA: El contacto prolongado o repetido con la piel puede producir dermatitis. Cloracné es el efecto más visible. La sustancia puede afectar al hígado. La experimentación animal muestra que esta sustancia posiblemente cause efectos tóxicos en la reproducción humana.</p>
PROPIEDADES FÍSICAS	
<p>Densidad relativa (agua = 1): 1.5 Solubilidad en agua: ninguna Presión de vapor, Pa a 25 °C: 0.01</p>	<p>Coefficiente de reparto octanol/agua como log Pow: 6.30 (estimado)</p>
DATOS AMBIENTALES	
<p>Puede producirse una bioacumulación de esta sustancia en organismos acuáticos. Evítese efectivamente que el producto químico se incorpore al ambiente.</p>	
NOTAS	
<p>Cambia a estado resinoso (punto de fluidez) a 10 °C. Intervalo de destilación: 365 °-390 °C. Esta ficha ha sido parcialmente actualizada en octubre de 2004: ver Límites de exposición, Clasificación UE, Respuesta de Emergencia</p>	
INFORMACIÓN ADICIONAL	
<p>Límites de exposición profesional (INSHT 2011): VLA-ED: 0,05 ppm; 0,7 mg/m³</p> <p>Notas: vía dérmica. Alterador endocrino. Esta sustancia tiene establecidas restricciones a la fabricación, comercialización o al uso especificadas en el Reglamento REACH.</p>	
Nota legal	<p>Esta ficha contiene la opinión colectiva del Comité Internacional de Expertos del IPCS y es independiente de requisitos legales. Su posible uso no es responsabilidad de la CE, el IPCS, sus representantes o el INSHT, autor de la versión española.</p>
© IPCS, CE 2005	

Fuente: IPCS & CE, 2005

Glosario

- Afectaciones agudas:** Son respuestas de los organismos que suceden o aparecen en periodos de tiempo relativamente cortos de exposición a un peligro.
- Afectaciones crónicas:** Se presentan como consecuencia de exposiciones prolongadas a las sustancias peligrosas.
- Almacenamiento de elementos PCB:** Es el depósito temporal de equipos o desechos contaminados con PCB en un espacio físico definido y por un tiempo determinado con carácter previo a su manejo posterior, que para los casos de elementos contaminados con PCB, serán su descontaminación o eliminación.
- Bidón:** Embalaje/envase cilíndrico con tapa y fondo planos o convexos, hecho de metal, cartón, plástico, madera contrachapada u otro material.
- Bioacumulación:** Acumulación en el tiempo de una sustancia en tejidos vivos, en especial en ciertas zonas como los tejidos grasos.
- Bioconcentración:** Una vez una sustancia ingresa al organismo se aumenta su concentración en comparación con la que tenía fuera del mismo.
- Biomagnificación:** La concentración de una sustancia se aumenta a través de su paso por la cadena trófica.
- Cloración progresiva:** Proceso de sustitución de átomos de hidrógeno en la molécula por átomos de cloro de manera gradual en la medida que avanza la reacción química mediante la cual se obtienen las sustancias cloradas.
- Cloracné:** Erupción cutánea en forma de acné que acompaña la intoxicación por sustancias cloradas.
- Decloración catalítica:** Proceso usado para remover el cloro de los PCB por medio de la reacción, promovida por un catalizador metálico, entre el hidrógeno gaseoso o un solvente orgánico que contenga un agente reductor o donante de hidrógeno y el cloro de los PCB; de forma tal que se obtienen como productos de la reacción el bifenil y ácido clorhídrico para una molécula de tetraclorobifenil.
- Desechos o residuos con PCB:** Todo material sólido que haya estado en contacto con fluidos aislantes en estado líquido (aceites dieléctricos) contaminados con PCB como: suelos contenidos, material de muestreo, ropa contaminada (guantes, mangueras y accesorios) entre otros. Se entienden como contaminados aquellos con concentraciones iguales o superiores a las 50 ppm de PCB. Se considerarán igualmente las superficies no porosas de los equipos como la cubeta o carcasa metálica, el núcleo de acero magnético y bobinas de cobre entre otras, los cuales se entienden con PCB cuando presenten una concentración igual o mayor a 10 microgramos / dm² (con base en EPA, 2007)
- Eliminación de PCB:** Todos aquellos procesos físicos, químicos, térmicos y biológicos diseñados para la destrucción ambientalmente segura de los PCB.



Embalaje/envase:	Receptáculo y todos los demás componentes o materiales necesarios para que el receptáculo desempeñe su función de contención.
Embalaje:	Es un contenedor o recipiente que contiene varios empaques.
Emergencia:	Toda situación generada por la ocurrencia o inminente de un evento adverso, que requiere de una movilización de recursos sin exceder la capacidad de la respuesta.
Envase:	Recipiente destinado a contener productos hasta su uso final.
Evaluación de Riesgos:	Proceso de evaluar el riesgo o riesgos que surgen de uno o varios peligros teniendo en cuenta lo adecuado de los controles existentes, y decidir si el riesgo o riesgos son o no aceptables.
Gestión ambiental integral de PCB:	conjunto articulado de acciones técnicas, financieras, administrativas, educativas y de planeación, relacionadas con la adquisición, identificación, manipulación, almacenamiento y transporte, seguimiento y monitoreo, incluyendo las etapas de uso y fin de la vida útil de los equipos con el fin de prevenir su contaminación con PCB, así como el manejo y eliminación de forma ambientalmente adecuada de los desechos contaminados con PCB; enmarcado en principios de prevención, precaución y minimización de riesgos, así como de eficiencia técnica y económica.
Gestión ambientalmente racional de desechos:	Se entiende como la adopción de todas las medidas posibles para garantizar que los desechos peligrosos y otros desechos se gestionen de manera que el medio ambiente y la salud humana se protejan frente a los efectos nocivos que pueden derivarse de ellos (Convenio de Basilea sobre control del movimiento transfronterizo de desechos peligrosos).
Gestor de PCB:	Persona natural o jurídica que presta los servicios de cualquiera de las operaciones o etapas que componen la gestión ambiental integral de los equipos y elementos contaminados con PCB, cumpliendo con los requerimientos de la normativa vigente a que haya lugar.
Hoja de Seguridad:	Documento que describe los riesgos de un material peligroso y suministra información sobre cómo se puede manipular, usar y almacenar el material con seguridad, que se elabora de acuerdo con lo estipulado en la Norma Técnica Colombiana NTC 4435, emitida el 22 de julio de 1998. Se considera una herramienta que ofrece principalmente el nombre y tipo de la sustancia química, su clasificación según la Organización de Naciones Unidas, su composición y principios activos, las principales características (propiedades fisicoquímicas), los elementos de protección personal requeridos para el manejo seguro, las condiciones de almacenamiento y transporte, y la actuación frente a emergencias (derrames, incendios, exposición).
Manejo externo:	Incluye actividades de almacenamiento, aprovechamiento, recuperación, tratamiento y disposición final de un residuo, ya sean dentro o fuera del país.
Norma Técnica Colombiana (NTC):	Norma técnica aprobada o adoptada como tal, por el organismo nacional de normalización.
Norma Técnica:	Es el documento establecido por consenso y aprobado por un organismo reconocido, que suministra, para uso común y repetido, reglas, directrices y características para las actividades o sus resultados, encaminadas al logro del grado óptimo de orden en un contexto dado. Las normas técnicas se deben basar en los resultados consolidados de

No. 6. Manejo ambientalmente racional de equipos y desechos contaminados con PCB

la ciencia, la tecnología y la experiencia y sus objetivos deben ser los beneficios óptimos para la comunidad.

- Número UN:** Es un código específico o número de serie para cada mercancía peligrosa, asignado por el sistema de la Organización de las Naciones Unidas (ONU), y que permite identificar el producto sin importar el país del cual provenga. A través de este número se puede identificar una mercancía peligrosa que tenga etiqueta en un idioma diferente al español.
- Peligro:** Fuente, situación o acto con potencial para causar daño en término de daño humano o deterioro de la salud o el ambiente, o una combinación de éstos.
- Plan de contingencia:** Es un documento guía que establece estrategias de respuesta a través de Procedimientos Operativos Normalizados (PON) y protocolos de respuesta para la atención de incidentes. El plan define responsabilidades de las personas que intervienen en la operación, provee una información básica sobre los insumos y recursos disponibles, ya sea que el evento se presente durante una actividad estacionaria (almacenamiento, procesos, cargue y descargue) o durante el transporte (CORANTIOQUIA, CORNARE, CORPOURABA Y AMVA, 2013).
- Planeación ambiental:** Conjunto de lineamientos básicos que deben considerarse con el propósito de conservar el entorno natural, realizar una eficiente utilización de los recursos, aumentar la productividad y el cumplimiento de la normatividad ambiental.
- Prevención y Minimización:** Es el componente más importante del plan de gestión, determina la naturaleza, la cantidad y la clasificación de los residuos generados.
- Residuo o desecho.** Es cualquier objeto, material, sustancia, elemento o producto que se encuentra en estado sólido o semisólido, o es un líquido o gas contenido en recipientes o depósitos, cuyo generador descarta, rechaza o entrega porque sus propiedades no permiten usarlo nuevamente en la actividad que lo generó o porque la legislación o la normatividad vigente así lo estipula.
- Residuo o desecho peligroso.** Es aquel residuo o desecho que por sus características corrosivas, reactivas, explosivas, tóxicas, inflamables, infecciosas o radiactivas puede causar riesgo o daño para la salud humana y el ambiente. Así mismo, se considera residuo o desecho peligroso los envases, empaques y embalajes que hayan estado en contacto con ellos.
- Rellenado o retrofilling:** Proceso que consiste en realizar un drenado del aceite dieléctrico contaminado con PCB y su almacenamiento en canecas de seguridad, y posteriormente, llenar con aceite dieléctrico libre de PCB con características similares al usado por el transformador.
- Riesgo:** Combinación de la probabilidad de que ocurra un suceso o exposición peligrosa y la severidad del daño o deterioro de la salud o el ambiente que puede causar el suceso o exposición.
- Rótulo:** Distintivo que se ubica sobre las unidades de transporte para indicar el tipo de mercancía que transporta.
- Segregar:** Separar, apartar o aislar una mercancía peligrosa de otra que puede ser o no peligrosa, de acuerdo con la compatibilidad que exista entre ellas. Separación física de diferentes grupos de productos, por ejemplo en bodegas separadas



o por una pared resistente al fuego dentro de la bodega.

Separación: Ubicación de diferentes grupos de sustancias peligrosas en áreas separadas dentro de un espacio.

Tóxico: Sustancia que puede causar la muerte o lesiones graves o que pueden ser nocivas para la salud humana, si se ingieren o inhalan o entran en contacto con la piel.

Transporte terrestre de equipos y desechos contaminados con PCB: Comprende todas las operaciones y las condiciones relacionadas con la movilización, la seguridad en los envases y los embalajes, la preparación, el envío, la carga, la segregación, el transbordo, el trasiego, el almacenamiento en tránsito, la descarga y la recepción en el destino final.

Acrónimos – Siglas

ACDI	Agencia Canadiense para el Desarrollo Internacional	NSCR	Sistema catalítico no selectivo (NSCR por sus siglas en inglés)
CCS	Consejo Colombiano de Seguridad	NTC	Norma Técnica Colombiana
CCME	Canadian Council of Ministers of the Environment	PCB	Bifenilos policlorados (PCB por sus siglas en inglés)
CDC	Centers for Disease Control and Prevention	PCDD	Dibenzoparadioxinas policloradas
CERI	Canadian Energy Research Institute	PCDF	Dibenzofuranos policlorados
DEHP	Department of Environment and Heritage Protection	PNUMA	Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente
EPA	Environmental Protection Agency	UNECE	United Nations Economic Commission for Europe
ESP	Precipitador electrostático (ESP por sus siglas en inglés)	UNEP	United Nations Environment Program
ICAO	International Civil Aviation Organization	SCBA	Equipo de respiración autónomo (SCBA por sus siglas en inglés)
IMDG	International Maritime Dangerous Goods	SCR	Sistema catalítico selectivo (SCR por sus siglas en inglés)
MAVDT	Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (ahora Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible)	SCWO	Oxidación con agua supercrítica (SCWO por sus siglas en inglés)
MMA	Ministerio del Medio Ambiente (ahora Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible)	SG-SST	Sistema de gestión de la seguridad y salud en el trabajo
NETL	National Energy Technology Laboratory	SGRL	Sistema General de Riesgos Laborales

Referencias

Agency for Toxic Substances and Disease. Registry Division of Toxicology and Environmental Medicine ATSDR (2011). *Addendum to the Toxicological Profile for Polychlorinated Biphenyls.* USA.

American Conference of Industrial Hygienists – ACGIH (2014). Resources. Recuperado el día 18 de agosto de 2014 de: <http://www.acgih.org/>

Anitescu, G., y Tavlarides, L. (2000). *Oxidation of Aroclor 1248 in Supercritical Water: A Global Kinetic Study.* Ind. Eng. Chem. Res.39, 583-591 2000.

Argentina. Superintendencia de Riesgos del Trabajo - SRT - Albiano, Nelson (2009). *Toxicología Laboral – Criterios para vigilancia de los trabajadores expuestos a sustancias químicas peligrosas.* Preventox. Buenos Aires, Argentina.: SRT

Bayer Industry Services (2010). *Incineration of Hazardous Waste.* Leverkusen, Germany.: Bayer Industry Services.

Canadian Council of Ministers of the Environment – CCME (1995). *PCB Transformer Decontamination Standards and Protocols.* December, 1995.

Canadian Energy Research Institute - CERI & Agencia Canadiense para el Desarrollo Internacional - ACDI & Ministerio del Medio Ambiente – MMA (2001). *Informe final – manual de manejo de PCB para Colombia.* Bogotá, Colombia.: CERI & ACDI & MMA.

Caneghen, J., Block, C., Vandecasteele, C. (2014). *Destruction and Formation of Dioxin-like PCB in Dedicated Full Scale Waste Incinerators.* Chemosphere, 94, 42-47, 2014.

Centers for Disease Control and Prevention – CDC. (2012). Fotografía de Elemento de protección respirador con purificador de aire tipo NIOSH obtenida de <http://www.cdc.gov/niosh/>

Colombia (1979). *Ley 9 de 1979. Por la cual se dictan Medidas Sanitarias.* Colombia.

Colombia (1984). *Decreto 614 de 1984. Por el cual se determinan las bases para la organización y administración de Salud Ocupacional en el país.* Colombia.

Colombia (1993). *Ley 100 de 1993. Por la cual se crea el sistema de seguridad social integral y se dictan otras disposiciones.* Colombia.

Colombia (1994). *Decreto 1281 de 1994. Por el cual se reglamentan las actividades de alto riesgo.* Colombia.

Colombia (1994). *Decreto 1295 de 1994. Por el cual se determina la organización y administración del Sistema General de Riesgos Profesionales.* Colombia.

Colombia (1994). *Decreto 1832 de 1994. Por el cual se adopta la Tabla de Enfermedades Profesionales.* Colombia.

Colombia (2002). *Ley 769 de 2002. Por la cual se expide el Código Nacional de Tránsito Terrestre y se dictan otras disposiciones.* Colombia.

Colombia (2002). *Decreto 1609 de 2002. Por el cual se reglamenta el manejo y transporte terrestre automotor de mercancías peligrosas por carretera.* Colombia.

Colombia (2005). *Decreto 4741 de 2005. Por el cual se reglamenta parcialmente la prevención y el manejo de los residuos o desechos peligrosos generados en el marco de la gestión integral.* Colombia.

Colombia (2012). *Ley 1562 de 2012. Por la cual se modifica el Sistema de Riesgos Laborales y se dictan otras disposiciones en materia de salud ocupacional.* Colombia.

Colombia (2013). *Decreto 0723 de 2013. Por el cual se reglamenta la afiliación al Sistema General de Riesgos Laborales de las personas vinculadas a través de un contrato formal de prestación de servicios con entidades o instituciones públicas o privadas y de los trabajadores independientes que laboren en actividades de alto riesgo y se dictan otras disposiciones.* Colombia.

Colombia (2014). *Decreto 1443 de 2014. Por el cual se dictan disposiciones para la implementación del Sistema de Gestión de la Seguridad y Salud en el Trabajo (SG-SST).* Colombia.

Colombia (2014). *Decreto 1477 de 2014. Por el cual se expide la Tabla de Enfermedades Laborales.* Colombia.



Colombia. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM (2012). *Protocolo M2-SAPc-01. Determinación de bifenilos policlorados (PCB) en aceites dieléctricos por cromatografía de gases con detector de captura de electrones. Versión 1.* Colombia.: IDEAM

Colombia. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM (2012). *Protocolo M2-SAPc-04. Determinación de bifenilos policlorados (PCB) por cromatografía de gases con detector de captura de electrones en superficies sólidas. Versión 1.* Colombia.: IDEAM

Colombia. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial – MAVDT & Consejo Colombiano de Seguridad - CCS (2003). *Guías ambientales de almacenamiento y transporte por carretera de sustancias químicas peligrosas y residuos peligrosos.* Bogotá D.C., Colombia.

Colombia. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial - MAVDT (2007). *Inventario Preliminar de Compuestos Bifenilos Policlorados (PCB) Existentes en Colombia.* Bogotá, Colombia.

Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2011). *Resolución 222 de 2011. Por la cual se establecen requisitos para la gestión ambiental integral de equipos y desechos que consisten, contienen o están contaminados con Bifenilos Policlorados (PCB).* Colombia.

Colombia. Ministerio de la Protección Social (2007). *Resolución 1401 de 2007. Por la cual se reglamenta la investigación de incidentes y accidentes de trabajo.* Colombia.

Colombia. Ministerio de la Protección Social (2007). *Resolución 2346 de 2007. Por la cual se regula la práctica de evaluaciones médicas ocupacionales y el manejo y contenido de las historias clínicas ocupacionales.* Colombia.

Colombia. Ministerio de la Protección Social (2007). *Resolución 2844 de 2007. Por la cual se adoptan las Guías de Atención Integral de Salud Ocupacional Basadas en la Evidencia.* Colombia.

Colombia. Ministerio de Minas y Energía. (2013). *Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas RETIE 2013.* Colombia.: MinMinas.

Colombia. Ministerio de Trabajo y Seguridad Social (1979). *Resolución 2400 de 1979. Por la cual se establecen algunas disposiciones sobre vivienda, higiene y seguridad en los establecimientos de trabajo.* Colombia.

Colombia. Ministerio de Trabajo y Seguridad Social & Ministerio de Salud (1986). *Resolución 213 de 1986. Por la cual se reglamenta la organización y funcionamiento de los Comités de Medicina, Higiene y Seguridad Industrial en los lugares de trabajo.* Colombia.

Colombia. Ministerio de Trabajo y Seguridad Social & Ministerio de Salud (1989). *Resolución 1016 de 1989. Por la cual se reglamenta la organización, funcionamiento y forma de los Programas de Salud Ocupacional que deben desarrollar los patronos o empleadores en el país.* Colombia.

Colombia. Servicio Nacional de Aprendizaje – SENA (2010). *Norma de Competencia Laboral - NCL 220201030. Bogotá, Colombia.:* SENA

De Filippis, P., Scarcella, M., & Pocheti, F. (1999). *Dechlorination of polychlorinated biphenyls: a kinetic study of removal of PCB from mineral oils. Ind. Eng. Chem. Res. 38(2) 380-384.*

Departamento de Trabajo de Estados Unidos (1998). *Equipo de Protección Personal – OSHA 3077. USA.*

Department of Environment and Heritage Protection – DEHP (2000). *Guideline Waste Management. Managing Polychlorinated Biphenyl (PCB) Versión 2.* Queensland, Australia.

Electrical Trade Union of Australia (1993). *PCB code of practice. Code of practice for the safe handling of equipment containing polychlorinated biphenyl (PCB) Number 2.* Australia.

Environmental Protection Agency – EPA (1996). *PCB: Cancer Dose-Response Assessment and Application to Environmental Mixtures. Reporte EPA 600P-96001F.* USA

Environmental Protection Agency – EPA (2004). *Polychlorinated Biphenyl Inspection Manual.* Washington, USA. : EPA

Environmental Protection Agency – EPA (2013). *Health Effects of PCBs. Información disponible en: <http://www3.epa.gov/epawaste/hazard/tsd/pcbs/pubs/ef-fects.htm>*

Falck, F., Ricci, A., Wolff, M.S., Godbold, J., and Deckers, P. (1992). *Pesticides and polychlorinated biphenyl residues in human breast lipids and their relation to breast cancer. Arch. Environ. Health 47, 143.*

- Flynn, Leonard & Kleiman, Cindy F. (1997).** Publicado en Public Health Concerns About Environmental Polychlorinated Biphenyls. Recuperado de <http://acsh.org/1997/01/public-health-concerns-about-environmental-polychlorinated-biphenyls-pcbs/>. : Flynn & Kleiman.
- Fundación Vasca para la Seguridad Agroalimentaria - ELIKA (2013).** Dioxinas, Furanos y PCB. Recuperado de <http://www.elika.eus/es/> en marzo de 2015.
- Hatakeda, K., Ikushima, Y., Sato, O., Aizawa, T., y Saito, N. (1999).** *Supercritical Water Oxidation of Polychlorinated Biphenyls using hydrogen peroxide.* Chem. Eng. Sci. 54, 3079-3084 (1999).
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (1998).** *Código eléctrico colombiano.* Bogotá, Colombia.: ICONTEC, 1998 (NTC 2050)
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (1999).** *Embalajes y envases para transporte de mercancías peligrosas clase 9. Sustancias peligrosas varias.* Bogotá, Colombia.: ICONTEC, 1999 (NTC 4702-9)
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (2005).** *Transporte de mercancías peligrosas, definiciones, clasificación, marcado, etiquetado y rotulado. Tercera actualización.* Bogotá, Colombia.: ICONTEC, 2005 (NTC 1692)
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (2010).** *Transporte de mercancías peligrosas. Tarjetas de emergencia para transporte de materiales. Elaboración. Primera actualización.* Bogotá, Colombia.: ICONTEC, 2010 (NTC 4532)
- Instituto de Desarrollo Urbano - IDU (2005).** Documento de trabajo *Protocolo N° 3 Izaje de cargas en obra.* Bogotá D.C., Colombia.
- International Maritime Dangerous Goods – IMDG (2011).** *Código marítimo internacional de materiales peligrosos.* Londres, UK. : IMDG
- International Programme on Chemical Safety – IPCS & Comisión Europea – CE (2005).** *Fichas Internacionales de Seguridad Química – Bifenilo Policlorado (Aroclor 1254).* U.E.: IPCS & CE.
- Kanbe, H. y Shibuya, M. (2001).** *Solvent Cleaning of Pole Transformers Containing PCB contaminated insulating oil.* Waste Management, 21 (2001) 371-380.
- Karstensen, K.H. (2008).** *Formation, release and control of dioxins in cement kilns.* Chemosphere 70(4). 543-560.
- Karstensen, K.H., Mubarak, A.M., Gonadasa, H.N., Wijagunasekara, B., Ratnayake, N., De Alwis, A., & Fernando, J. (2010).** *Test burn with a PCB-oil in a local cement kiln in Sri Lanka.* Chemosphere 78(6) 717-723.
- Kastanek, F., Kastanek, P. (2005).** *Combined descontamination processes for wastes containing PCB.* Journal of Hazardous Materials B117, 2005, 185-205.
- Kawasaki, S.I., Oe, T., Anjoh, N., Nakamori, T., Suzuki, A., y Arai, K. (2006).** *Practical Supercritical Water Reactor for Destruction of High Concentration Polychlorinated Biphenyls (PCB) and Dioxin Waste Streams.* Trans IchemE, Part B, Process Safety and Environmental Protection. 84, 317-324 (2006).
- Kim, Y. C. (2006).** *Supercritical Water Oxidation of PCB-contaminated Transformer Oil.* Eight Conference on Supercritical Fluids and Their Applications. Italy, 2006.
- Kim, K., Kim, K., Son, S., Cho, J., Kim, Y. (2011).** *Supercritical Water Oxidation of Transformer Oil Contaminated with PCB – A Road to Commercial Plant from Bench-scale Facility.* J. of Supercritical Fluids 58(2011) 121-130.
- Kim, K., Son, S., Kim, K., Kim, K. Kim, Y. (2010).** *Environmental Effects of Supercritical Water Oxidation (SCWO) Process for Treating Transformer Oil Contaminated with Polychlorinated Biphenyls (PCB).* Chemical Engineering Journal 165 (2010) 170-174.
- Krishnan, V., Safe, S. (1993).** *Polychlorinated biphenyls (PCBs), dibenzo-p-dioxins (PCDDs), and dibenzofurans (PCDFs) as antiestrogens in MCF-7 human breast cancer cells: quantitative structure-activity relationships.* Toxicol. Appl. Pharmacol. 120, 55.
- LaGreca M., & Buckingham P., & Evans J. (1996).** *Hazardous waste management.* London, United Kingdom.: McGraw- Hill.
- Lee, H. C., In, J. H., Lee, S. Y., Kim, J. H., y Lee, C. H. (2005).** *An Anti-corrosive Reactor for the Decomposition of Halogenated Hydrocarbons with Supercritical Water Oxidation.* J. of Supercritical Fluids. 36, 59-69 (2005).
- Li, K., Landriaul, M., Fingas, M., Potvin, A. (2001).** *On site PCB analysis in support of a transformer rebuilding project.* Journal of Hazardous Materials 83 (2001) 123-134.
- Liao, W., Chen, Y., Wang, J., Yak, H., & Wai, C. (2007).** *Hydrodechlorination of chlorinated biphenyls in supercritical CO2 catalyzed by polymer-stabilized palladium nanoparticles.* Ind. Eng. Chem. Res. 46(15) 5089-5093.



- Marrone, P. (2013).** *Supercritical Water Oxidation – Current Status of Full-scale Commercial Activity for Waste Destruction. J. of Supercritical Fluids*, 79 (2013) 283-288.
- Martel, R. Foy, S., Saumure, L., Roy, A., Lefebvre R., Therrien, R., Gabriel, U., Gélinas, P. (2005).** *Polychlorinated Biphenyl (PCB) Recovery Under a Building with an In Situ Technology Using Micellar Solutions. Can. Geotech. J.* Vol 42, 2005.
- Marulanda, V. (2014).** *Procesos de lavado de transformadores y alternativas de tratamiento de aceites y desechos contaminados con PCB, revisión bibliográfica. Proyecto COL/84851-71268 Desarrollo de la Capacidad para la Gestión y Eliminación Ambiental Adecuada de PCB. Bogotá, Colombia.: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.*
- Marulanda, V., Bolaños, G. (2010).** *Supercritical Water Oxidation of a Heavily PCB-Contaminated Mineral Transformer Oil: Laboratory Scale Data and Economic Assessment. J. of Supercritical Fluids*. 54, 2010, 258-265.
- Marulanda, V., Bolaños, G. (2011).** *Process for the Destruction of Toxic Residues via Oxidation in Presence of Water and Oxygen and Continuous Mobile Unit to Treat Hazardous Compounds. United States Patent Application Publication US2011/0237857 A1, Sep 29, 2011.*
- Marulanda, V., Valencia, O. (2013).** *Catalytic and Supercritical Technologies for the Destruction of Polychlorinated Biphenyls (PCB) Wastes: A Review. Revista Epsilon*, 20, Enero-Junio 2013.
- Masuda, Yoshito (1985).** *Health Status of Japanese and Taiwanese After Exposure to Contaminated Rice Oil. Environmental Health Perspectives Vol. 60, pp 321-325,*
- Mechlinska, A., Wolska, L., Namiesnik, J. (2010).** *Comparison of different extraction techniques of polychlorinated biphenyls from sediment samples. Analytical Letters*, 43, 2010, 1149-1161.
- Mitoma, Y., Tasaka, N., Masuda, T., Tashiro, H., & Egashira, N. (2006).** *Calcium promoted catalytic degradation of PCDDs, PCDFs and coplanar PCB under a mild wet process. Environ. Sci. Technol.* 40(6) 1849-1854.
- Monsanto (1995).** *Material Safety Data Polychlorinated Biphenyls (PCB).* Sant Louis, EE.UU.: Monsanto Company
- Murena, F., Schioppa, E., & Gioia, F. (2000).** *Catalytic hydrodechlorination of a PCB dielectric oil, Environ. Sci. Technol.* 34(20) 4382-4385.
- National Energy Technology Laboratory – NETL (2000).** *A comparison of gasification and incineration of hazardous wastes. Austin, EE.UU.: United States Department of Energy.*
- Noma, Y., Mitsuhashi, Y., Matsuyama, K., & Sakai, S. (2007).** *Pathways and products of the degradation of PCB by the sodium dispersion method. Chemosphere* 68(5) 871-879.
- O'Brien, C., Thies, M., y Bruce, D.A. (2005).** *"Supercritical Water Oxidation of the PCB Congener 2-Chlorobiphenyl in Methanol Solutions: A Kinetic Analysis". Environ. Sci. Technol.* 39, 6839-6844 (2005).
- Occupational Safety and Health Administration – OSHA (2005).** *Hazardous waste operations and emergency responses. USA.: OSHA, 2005 (29 CFR – 1910-120)*
- Occupational Safety and Health Administration – OSHA (2009).** *Assigned Protection Factors for the Revised Respiratory Protection Standard. USA.: OSHA, 2009 (OSHA 3352-02)*
- Organización Internacional del Trabajo – OIT (2001).** *Enciclopedia de Seguridad y Salud en el Trabajo. Capítulo 31 - Protección Personal – Robert F. Herrick. Madrid, España.*
- Pfafflin, J.R., Ziegler, E.N. (2006).** *Encyclopedia of Environmental Science and Engineering, Fifth Edition. CRC Press. 2006.*
- Placson. (2014).** *Destruction of PCB's.* Recuperado el día 26 de noviembre de 2014 de: <http://placson.com.au>
- Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente - PNUMA (2005).** *Directrices técnicas para la gestión ambientalmente racional de los contaminantes orgánicos persistentes elaboradas en el marco del Convenio de Basilea sobre el control de los movimientos transfronterizos de los desechos peligrosos y su eliminación. Uruguay.: PNUMA.*
- Riaza-Frutos A., Quiroga, J.M., Manzano, M.A. (2007).** *Remediation of Contaminated Soils with PCB using an Integrated Treatment: Desorption and Oxidation. Journal of Environmental Engineering, May 2007.*

- Rodríguez, J.G., & Lafuente, A. (2008).** *Effective elimination of PCB catalyzed by the palladium/hydrazine system as an ecological sustainable process.* Ind. Eng. Chem. Res. 47(21) 7993-7996.
- Secretariat of the Basel Convention (2003).** *Preparation of a National Environmentally Sound Management Plan for PCB and PCB- Contaminated Equipment – Training Manual.* Châtelaine, Switzerland.
- Shibuya, M., Kanbe, H., Seki, T. (1997).** *Proving test on removal of PCB from Pole Transformer by Vacuum Heating Separation Method.* Electrical Engineering in Japan. Vol 120(3), 1997.
- Simion, A., Miyata, H., Kakeda, M., Egashira, M., Mitoma, Y., Simion, C. (2013).** *Direct and Complete Cleansing of Transformer Oil Contaminated by PCB.* Separation and Purification Technology, 103. (2013) 267-272.
- Superintendencia de Riesgos del Trabajo - SRT - Albiano, Nelson (2009).** *Toxicología Laboral – Criterios para vigilancia de los trabajadores expuestos a sustancias químicas peligrosas.* Preventox. Buenos Aires, Argentina.
- Tavlarides, L. L., Zhou, W., y Anitescu, G. (2000).** *Supercritical Fluid Technology for the Remediation of PCB/PAH-Contaminated Soils/Sediments.* Proceedings of the 2000 Conference on Hazardous Waste Research, 2000.
- Unión Industrial de Córdoba.** *Información sobre programa e-learning Empresas Seguras.* <http://www.uic.org.ar/portal/?p=1327>
- United Nations Economic Commission for Europe – UNECE (2011).** *Recomendaciones relativas al transporte de mercancías peligrosas, reglamentación modelo.* (Libro Naranja) Volumen 1, Edición No. 17. Ginebra, Suiza.: UNECE, 2011^a
- United Nations Economic Commission for Europe – UNECE (2011).** *Packing instruction P906.* Ginebra, Suiza.: UNECE, 2011b
- United Nations Environment Program - UNEP (1990).** *Technical Report N°3. Storage of Hazardous Materials: A Technical Guide for Safe Warehousing of Hazardous Materials.* París, Francia.: UNEP.
- United Nations Environment Program – UNEP Chemical (2000).** *Survey of currently available non-incineration PCB destruction technologies.* Ginebra, Suiza.: UNEP.
- United Nations Environment Program - UNEP (2003).** *Convenio de Basilea, manual de capacitación: Preparación de un plan nacional de manejo ambientalmente adecuado de los bifenilos policlorados (PCB) y de equipos contaminados con PCB.* Chatelaine, Suiza.: UNEP.
- Universidad del Valle (2009).** *Cartilla de Elementos de Protección Personal.* Cali, Colombia.
- Uruguay. Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente – MVOTMA (2013).** *Guía para la gestión de transformadores y capacitores con Bifenilos Policlorados (PCB).* Uruguay.
- World Health Organization - WHO (1993).** *Polychlorinated biphenyls. Environmental Health Criteria 140 – Polychlorinated biphenyls and terphenyls.* 2nd edition. World Health Organization, Geneva, Switzerland
- World Health Organization – WHO. (2006) — TEF Values - The International Programme on Chemical Safety - IPCS.** Recuperado de http://www.who.int/ipcs/assessment/tef_values.pdf
- World Health Organization – WHO (2014).** *Las dioxinas y sus efectos en la salud. En: nota descriptiva No. 225, mayo de 2014.* Recuperado el día 17 de agosto de: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs225/es/>
- Wu, W., Xu, J., Zhao, H., Zhang, & Q., Liao, S. (2005).** *A practical approach to the degradation of polychlorinated biphenyls in transformer oil.* Chemosphere 60(7) 944-950.

