

GUÍA TÉCNICA GESTIÓN DE PCB

Proyecto
"Manejo Integral de PCB en Costa Rica",
MINAE, PNUD-GEF
2014-2018

MINISTERIO DE AMBIENTE Y ENERGÍA
DIRECCIÓN DE GESTIÓN DE CALIDAD AMBIENTAL



547.61
C8375g

Costa Rica. Ministerio de Ambiente y Energía. Dirección de Gestión de Calidad Ambiental
Guía técnica de PCB / Elaborado por Ing. Anna Ortiz Salazar, - -
San José, Costa Rica : GEF, MINAE, UNDP, 2015.
110 p. : il. : col. ; 28 cm.

Proyecto manejo integral de PCB en Costa Rica MINAE,
PNUD, GEF-0084-331

ISBN 978-9977-50126-0

1. HIDROCARBUROS AROMATICOS CLORADOS 2. COSTA RICA 3. INVENTARIOS. 4. TRANSFORMADORES Y CAPACITADORES MITIGACION. 5. PROTECCION AL MEDIO AMBIENTE 6. GESTION AMBIENTAL. I. Ortiz salazar, Anna I. Título.

© MINAE, 2015

DIRECCIÓN NACIONAL DEL PROYECTO

Licda. Shirley Soto Montero (DIGECA)

COMITÉ COORDINADOR DEL PROYECTO

Dr. Elidier Vargas Castro
Lic. José Alberto Rodríguez Ledezma
MSc. María del Mar Solano Trejos
Licda. Manuela Mata Zúñiga

COORDINACIÓN NACIONAL DEL PROYECTO

Licda. Georgina Jiménez Elizondo - Coordinadora Nacional
Ing. Anna Ortiz Salazar - Líder Técnica

ELABORADO POR:

Ing. Anna Ortiz Salazar

PRODUCCIÓN EDITORIAL

Printea - Grupo Nación

Diseño y artes:

Carmen Teresa Mora Ureña

Impreso en San José, Costa Rica

Primera edición. Diciembre, 2015. 100 ejemplares

Contenido

Siglas y acrónimos.....	7
Glosario.....	8
Introducción.....	9
1. Generalidades.....	11
1.1 ¿Qué son los PCB?.....	13
1.2 ¿Dónde se encuentran los PCB?.....	18
2. Inventario	19
2.1 El inventario	21
2.2 Base de Datos.....	22
2.3 Inspecciones visuales para determinar el contenido de PCB para Transformadores y Capacitores.....	22
2.4 Transformadores	24
2.5 Capacitores	26
2.6 Muestreo de transformadores y capacitores	26
2.6.1 Preparación para la toma de muestras	26
2.6.2. Procedimiento para el muestreo de capacitores.....	29
2.6.3. Procedimiento para el muestreo de transformadores	30
2.6.4. Consideraciones especiales para transformadores fuera de uso y drenados.....	33
2.7 Análisis de PCB	34
2.7.1 Kits de prueba para detección de cloro	35
2.7.2. La detección de la concentración de cloro mediante el analizador electrónico L2000DX	35
2.7.3. Análisis por Cromatografía de Gases (CG)	36
2.7.4. Desechos generados durante las pruebas analíticas.....	37
2.7.5 Etiquetado de equipo identificado.....	37
2.7.6. Etiquetas para equipo contenedores de aceites o residuos contaminados con PCB.....	38

3. Plan de Gestión de PCB.....	39
3.1 Aspectos del plan de gestión de PCB	41
Designación de un Responsable de PCB.....	41
Capacitación e instrucción del personal	41
Inventario	41
Base de Datos de equipo, aceites y desechos contaminados con PCB	41
Procedimiento de mantenimiento.....	41
Plan de Acción para Prevenir y Controlar Derrames de PCB	41
Planes de emergencia.....	43
Plan de eliminación.....	43
4. Mantenimiento de equipo que está contaminado con PCB	45
4.1 Medidas de seguridad.....	47
4.2 Mantenimiento de transformadores con PCB	47
4.2.1. Fugas de transformadores.....	49
4.2.2. Revisiones visuales	50
4.2.3. El nivel de aceite en los transformadores de generación y potencia.....	51
4.2.4. Indicador de temperatura	51
4.2.5. Manómetro de vacío de presión.....	51
4.2.6. Corrosión en el tanque y las aletas del radiador	51
4.2.7. Pruebas de rendimiento	51
4.3 Aceites dieléctricos que se pueden usar como sustitutos de aceites con PCB	51
4.4 Mantenimiento de capacitores con PCB	53
5. Protección de la salud y el ambiente.....	55
5.1 Medios de exposición a PCB	57
5.1.1. Estómago e intestino.....	57
5.1.2. Piel y ojos	57
5.1.3. Vías respiratorias	57
5.2 Equipo de protección personal	57
5.3 Primeros Auxilios en caso de entrar en contacto con PCB	59
5.4 Protección del ambiente.....	60
5.5 Acciones de emergencia y limpieza	60

5.5.1 Acciones de emergencia para incidentes fríos	61
5.5.2 Acciones de emergencia para incidentes calientes	62
Incidente causado por un daño interno.....	62
Incendios.....	63
5.5.3 La evaluación después de un incidente	64
Disposición de desechos después de un incidente con PCB	65
Contaminación aceptable después de las actividades de limpieza.....	65
6. Retirado de servicio de equipos contaminados con PCB.....	67
6.1 Pasos a seguir para el retirado de servicio de transformadores contaminados.....	69
6.2 Retirado de servicio de capacitores contaminados con PCB	70
Retirada de servicio.....	71
6.3 Retirado de servicio de otros equipos.....	72
7. Empaque para uso nacional e internacional	73
7.1 Empaques para uso nacional	75
7.2 Empaque para uso internacional.....	75
7.3 Tipos de contenedores para transporte de PCB.....	76
7.4 Etiquetado en el empaque para el transporte (uso nacional e internacional)	79
7.4.1. Etiquetas para almacenamiento y transporte terrestre	79
7.4.2. Etiquetas para almacenamiento y transporte marítimo.....	79
7.5 Manejo de residuo empacado	80
8. Almacenamiento temporal.....	81
8.1 Almacenamiento temporal en el sitio.....	83
8.1.1 Requisitos mínimos para el almacenamiento temporal de equipo, aceite y residuos contaminados con PCB.....	84
8.2 Almacenamiento Centralizado- Centro de Transferencia	87
9. Tratamiento y disposición final.....	93
9.1 Generalidades	95
9.2 Consideraciones para seleccionar tecnologías para tratamiento y disposición final.....	95
9.3 Legislación aplicable.....	96

9.4 Descripción de tecnologías de destrucción de PCB	97
9.4.1. Incineración a Alta Temperatura	97
9.4.2. Cogeneración.....	98
9.4.3. Declorinación (Reducción con metales alcalinos)	98
9.4.4. Proceso de Declorinación con Base Catalítico (DBC).....	98
9.4.5. Reducción Química en Fase Gaseosa (RQFG)	99
9.5 Descontaminación	99
9.5.1. Retrolavado.....	99
9.5.2. Autoclave.....	100
Anexos	101
1. Ficha de emergencia para respuesta a un incidente frío de PCB.....	103
2. Ficha de emergencia para respuesta incidentes calientes de PCB	104
3 Mejores prácticas de trabajo	105
4 Instrucciones para trabajadores que entran en contacto con PCB.....	106
5 Primeros Auxilios en caso de contacto con PCB.....	107
Bibliografía consultada	109

Siglas

ADR	Acuerdo Europeo para el transporte terrestre internacional de materiales peligrosos (ADR por sus siglas en inglés)	PBB	Bifenilos Polibromados
µg	Microgramo	PCB	Bifenilos Policlorados
COP	Contaminantes Orgánicos Persistentes	PCDD	Dibenzo-p-dioxinas o dioxina; sub-producto de PCB
EM	Espectrómetro de masas	PCDF	Dibenzofuranos o furano; sub-producto de PCB
EPP	Equipo de protección personal	PCT	Trifenilos Policromados
FMAM	Fondo para el Medio Ambiente Mundial	PE	Polietileno
GC	Cromatografía de gases	PIC	Consentimiento Previo Informado (PIC por sus siglas en inglés)
IBC	Contenedor intermedio de granel (IBC por sus siglas en inglés)	PNI	Plan Nacional de Implementación del Convenio de Estocolmo
IMDG	Código internacional marítimo para transporte de materiales peligrosos (IMDG por sus siglas en inglés)	PNUD	Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo
kV	Kilovoltios	PNUMA	Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente
kVa	Kilovoltios amperios	ppm	Partes por millón (mg/kg)
KvaR	Kilovoltios amperios reactivos	SBC	Secretaría del Convenio de Basilea (SBC por sus siglas en inglés)
kW	Kilovatio	TCDF	Tetraclorodibencenofurano
mg/kg	Miligramo/kilogramo	TTCB	Tri-tetracloro benceno
NFPA 704	Asociación Nacional de Protección de Incendio (NFPA por sus siglas en inglés) Norma 704	UNIDO	Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial
ng	Nano gramo (100 ng=1 µg)	UNITAR	Instituto de las Naciones Unidas para la Capacitación y la Investigación
OCDE	Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico		
OMS	Organización Mundial de la Salud		

Glosario

Askarel	Nombre comercial del líquido de enfriamiento PCB.	Fuente secundaria	Un producto que originalmente estaba libre de PCB, pero después fue contaminado con PCB emitidos de una fuente primaria (ejemplo, por emisión desde una fuente primaria o el uso de una bomba contaminada, mangueras, etc.).
Aprobado NU	Equipo que cumple las especificaciones de Naciones Unidas para procedimientos de prueba.	Persistente	Levemente degradable en el ambiente
Capacitor	Componente eléctrico pasivo de dos terminales que acumula energía en forma de campo eléctrico.	Recloser, interruptor o reconector	Todos son sinónimos para un cortador de circuito con un mecanismo que automáticamente cierra el circuito después de que ha sido abierto debido a una falla.
Congéneres	Compuestos de bifenilos policlorados posibles según posición y número de átomos de cloro unidos al bifenilo. Teóricamente existen 209 congéneres.	Regulador	Es un equipo utilizado para regular o mantener constante el nivel de voltaje.
Contenedor 20' y 40'	Una expresión internacional para indicar un contenedor de transporte o almacenamiento con un tamaño estándar de 2 x 2 x 6 metros.	Sistemas cerrados	Capacitores y transformadores, donde el PCB está en un contenedor cerrado; PCB rara vez salen de un sistema cerrado (en buenas condiciones).
Contenedor de caja	Existen varios tipos de contenedores de 20' y 40'. Contenedores disponibles, el más común es el contenedor tipo caja con una puerta delantera, desde un contenedor abierto en el techo que permite remover el mismo para carga y descarga (ej. Ideal para transformadores)	Transformador	Equipo usado para aumentar o reducir el voltaje
Fuente primaria	Un producto al que se le ha agregado PCB de manera voluntaria para influenciar las características del producto (ejemplo: líquido enfriador para transformadores tales como Askarel, Piraleno; Clopen).		

Introducción

Los contaminantes orgánicos persistentes (COP) son sustancias químicas que tienen propiedades tóxicas, son resistentes a la degradación, se bioacumulan y son transportados por el aire y el agua acumulándose en ecosistemas terrestres y acuáticos. A nivel mundial, estas sustancias se regulan a través del Convenio de Estocolmo sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes, en la lista de estas sustancias tóxicas se encuentran los bifenilos policlorados (PCB por sus siglas en inglés).

Los transformadores y capacitores, entre otros equipos, que contienen aceite dieléctrico utilizaron aceites PCB, por sus excelentes cualidades dieléctricas y de baja inflamabilidad, hasta inicios de los años 80. Fue en este momento cuando a nivel mundial se descubre que aunque era un excelente aceite dieléctrico tenía propiedades que producían efectos adversos a la salud humana y el ambiente, tales como carcinogenicidad, alteración genética, cambios en el sistema inmunológico, así como la pérdida de diversidad biológica.

Los PCB fueron producidos por varias compañías en todos los países industrializados. Su uso más común fue como agentes de enfriamiento y de aislamiento en transformadores y capacitores. A partir del año 1983, aproximadamente, el uso de PCB en aceites dieléctricos fue prohibido a nivel mundial. Actualmente, aún existen equipos de generación y distribución eléctrica que fueron fabrica-

dos antes de la prohibición del uso de PCB y por ende están contaminados. Otros equipos fueron contaminados con PCB en operaciones de mantenimiento.

En Costa Rica, el Proyecto Manejo Integral de PCB es ejecutado por el MINAE, con el apoyo financiero del Fondo para el Medio Ambiente Mundial (GEF, por sus siglas en inglés) y el PNUD como agencia implementadora.

Esta Guía Técnica pretende brindar lineamientos sobre mejores prácticas de la gestión de PCB en aspectos como: levantamiento de inventario, mantenimiento, almacenamiento temporal, tratamiento y disposición final, así como aspectos de seguridad ocupacional y atención de emergencias.

La presente guía está dirigida a todas las personas que realicen alguna actividad dentro del ciclo de vida de los equipos con aceite dieléctrico, en particular los transformadores y capacitores, que estén contaminados o que están potencialmente contaminados con PCB con el fin de minimizar los impactos a la salud y el ambiente de estas sustancias. Esta guía no contempla la gestión de PCB en aplicaciones abiertas ni la gestión de suelos, aguas, alimentos u otras matrices impactadas con PCB.



1

Generalidades



1.1 ¿Qué son los PCB?

Los PCB son un grupo de hidrocarburos aromáticos clorados que se caracterizan por la estructura de bifenilo (dos anillos de fenilo (C₆H₅)₂) y al menos un átomo de cloro sustituido por hidrógeno. Los átomos de cloro pueden estar unidos en cualquiera de los diez sitios disponibles, por lo que existen 209 congéneres de bifenilos clorados.

Los PCB tienen diferentes características físico químicas y tóxicas dependiendo del número de átomos de cloro y la posición que tengan en la molécula. Estos son estables a altas temperaturas y solamente pueden ser incinerados bajo condiciones extremas y cuidadosamente controladas. Los lineamientos técnicos actuales

requieren que los PCB sean incinerados a una temperatura de 1200 °C durante al menos dos segundos. Los PCB son poco solubles en agua y tienen una baja volatilidad y estabilidad en ácidos y alcalinos, oxidación y otras reacciones químicas. Ellos son semidegradables; su tiempo de vida media depende del nivel de cloración y oscila entre 10 y 15 años. Son altamente solubles en lípidos, hidrocarburos y compuestos orgánicos.

Algunas de las características favorables por las cuales se utilizó el PCB en los aceites dieléctricos se ilustran en la siguiente tabla.

Tabla 1. Características de los PCB

Estabilidad a altas temperaturas	Poco soluble en agua, pero muy soluble en grasa
Poco inflamable (combustión completa solo a > 1000 °C)	Buena conductividad de calor
Resistencia relativamente buena pH ácido y alcalino. Resistencia química	Baja presión de vapor
Estable después de oxidación e hidrolisis	Muy pequeña conductividad eléctrica (buen aislante)

La siguiente tabla indica las compañías que fabricaron transformadores con PCB y sirve como un elemento para identificar transformadores que podrían estar contaminados con PCB.

Tabla 2. Compañías que fabricaron transformadores con PCB

País	Fábrica
USA	Westinghouse, General Electric Company, Research-Cottrell, Niagara Transformer Corp, Standard Transformer Co, Helena Corporation, Hevi-Duty Electric, Kuhlman Electric Co., Electro Engineering Works, R. E. Uptegraff Mfg. Co., H.K. Porter, Van Tran Electric Co., Esco Manufacturing Co., McGraw Edison, Wagner
Alemania	AEG Transformadores tipo iniciados con la letra "C" seguido de 3 a 4 dígitos Trafo Unión (TU) Transformadores tipo iniciados con la letra "TC" seguido de 4 dígitos
Inglaterra	Brush Yorkshire Foster
Suiza	DES ATELIERS BBC
Japón	Toshiba Mitsubishi
Brasil	Siemens Trafo
Bélgica	Pauwels
Mexico	CIA MFRA
Francia	Savoisienne
Italia	Di Legnano
Peru (Verman EIRL, 2005)	ABB, Delcrosa, BBC, Fametal, Energotecnia, AVJ, Audaz, Electroservice, High Power, Elecín, Heléeles, Reselec, OLC, Menautt, Lasser, H&P, Industrial, Elise, Electric Power, EPLI, Electro Vara Fasetron, Niusa, Hohagen, Lider.

Fuente: CRBAS, PNUMA, FMAM, Proyecto "Mejores Prácticas para el Manejo de PCB en el Sector Minero Sudamericano", Marzo 2013.

Los capacitores también fueron fabricados con aceites dieléctricos PCB y la siguiente tabla ilustra las empresas que lo utilizaban.

Tabla 3. Lista de empresas que fabricaron capacitores que utilizaron PCB

A.H. Hunt Ltd.	Danco	ITT	Novea	Soltra
ACEC	Dawco	Jard Corp.	NTK	SPA "Condensator"
AEE	Dawson	Johnson & Philips Ltd.	OMD	Sprague
AEG	DICC	KCC	Phillips	Stabilac Pty Ltda.
AEI Aerovox	Dubilier	Liljeholmen	Plessey	Static
Alpha	Ducati	LMT	Plessey Capacitors	STC
AME	Ducon	McGraw-Edison	Plessey UK	Stedepower
AME Dublier	Duconol	Mallory & Co.	Pye	SUDD
AME Hunts	Elna	Marcon	RDE	TCC
Andrew Icar	Endurance	Mazdalux	RF Interonics	TEAPOL
ASEA	Electricity Utility Co.	ME	RIC	The Capacitron Co.
Associated Light'g	Ericsson/Rifa	Mepco/Electra	RIC Capacitors Ltda.	The Telegraphic Condensor Co.
ATE Co.	ERO	Metalect	RIFA	Tobe Deutschmann Labs
ATE	ESHA	MF	Roederstein	THORN
AWA	FAC	MF Phillips	RS	TMC
Axel Electronic Ing.	Ferguson	Micro (Altelko)	Samhwa Capacitor Co.	TOC
BAL Co.	Firbourg	MKL	Sangamo Electric Co.	UCC
BHC	Fluoroseal	MKP	SCC	USHA
BICC	Frako	Motor Start	SEI	Universal Manufacturing Corp.
BICC-NEECO	Fuji Ken	Motorola	Seika Electrics Co. Ltda.	Watson
Bosch	General Electric	MP	Seiray	Wego
BTH	GEC	MPW	Selenium	Wego Condensor Co.
Capacitor Specialists	Glassmike	MSP	SH	Western Electric
CDG	Hydrowerk	National Industry	Shizuki	Westinghouse
CCP	ICAR	NATRON IC	SIC-SAFCO	Yesha
Cine-Chrome Lab Inc.	INCO	NICHICON	Sieverts	Yesha Electricals
CTS	INTERCAP	NICHICON Capacitor Co.	Siemens	York Electronics
Cornell Dubilier	IRH	Nippon	Simplex	Yunchang
Daly	ITAL FARAD	Nokia	Slimcap	

Fuente: Agencia de Protección Ambiental de Irlanda. www.epa.ie/irelandsenvironment/

La mayor cantidad de PCB fue producida en los Estados Unidos, Alemania, Rusia, Francia, Eslovaquia, Japón, Reino Unido, España, Italia y Polonia. Se estima que entre los años 1929 y 1989 la producción mundial total de PCB fue aproximadamente 1.5 millón de toneladas.

La siguiente tabla indica los nombres comerciales para las diferentes aplicaciones de PCB.

Tabla 4. Nombres comerciales de PCB que se han utilizado en transformadores y capacitores

Abestol (t, c)	DI(a)conal	Phenoclar DP6 (Germany)
Abuntol (USA)	DP 3, 4, 5, 6.5	Phenoclor (t, c) (France)
Aceclor (t) (France, Belgium)	Ducanol	Phenoclor DP6 (France)
Acooclor (Belgium)	Duconal (Great Britain)	Phyralene (France)
Askarel	Duconol (c)	Physalen
ALC	Dykanol (t, c) (USA)	Plastivar (Great Britain)
Apirolia (t, c)	Dyknol (USA)	Polychlorinated biphenyl
Apirolio (t, c)	E(d)ucaral (USA)	Polychlorobiphenyl
Areclor (t)	EEC-18	Pryoclar (Great Britain)
Arochlor (t, c)	EEC-IS (USA)	Pydraul (USA)
Aroclor (t, c) (USA)	Elaol (Germany)	Pydraul 1 (USA)
Aroclor 1016 (t, c)	Electrophenyl (France)	Pydraul 11Y (USA)
Aroclor 1221 (t, c)	Electrophenyl T-60	Pyralene (t, c) (France)
Aroclor 1232 (t, c)	Elemex (t, c) (USA)	Pyralene 1460, 1500, 1501 (F)
Aroclor 1242 (t, c)	Elexem (USA)	Pyralene 3010, 3011 (France)
Aroclor 1254 (t, c)	Eucarel (USA)	Pyralene T1, T2, T3 (France)
Aroclor 1260 (t, c)	Fenchlor 42, 54, 70 (t, c) (Italy)	Pyramol (USA)
Aroclor 1262 (t, c)	Hexol (Russian federation)	Pyranol (t, c) (USA)
Aroclor 1268 (t, c)	Hivar (c)	Pyrochlor
Arubren	Hydol (t, c)	Pyroclar (Great Britain)
Asbestol (t, c)	Hydrol	Pyroclor (t) (USA)
ASK	Hyvol	Pyromal (USA)
Askarel (t, c) (USA)	Hywol (Italy/USA)	Pyronal (Great Britain)
Auxol (USA)	Inclar (Italy)	Pysanol
Bakola	Inclor (Italy)	Saf(e)-T-Kuhl (t, c) (USA)
Bakola 131 (t, c)	Inerteen 300, 400, 600 (t, c)	Safe T America
Bakolo (6) (USA)	Kanechlor (KC) (t, c) (Japan)	Saft-Kuhl
Biclor (c)	Kanechor	Sanlogol
Chlorextol (t)	Kaneclor (t,c)	Sant(h)osafe (Japan)
Chlorinated Diphenyl	Kaneclor 400	Sant(h)othera (Japan)
Chlorinol (USA)	Kaneclor 500	Sant(h)othern FR (Japan)
Chlorintol (USA)	Keneclor	Santosol

continua...

Chlorobiphenyl	Kennechlor	Santoterm
Chloroecxtol (USA)	Leromoli	Santotherm (Nippon)
Chorexto	Leromoll	Santotherm FR
Clophen (t, c) (Germany)	Leronoll	Santovac
Clophen Apirorio	Magvar	Santovac 1
Clophen-A30	Man(e)c(h)lor (KC) 200,600	Santovac 2
Clophen-A50	Manechlor (Nippon)	Santovec (USA)
Clophen-A60	MCS 1489	Santowax
Cloresil	Montar (USA)	Santvacki (USA)
Clorinol	Nepolin (USA)	Saut(h)otherm (Japan)
Clorphen (t)	Niren	Siclonyl (c)
DBBT	No-Famol	Terpenylchlore (France)
Delorene	NoFlamol	Therainol FR (HT) (USA)
Delor (Czech Republic)	No-Flamol (t, c) (USA)	Therminol (USA)
DI 3,4,5,6,5	No-flanol (t,c) (USA)	Therminol FR
Diachlor (t,c)	Nonflammable liquid	Therpanylchlore (France)
Diaclor (t, c)	Non-flammable liquid	Ugilec 141, 121, 21
Diaconal	Orophen (Former East Germany)	
Dialor (c)	PCB	
Diconal	Pheneclor	
Disconon (c)	Phenochlor	
Dk (t, c) (decachlorodiphenyl)	Phenochlor DP6	

<http://www.epa.gov/epawaste/hazard/tsd/pcbs/pubs/aroclor.htm>

1.2 ¿Dónde se encuentran los PCB?

Los PCB se utilizaban en el aceite dieléctrico y también en mezclas con otras sustancias para ser utilizadas en dos tipos de aplicaciones: sistemas cerrados y sistemas abiertos.

La utilización del PCB en sistemas cerrados es principalmente como aislante y/o líquido enfriador en transformadores, capacitores, reclosers (conocidos también como interruptores y reconectores) y reguladores de voltaje. También se utilizaba como fluido hidráulico en equipo de montacargas, camiones y bombas de alta presión. A continuación, en las Fotos 1 y 2, se ilustra lo que se considera un sistema cerrado de aplicación de PCB y lo que es más común en Costa Rica.



Foto 1. Sistema cerrado-transformador.



Foto 2. Sistema cerrado-banco de capacitores.



2

Inventario



2.1 El inventario

El inventario es la etapa inicial de la gestión de equipos y aceites contaminados con PCB y deberá realizarse de la manera más eficiente y ambientalmente adecuada. El objetivo del inventario es identificar, cuantificar y mantener un registro de los equipos y los materiales que potencialmente podrían estar contaminados con PCB para su tratamiento o disposición final.

Los transformadores, capacitores y otros equipos que utilizan aceites dieléctricos y que podrían estar contaminados con PCB se encuentran en varios sectores productivos del país, no solamente el sector eléctrico. La Tabla 5 ilustra algunas actividades que podrían tener transformadores o capacitores que serían necesarias inspeccionar para verificar la existencia de PCB.

Tabla 5. Actividades productivas que utilizan equipo eléctrico

Empresas generadoras y distribuidoras eléctricas
Instalaciones industriales
Sistemas de ferrocarril
Edificios residenciales o comerciales
Resort/hoteles
Escuelas
Instalaciones de almacenamiento en frío
Empresas de disposición de desechos o reciclaje
Compañías de mantenimiento
Hospitales
Laboratorios de investigación
Plantas de manufactura
Instalaciones de Gestión de Aguas Residuales
Empresas pequeñas o medianas
Aeropuertos

El inventario se debe realizar en todas las empresas del sector eléctrico que generen o distribuyan electricidad, así como las empresas e instalaciones públicas y privadas que tienen transformadores o capacitores propios.

En los sitios donde posiblemente se encuentre equipo y aceites contaminados con PCB, se realizará una inspección con personal del equipo de trabajo de las empresas. Durante la inspección, se recomienda cuando sea posible recolectar por medio de un handheld (dispositivo móvil para recolección de información) que se comunica por internet con la Base de Datos de COP que se encuentra en DIGECA-MINAE.



Foto 3. Uso de *handheld* para levantamiento de información

2.2 Base de Datos

La Base de Datos de COP es el sitio donde se guardará toda la información relevante al inventario nacional de PCB. Este registro de información permitirá hacer categorías y visualizar lo que se tiene de inventario y localizar la ubicación de transformadores con PCB en un mapa del país. También la base de datos es una herramienta para la toma de decisiones respecto a la eliminación de equipo y aceites contaminados con PCB y/o en caso de un incidente de peligro.

La siguiente información es lo que se debe levantar durante el proceso de inventario:

Ubicación

- Sitio (plantel dentro de la empresa registrada como usuario adonde se encuentra el equipo)
- Coordenadas (geo-referencia con GPS)
- Localización (referencia de la empresa sobre el poste en que se encuentra el equipo)

Características

- Tipo de equipo
- Fabricante
- Año de fabricación
- Embalaje
- Número de identificación (serie o activo)
- Nombre del aceite
- Estado operativo (fugas, en uso)
- Si conserva o no el sello original

Potencia y peso

- Potencia (KVA)
- Peso total (kg)
- Peso equipo (kg)
- Peso aceite (kg)

Análisis

- Análisis realizado (sí o no)
- Método de análisis (colorimétrico, electroquímico o cromatográfico)
- Fecha de análisis
- Concentración (mg/kg)
- Certificado de origen

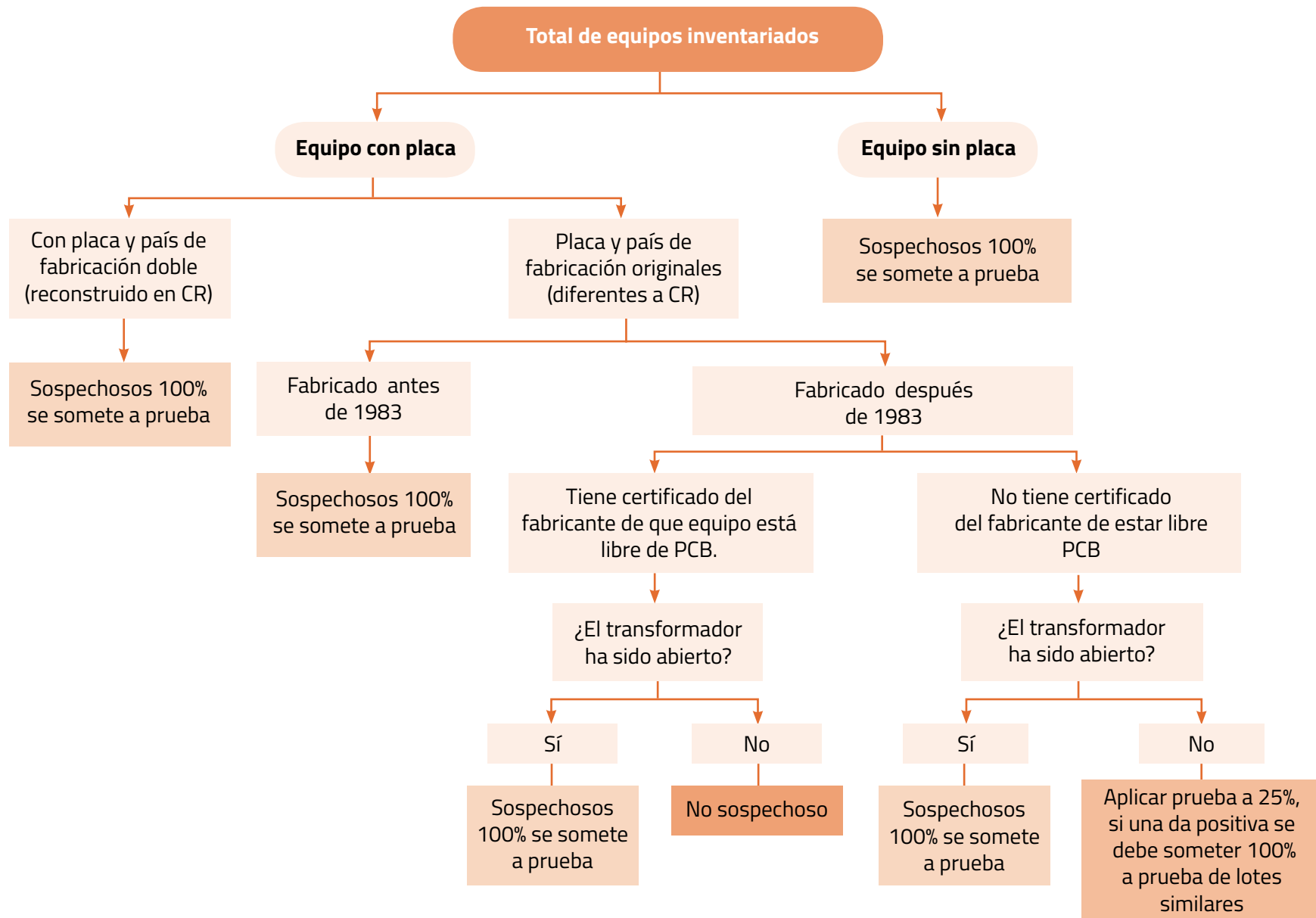
Disposición

- Tipo de tratamiento
- Fecha de tratamiento
- Empresa responsable
- Certificado de destrucción
- Notificación de movimiento transfronterizo del Convenio de Basilea

2.3 Inspecciones visuales para determinar el contenido de PCB para Transformadores y Capacitores

El punto de partida del inventario es primeramente hacer una inspección visual de los equipos. En esta sección se ha hecho una división entre los transformadores y los capacitores porque cada uno tiene características propias. Antes de hacer la inspección visual, es recomendable revisar y analizar el flujograma No. 1 Proceso de toma de decisiones para el inventario.

En este flujograma, se indica el proceso a seguir durante la inspección visual paso a paso y las decisiones que se deben tomar para continuar con el inventario según los resultados observados.



Flujograma 1. Proceso de toma de decisiones para el inventario.

2.4 Transformadores

La vida útil normal de un transformador con PCB puede ser de 40 años o más, condiciones tales como sobrecarga, temperatura de operación alta y abuso físico pueden reducir la vida útil, resultando en potenciales peligros operacionales y ambientales. Un mantenimiento preventivo puede reducir estos riesgos de manera importante.

Un problema en la identificación de transformadores contaminados con PCB es la gran cantidad de diferentes tipos de transformadores que se han diseñado y vendido y que se están utilizando en todo el mundo. Desafortunadamente, no existe un método absoluto que permita externamente identificar un transformador contaminado con PCB.

La experiencia ha demostrado que numerosos transformadores que fueron vendidos libres de PCB realmente contenían PCB. En los años 70, los fabricantes de transformadores y los proveedores de aceites a menudo no tenían información sobre los riesgos potenciales de la contaminación cruzada de PCB que se generan al utilizar las mismas cisternas, contenedores de transporte, sistemas de tubería y accesorios para aceite mineral y PCB. Es por esta razón que muchos transformadores nuevos fueron contaminados equivocadamente. También algunos transformadores se contaminaron durante las operaciones de relleno de aceite o trabajos de mantenimiento.

Todos los transformadores que no tienen placa o que tengan una placa y hayan sido abiertos deben ser analizados por medio del muestreo de su aceite para su posterior análisis cuantitativo, semicuantitativo o por cromatografía de gases, aunque su fecha de producción sea más reciente, porque una contaminación inesperada podría haber ocurrido.

En el caso que, por razones técnicas, no se pueda tomar una muestra para determinar la contaminación con PCB de un transformador, se debe tratar el equipo como si estuviera contaminado hasta tanto no se pruebe lo contrario.

A continuación, se ilustran las diferentes partes de un transformador de generación o potencia y uno de distribución para fácil referencia durante la inspección visual.

Partes que componen el transformador con aceite y con un depósito de expansión



1. Indicador de nivel
2. Depósito de expansión
3. Pasa-tapas de entrada
4. Pasa-tapas de salida
5. Mando conmutador
6. Grifo de llenado
7. Radiadores de refrigeración
8. Placa de características

Diagrama 1. Las partes de un transformador de generación o potencia.

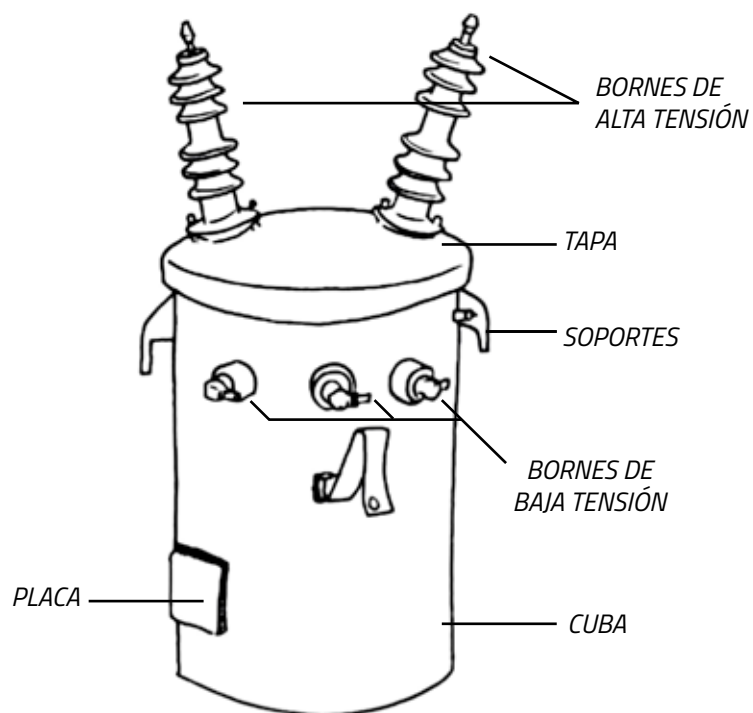


Diagrama 2. Transformador de distribución.

Fuente: Manual de Mejores Prácticas Ambientales para la Gestión Ambientalmente Racional de los Equipos Eléctricos con PCB, Proyecto 00075733, "Fortalecimiento de las Capacidades Nacionales para la Gestión y Reducción de las Liberaciones de COPs en Honduras"; GEF, SERNA, CESSCO, PNUD- Honduras.

El fabricante de transformadores le coloca una placa de identificación en donde se encuentra información sobre la fecha de fabricación, el nombre del fabricante, tipo de aceite que contiene. A veces, se encuentra el peso del aceite, el peso total del transformador con aceite. Con el uso y el paso de los años, estas placas en ocasiones se caen o las quitan cuando le hacen mantenimiento al equipo. Es por esta razón que un transformador pueda que tenga o no una placa con la información del equipo. Es importante aclarar que si un transformador tiene una placa, pero presenta señales de que ha sido abierto (para agregar, cambiar o alterar su contenido de aceite o mantenimiento interno), la información que contiene la placa no tiene ya validez en cuanto al tipo de aceite que puede contener.



Foto 4. Ejemplo de placa que se encuentra en los transformadores.

2.5 Capacitores

El capacitor es un componente eléctrico pasivo que provee un campo eléctrico y se caracteriza por su capacitancia expresada en farad o faradio. Consiste de un par de conductores separados por un aceite dieléctrico (aislante).

Existen diferentes formas y diseños de capacitores que utilizan diversos medios aislantes. Todos son elementos herméticamente sellados. Es por esto que aquellos que utilizan PCB como aislante no representan un riesgo para la salud de quien los manipula en tanto no estén dañados ni tengan pérdidas del fluido aislante.

Para los fines de esta guía los capacitores se dividirán en: capacitores pequeños y capacitores de potencia. Los capacitores pequeños incluyen los arrancadores de motores y los balastos. Los capacitores balastos se encuentran en los accesorios de iluminación fluorescentes, de mercurio, sodio y en luces de neón.

Los capacitores de potencia se utilizan en la industria eléctrica para manejar las redes más eficientemente. Grandes industrias utilizan motores de gran tamaño, que consumen energía activa (KW), pero también energía reactiva (kVar). Los capacitores se utilizan para compensar y liberar la red de la energía reactiva no deseada.

Los capacitores que no tienen placa y no se cuenta con información sobre su líquido dieléctrico o bien fueron manufacturados antes de 1980-1985 deberán ser analizados una vez que termina su vida útil. Como los capacitores se construyen herméticamente en contenedores cerrados y no existe un acceso directo al líquido enfriador, no es posible tomar muestras para realizar el análisis sin destruir la carcasa del equipo. En la foto 5, se ilustran algunos tipos de capacitores que se utilizan en el sector eléctrico.



Foto 5. Ejemplos de capacitores

2.6 Muestreo de transformadores y capacitores¹

Una vez identificados los equipos que podrían estar potencialmente contaminados con PCB, se procede a tomar muestras de aceite para el análisis, cuantitativo, cualitativo o semicuantitativo, que se decida utilizar para verificar la presencia o no de PCB en el aceite.

2.6.1 Preparación para la toma de muestras

Al iniciar el proceso de toma de muestras, es importante tomar en consideración algunos elementos para garantizar la eficacia del resultado y la seguridad del operario tomando la muestra.

¹ Se tomó como información de referencia para esta sección el documento Project implementation of phase 1 of a comprehensive Poly Chlorinated Biphenyls (PCB) management system in the Hashemite Kingdom of Jordan, Ministry of Environment, Directorate of Hazardous Materials and Waste, GEF, PNUD, Jordan.

Equipo de protección personal (EPP)

El EPP para la toma de muestras consiste de guantes de neopreno, lentes protectores, y delantal de seguridad. No es necesario equipo de protección respiratorio cuando se están tomando las muestras. Si se toman varias muestras durante un intervalo largo una protección respiratoria para vapores orgánicos es recomendada. La tabla 6 ilustra el equipo de protección personal que se recomienda usar.

- **Botas de seguridad:** Se recomienda el uso de bota de PVC con puntera de acero si existe una posibilidad de exposición directa a aceite o material contaminado. Para riesgo de exposición menor, tal como para la toma de muestras cuando no se sabe si el equipo tiene o no PCB se utiliza el zapato de seguridad con puntera de acero.
- **Guantes de nitrilo:** En el mercado existen guantes de nitrilo de diferentes espesores. Cuando el riesgo de exposición es bajo se puede utilizar guantes de nitrilo del tipo descartable, ejemplo para la toma de muestras de aceite de transformadores. Cuando el riesgo de exposición es alta se pueden utilizar guantes de nitrilo largos que ofrecen una mayor protección y resistencia.
- **Respirador:** Se pueden utilizar dos tipos. Los respiradores descartables con filtros para partículas tóxicas y aceitosas se pueden usar para riesgo de exposición baja. El otro tipo es el respirador de cara completa con doble filtro, el cual se utilizar para alto riesgo de exposición.
- **Traje de protección:** Existen dos tipos de trajes que se pueden utilizar de acuerdo a las labores que se vayan a realizar. Cuando existe riesgo de exposición directa de baja a moderada, ejemplo cuando se realizan labores que físicamente no requieren esfuerzo por parte de la personas como muestreos en áreas confinadas se utiliza el traje tipo TYVEK color amarillo. Cuando

existe riesgo de exposición directa alta, ejemplo cuando se realicen labores que requieren esfuerzo físico como trasvases de líquidos, trabajos con transformadores o con manipulación de materiales contaminados, se utilizan trajes tipo TYCHEM azul o amarillo que es de un material resistente a los químicos llamado SARANEX.

- **Anteojos de seguridad:** Para la protección ocular, independiente de la labor que se esté realizando se deben utilizar anteojos de seguridad. Cuando se utiliza equipo de protección personal para casos de alto riesgo de exposición, al utilizar el respirador de cara completa se elimina el uso de los anteojos; sin embargo cuando se utilizan respiradores descartables o respiradores de media cara normalmente en un actividad de campo se usan las gafas de protección.

Tabla 6. Equipo de protección personal para la toma de muestras.

<p>Botas de seguridad</p> 	<p>Casco</p> 	<p>Trajes de seguridad</p> 
<p>Guantes de nitrilo</p> 	<p>Anteojos de seguridad</p> 	<p>Respirador de dos filtros</p> 

Medidas para evitar la contaminación cruzada

Al tomar las muestras si no se guardan los cuidados es fácil que se pase la contaminación de una muestra a otra. Cuando se utiliza material desechable, por ejemplo, pañuelos desechables, pipetas, se debe garantizar que se utilice un nuevo producto para cada muestra. En el caso de que el equipo no sea desechable, este debe ser limpiado antes de que se tome una nueva muestra. Se debe utilizar un solvente (ej. Acetona grado técnico) para este propósito, luego de usarse debe ser dispuesta con el material contaminado con PCB.

Envases para el muestreo

Para realizar el muestreo se utilizan comúnmente envases de vidrio o plástico para los líquidos y de plástico para las muestras de sólidos. Se recomienda utilizar envases de vidrio, sin embargo se pueden utilizar de plástico de polietileno de alta densidad. En muestras de suelo se usan los de vidrio. No se deben usar plásticos que contengan ésteres de ftalatos, como los de PVC ya que estos compuestos son muy solubles en el aceite y pueden provocar interferencias en los análisis de cromatografía. Los envases deben estar totalmente limpios y secos, tales como los ilustrados a continuación.

Foto 6. Ejemplos de envases para el muestreo.



60 ml vidrio



250 ml
PE-Alta densidad



750 ml
PE-Alta densidad

Identificación de la muestra

Una vez tomada la muestra y con el fin de evitar una confusión de muestras, es importante identificar los envases de las muestras de manera inmediata a la toma se sugiere la etiqueta del código de barra, tal como lo ilustra la Foto a continuación. Si por alguna razón no se tiene una etiqueta con código de barras se debe marcar con un marcador permanente el número de serie o de activo del equipo al cual se le tomó la muestra.



Foto 7. Identificación de la muestra



Foto 8. Etiqueta con código de barras

Tamaño de la muestra

Se aconseja tomar siempre más cantidad de muestra por cualquier necesidad posterior. En la Tabla 7 se definen las cantidades. Según el método específico o no específico que se utilice (ver sección 2.7) y la matriz que se busca analizar se define una cantidad mínima de aceite o suelo.

Tabla 7. Cantidades mínimas para tomar muestras y los envases para las muestras

Método	Matriz	Cantidad	Envase
Clor-N-Oil	Aceite	10 ml	20 ml vidrio/plástico
Clor-N-Suelo	Sólidos (suelo, polvo de concreto, etc.)	10 g	60 ml vidrio /plástico 250 ml PE-AD
L2000DX	Aceite	10 ml	20 ml vidrio/plástico 30 ml vidrio café
L2000DX	Sólidos (suelo, polvo de concreto, etc.)	Mínimo 10 g si no más.	60 ml vidrio/plástico 30 ml vidrio café
CG (laboratorio)	Aceite	20 ml	20 ml a ½ litro vidrio/plástico
CG (laboratorio)	Sólidos (suelo, polvo de concreto, etc.)	10 g	60 ml vidrio 250 ml PE-AD

2.6.2. Procedimiento para el muestreo de capacitores

Los capacitores de potencia se construyen en recipientes herméticamente cerrados y no tienen acceso directo al aceite dieléctrico. Si no hay una placa disponible en el equipo y no se cuenta con información del fabricante la única manera de probar el aceite dieléctrico es haciendo un hueco con un taladro en la carcasa del equipo. El hueco se hace en la parte de arriba cortando el aislante y tomando una muestra de aceite. La muestra se toma con una pipeta, que se utiliza una sola vez. Una vez abierto el capacitor, el equipo se daña y no se puede usar de nuevo. Se hace necesario un almacenamiento en un recipiente adecuado según lo especificado en el capítulo 8 Empaque. Por esta razón se sugiere muestrear únicamente capacitores que con seguridad no van a ser reutilizados.

Cuando existe un lote de capacitores con las mismas características (año de fabricación, fabricante y país de origen), se pueden muestrear dos equipos para tomar una decisión sobre el lote completo. Por lo tanto, solamente a capacitores que estén fuera de uso se les aplica este proceso de toma de muestra. Capacitores todavía en uso y manufacturados antes de 1980-1985 y que contienen líquido dieléctrico deben ser etiquetados como sospechosos de estar contaminados con PCB.

Todas las herramientas y materiales que entraron en contacto con los capacitores durante este proceso, deben ser limpiados con un solvente (ej. Acetona grado técnico) si son herramientas y los materiales dispuestos como un desecho peligroso.

2.6.3. Procedimiento para el muestreo de transformadores

Los transformadores pueden ser de generación/potencia o de distribución. Dependiendo del tipo que sea, algunos se pueden muestrear mientras están en uso y otros no. Los transformadores de generación/potencia normalmente tienen una válvula o tornillo de rosca en la parte inferior, y se puede abrir para tomar la muestra desde allí mientras están en uso. Los transformadores de distribución no se pueden muestrear cuando están en uso porque no tienen una válvula y más bien se tiene que abrir el tarro o manipular la válvula de escape en la parte de arriba. A continuación, se presentan los procedimientos para tomar una muestra de un transformador de generación/potencia y uno de distribución.

Procedimiento para la toma de muestra de un transformador de generación/potencia

Los siguientes pasos se deben seguir para muestrear un transformador de generación/potencia:

1. Recuerde utilizar el equipo de protección personal previamente indicado en la Tabla 6.
2. Colocar una bandeja por debajo de la llave de drenaje para contener posible goteo.
3. Si el transformador ha sido desconectado de la corriente por más de 72 horas la muestra generalmente se puede tomar de la parte inferior del transformador, ya que por su alta densidad el PCB se va hacia el nivel inferior.
4. Puede ser que la tapa de drenaje tenga una junta que en ocasiones se daña al momento de tomar la muestra, es aconsejable tener siempre un junta de repuesto disponible.
5. Drene la cantidad de aceite requerido en el envase de la muestra. La cantidad depende del análisis que se espera realizar (ver Tabla 7).
6. Cierre bien el sello del envase de la muestra.

7. Coloque una etiqueta de código de barra en el envase de la muestra y en el equipo del cual fue tomada dicha muestra en caso de que no cuente con número de identificación (número de serie o número de activo).

Alternativamente, los transformadores se pueden muestrear también por medio de la tapa de llenado de aceite, usando una bomba de mano desechable o jeringas desechables (tomar en consideración que una bomba nueva se necesitaría para cada transformador). Muestras de aceite de la expansión del receptáculo no siempre se consideran representativas, porque el aceite no circula y no está realmente mezclado.



Foto 9. Ilustración de válvulas que se utilizan para tomar muestras en transformadores grandes.



Foto 10. Proceso de toma de muestra de aceite.

Procedimiento para la toma de muestra de un transformador de distribución²

Los transformadores de distribución no cuentan con una válvula para poder tomar la muestra, estos transformadores deben de estar desenergizados para poder tomar la muestra.

Los siguientes pasos se deben seguir para un transformador de distribución: (14)

1. Recuerde utilizar el equipo de protección personal indicado en la Tabla 6.
2. Se debe verificar que el equipo no está conectado a energía.
3. Se debe liberar la presión interna del transformador, ya sea por medio de la válvula de alivio o el tornillo ubicado en el cilindro.
4. Preparar el dispositivo según la Foto 11 y que consta de una jeringa de 50 ml acoplada una llave de tres vías y una manguera de 40 cm o a una longitud adecuada al tamaño del equipo. Todos estos materiales son desechables.



Foto 11. Jeringa de 50 ml acoplada a una llave tres vías y una manguera de 40 cm.

² Guía de muestreo y análisis de PCB con el Analizador L 2000 DX, Proyecto "Mejores Prácticas para el Manejo de PCB en el Sector Minero Sudamericano", Centro Regional Basilea para América del Sur, PNUMA; FMAM, marzo 2013.

5. Si al transformador se le puede sacar la muestra por la válvula de sobrepresión, es necesario retirarla y limpiar el orificio por donde se va a sacar la muestra, esto se hace con papel absorbente.
6. Introducir la manguera por el orificio por donde es posible sacar la muestra, sea por la válvula de sobrepresión o una vez retirada la tapa principal, por encima del transformador.
7. Colocar la llave en la posición según se muestra en la Foto 14, y tirar del émbolo de la jeringa hasta obtener 20 ml de aceite. Cerrar la llave. Este aceite se usará para purgar la jeringa, paso 8.



Foto 12. Llave de tres vía de la jeringa.

8. Purga la jeringa, una vez que se obtengan los 20 ml de aceite, poner la jeringa en forma vertical con la válvula de tres vías hacia arriba, abrir nuevamente la llave como se muestra en la Foto 14 y llevar el embolo hasta los 50 ml de la jeringa, posterior a esto agitar varias veces con el fin de enjuagarla. Evacuar estos residuos de aceite en el recipiente para residuos líquidos contaminados con PCB.



Foto 13. Purga de muestra con la jeringa.

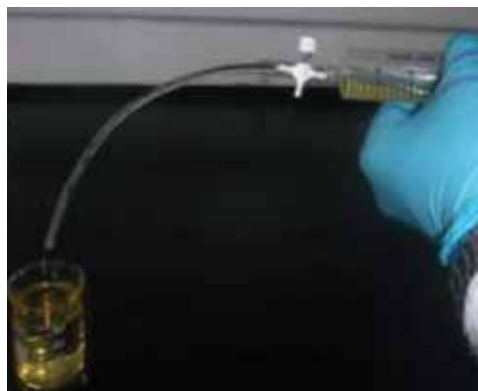


Foto 14. Operación de extracción de muestra con la jeringa.



Foto 15. Jeringa con la muestra extraída.



Foto 16. Traspaso de la muestra en el frasco.

9. Toma de la muestra: posterior a la purga, cerrar la válvula de tres vías nuevamente e introducir la manguera por el orificio por donde se tiene pensado la toma de muestra.
10. Abrir la válvula de tres vías como se muestra en la Foto 16 y llenar la jeringa con 40 ml de aceite.
11. Cerrar la válvula de tres vías y retirar la manguera del transformador.



Foto 17. Llenado de la jeringa con 50 ml de aceite

12. Almacenar la jeringa en una bolsa plástica negra, la cual será utilizada exclusivamente para esa jeringa.
13. Tapar el orificio que se utilizó para la toma de la muestra.
14. Con la llave de tres vías abiertas, depositar unos 10 ml de aceite en el recipiente de residuos líquidos. Cerrar la llave.
15. Ubicar la jeringa muy cerca del frasco de muestra y abrir la llave de tres vías e introducir 10 ml de aceite en el frasco de la muestra. Cerrar nuevamente la llave.
16. Tapar el frasco y realizar el enjuague de este.
17. Asegurarse de la hermeticidad del frasco con la muestra.
18. Desechar el residuo del enjuague en el recipiente para residuos líquidos.
19. Abrir nuevamente la llave de tres vías e introducir el aceite restante en el frasco. Dejando un pequeño espacio para evitar la sobrepresión por cambios de temperatura. Cerrar la llave de tres vías y tapar el frasco.
20. Rotulación de la muestra: Colocar la etiqueta de código de barras al frasco de la muestra.
21. Desechar todos los implementos antes mencionados, en la bolsa de residuos peligrosos ya que todo el material utilizado

es desechable y no se reutiliza bajo ningún concepto. El material que entra en contacto con el aceite se considera que está contaminado con PCB y estos residuos deben ser llevado a una adecuada disposición final.

Una alternativa para la toma de muestras se presenta en la siguiente ilustración: se utilizan dos mangueras, la cuales se insertan en la tapa del recipiente de la muestra, con la jeringa se succiona el aceite de modo que el aceite se vierte en el recipiente sin contaminar la jeringa.



Foto 18. Adaptación de recipiente para toma de muestra.

Embalaje conservación y transporte de muestras

Las muestras deben llegar al laboratorio conservando sus etiquetas, bien embaladas y sin daños físicos. Acompañando a las muestras se deberá enviar la información y código de muestras que deberán ser utilizadas por los laboratorios para el reporte de muestras. En el documento, se debe incluir específicamente la siguiente leyenda: "esta organización es responsable de la calidad de la muestra en-

viada y acepta que la(s) muestra (s) cumple con los requerimientos estipulados para el Laboratorio".

Las muestras se deben conservar y mantener bajo las siguientes condiciones:

- Evitar la disposición directa del sol con el frasco conteniendo la muestra.
- Evitar el contacto directo de la piel con la muestra.
- No tratar de sellar el frasco de la muestra con cinta adhesiva ya que el aceite desprende la goma y esta puede ocasionar la contaminación de la muestra.
- Ningún material es cien por ciento impermeable a los PCB. Por eso es preciso prever la sustitución periódica de todo el EPP.
- Las muestras deben ser tomadas por personal capacitado.
- Tener en cuenta que: los PCB se adhieren a cualquier medio con el que entren en contacto, bien sea una manguera, un frasco, un contenedor, un equipo de protección personal o un guante. Por lo tanto, cualquier medio de contacto con el aceite potencialmente contaminado debe considerarse como "residuo contaminado con PCB" hasta tanto no se demuestre lo contrario. Las herramientas que se utilicen en la apertura de equipos y que entren en contacto con el aceite deben ser descontaminadas por medio de lavado o limpieza con un solvente.

2.6.4. Consideraciones especiales para transformadores fuera de uso y drenados

Cuando los transformadores están en desuso, temporalmente almacenados y drenados, se debe analizar cómo tomar la muestra para el levantamiento de la información del inventario.

Aunque un equipo haya sido drenado siempre hay un residuo de aceite en la parte pasiva del transformador debido a la lixiviación en los días y semanas después de haber sido drenado. Dependiendo del tamaño del transformador, la lixiviación de las partes sólidas (madera, papel aislante, etc.) puede ser de hasta unos litros de aceite en el fondo del transformador. Pero, por lo general, no hay suficiente aceite para tomar una muestra por la llave de drenaje por que el nivel del aceite es inferior a la posición de la llave.

Por razones prácticas se recomienda etiquetar estos transformadores que han sido drenados como sospechosos con PCB y tomar nota en el handheld (si es utilizado) y dejarlo para su revisión antes de eliminación como chatarra.

2.7 Análisis de PCB

Los análisis de PCB se puede dividir en dos categorías: métodos específicos y no específicos.

Métodos específicos se refieren a la identificación y cuantificación de los bifenilos policlorados mediante cromatografía de gases (CG) acoplado a un espectrómetro de masas (EM) o a un detector de captura de electrones. Este método analiza sustancias halogenadas y se considera el método confirmatorio de la presencia de PCB.

Métodos no específicos identifica de forma cualitativa los iones de cloro. Estos métodos no específicos incluyen las pruebas de PCB colorimétricas tales como CLOR-N-OIL y CLOR-N-SOIL de marca Dexsil y análisis con electrodo específico como el equipo analizador L2000DX, también de marca Dexsil. Este último método permite la cuantificación de los iones cloruro y su conversión a PCB en caso de conocer el aceite comercial de donde proviene la contaminación. En general, los métodos específicos para PCB son mucho más precisos que los métodos no específicos, pero son más caros económi-

camente, toman más tiempo obtener el resultado, el análisis se necesita personal calificado y se tiene que realizar en un laboratorio.

Las pruebas con métodos no específicos tienen algunas ventajas y desventajas en su uso que se ilustran a en la siguiente tabla.

Tabla 8. Ventajas y desventajas del uso de las pruebas no específicas

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<p>Tiempo: en pocos minutos, se puede determinar si la muestra contiene PCB (más de 20, 50, 100 o 500 mg/kg según el tipo de prueba colorimétrica).</p> <p>Facilidad de uso: las pruebas tienen un procedimiento relativamente sencillo que cualquier persona puede seguir en el campo o en un laboratorio.</p> <p>Costo: el costo de este análisis es menor que el análisis en el laboratorio.</p>	<p>Existe la posibilidad de tener falsos-positivos (pero rara vez falsos negativos).</p> <p>Generación de residuos peligrosos.</p>

2.7.1. Kits de prueba para detección de cloro

Existen dos marcas muy comunes de pruebas de detección de cloro:

- Tecnología de inmune ensayo ENVIROGARD de Millipore;
- CLOR-N-OIL y CLOR-N-SOIL de Dexsil. La prueba Dexsil distingue entre los kits para PCB en aceite (CLOR-N-OIL) y para PCB en suelo (CLOR-N-SOIL).

Las pruebas de Dexsil se basan en el mismo principio: los átomos de cloro se separan químicamente del PCB, el total de la concentración de iones cloruro se determina por medio de una reacción colorimétrica. Los tres diferentes niveles de prueba disponibles son: **20 mg/kg, 50 mg/kg 100 mg/kg y 500 mg/kg**. Cada prueba se utiliza de la misma manera. El punto final para cada uno ha sido ajustado de manera que cambia color al nivel requerido. Cuando la prueba resulta de color lechoso, el aceite sobrepasa la concentración límite, lo que significa que la prueba es positiva. En el caso de que la prueba resulte de color desde azul hasta rosado, significa que la prueba es negativa. Ver Foto 20. El kit le informa si la prueba es positiva o negativa.



Foto 19. CLOR-N-OIL.

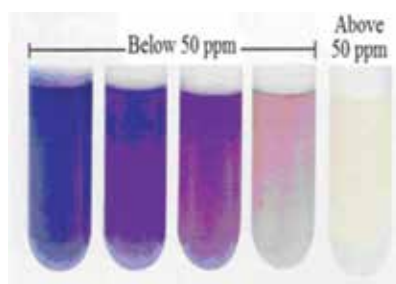


Foto 20. CLOR-N-OIL 50 mg/kg.

2.7.2. La detección de la concentración de cloro mediante el analizador electrónico L2000DX

El analizador electrónico se basa en el método instrumental electroquímico, el cual mide el contenido total de cloro orgánico de una muestra y la equipara a una concentración equivalente al analito esperado. Para usar el L2000DX se debe de tratar la muestra previamente para que todo el cloro unido orgánicamente se convierta en el cloruro inorgánico el cual se cuantifica; se sigue el mismo procedimiento que las pruebas CLOR-N-OIL, pero en lugar de una reacción colorimétrica, el L2000DX usa la concentración del ion cloruro, para cuantificar la contaminación en la muestra. Este equipo permite realizar análisis en muestras de aceite de transformadores, suelos, agua y muestras de superficies utilizando toallitas. El rango de medición usual para aceites y suelos es de 2 a 2000 mg/kg, para agua es de 20 ug/kg a 2000 mg/kg y para muestras de toallitas es de 2 a 2000 ug/100 cm².

El Analizador L2000DX es pre-programado con factores de conversión para la mayoría de los Aroclors, casi todos los solventes y plaguicidas clorinados. Los métodos internos incluyen correcciones por extracción de eficiencias, factores de dilución y contribuciones en blanco.



Foto 21. Analizador L2000DX.

El L2000DX puede ser utilizado en el campo o en el laboratorio por personal sin formación técnica. Una muestra de aceite se analiza en 5 minutos, mientras que agua, suelo y superficies toma 10 minutos. Esto elimina la necesidad de esperar días o semanas para los resultados del laboratorio. Los equipos de trabajo que están en el campo pueden utilizar el L2000DX para identificar el aceite de un equipo, aislarlo y remover el suelo contaminado.

El proceso de calibración del equipo utiliza un patrón estándar de calibración con 50 mg/kg de cloruro que viene en los reactivos que se utilizan. Esta calibración debe ser realizada aproximadamente cada 20 mediciones o cada hora, o lo que sucede primero. El equipo tiene un cronómetro y un contador para controlar la necesidad de re-calibración. Este proceso demora aproximadamente 2 minutos. Durante este proceso de calibración, se debe evaluar el funcionamiento del electrodo. Si el funcionamiento del electrodo para la solución de calibración no está dentro de los límites aceptables, se presentará una advertencia y el programa ejecutará en el modo del diagnóstico.

Después de su calibración, el equipo pedirá el blanco, el cual deberá ser preparado como una muestra completando todos los pasos y reactivos necesarios para una muestra, pero sin ser una muestra real (sin aceite). El blanco asegura que el análisis se corra correctamente y pueda dar una línea base para los resultados bajos.

Los pasos para la preparación de la muestra incluye la extracción de los cloros orgánicos del suelo, el agua, material de muestreo de superficie, (que no es requerido para PCB en aceite de transformadores), y la reacción de la muestra con un reactivo de sodio para transformar los cloros orgánicos en cloruros. El cloruro que resulta se cuantifica con el Analizador L2000DX. Varias muestras pueden ser preparadas a la misma vez, luego analizadas en menos de un minuto por muestra. Un operador puede hacer como 65 pruebas de aceite, o 45 pruebas de suelos o muestras de superficies en una jornada de ocho horas.

2.7.3. Análisis por Cromatografía de Gases (CG)

La cromatografía de gases separa los componentes de una mezcla y permite que un detector de captura de electrones o un espectrómetro de masas, detecte cualquier compuesto que contenga cloro, incluyendo el PCB.

Debido al tiempo de retención único de PCB, se logra identificar PCB de otros compuestos clorinados con esta técnica. Si existen compuestos clorinados muy parecidos al PCB en la muestra, entonces el detector de espectrometría de masas puede encontrar la huella del PCB y confirmar su identidad.

También, se puede detectar interferencias causadas por otras sustancias químicas, y la cuantificación de los congéneres individuales es más precisa.



Foto 22. Un ejemplo de un cromatógrafo de gases.

Los análisis de cromatografía deberán ser realizados por laboratorios que estén acreditados por el Ente Costarricense de Acreditación (ECA). Los laboratorios que hacen análisis de PCB deben incorporar programas de control de calidad. Los propietarios de los aceites analizados deben reportar en la Base de datos COP, los resultados

de los análisis de las muestras, indicando el método empleado. En caso de muestras que se analizaron por métodos no específicos, y posteriormente se analizó por cromatografía, el propietario debe reportar el método cromatográfico por ser el método confirmatorio.

2.7.4. Desechos generados durante las pruebas analíticas

Los residuos que se generan durante el muestreo y las actividades de análisis se deben considerar como desechos contaminados con PCB. Algunos de los residuos generados (frascos, pipetas, otros) deben disponerse adecuadamente debido a que contienen mercurio y pueden contener PCB. Estos desechos, líquidos o sólidos se pueden colocar en bolsas plásticas gruesas de polietileno dentro de tambores de plástico o metal que no tengan corrosión de algún tipo, que estén en buenas condiciones físicas y que puedan ser cerrados totalmente. Estos deben estar disponibles durante el proceso del análisis de muestras y deben identificarse como residuos peligrosos.

2.7.5 Etiquetado de equipo identificado

El equipo que ha sido revisado durante el inventario o en las labores de mantenimiento deberá estar marcado con etiquetas como una medida precautoria. Según el resultado del análisis de la muestra o la revisión de la placa del fabricante en un capacitor, se utilizará alguna de las etiquetas que se muestran a continuación.

El etiquetado garantizará que el equipo se pueda identificar fácil y correctamente para su disposición en el momento de hacer actividades de desmantelamiento de equipo. Además, en caso de un incidente, asegura que los riesgos de la situación pueda ser evaluados de inmediato con solo ver el color de la etiqueta.

La etiqueta verde "NO PCB" indica que el aceite ha sido analizado y que su concentración es menor a 50 mg/kg o ha sido posible de-

terminar que el equipo no contiene PCB, por medio de la placa del fabricante (posiblemente solo con capacitores).

La etiqueta amarilla indica que el equipo está dentro de la categoría de sospechoso según el flujograma 1 Proceso de toma de decisiones para el inventario..

La etiqueta blanca corresponde a equipos que están libres de PCB desde su fabricación y cuentan con un certificado de respaldo.

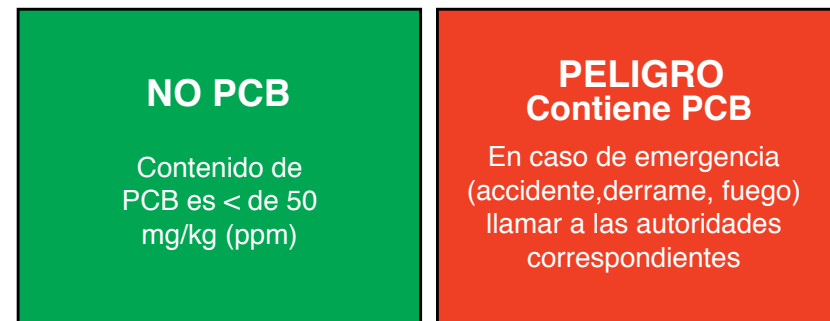


Figura 1. Etiqueta para equipo NO PCB.

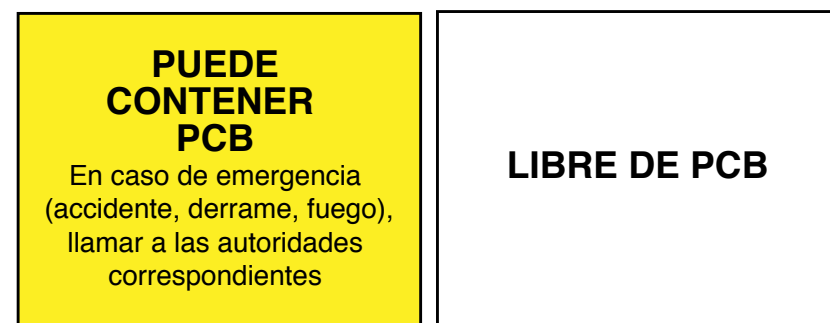


Figura 3. Etiqueta para equipo sospechoso de tener PCB.

Figura 4. Etiqueta para equipo que no contiene PCB.

2.7.6. Etiquetas para equipos o contenedores de aceites o residuos contaminados con PCB

El equipo que está confirmado que tiene más de 50 mg/kg (ppm) de PCB debe tener una etiqueta como la mostrada a continuación (Figura 5). La etiqueta tiene la siguiente información:

- Número de serie del equipo
- Número del equipo o activo
- Descripción de residuo
- Nombre del residuo
- Grupo reactivo
- Grupo de embalaje
- Composición físico química
- Peso total (kg)
- Volumen de aceite (L)
- Concentración de PCB (mg/kg)
- Número en caso de emergencia
- Medidas a tomar en caso de fuga o derrame
- Medidas a tomar en caso de fuego
- Equipo de protección personal que se debe utilizar cuando se manipula el equipo
- Código de peligrosidad según Naciones Unidas (NU)³
- Clasificación de peligrosidad según Unión Europea
- Valoración de riesgos según la Asociación Nacional de Protección de Incendios (NFPA 704 por sus siglas en inglés)






Descripción del residuo		Nº de Serie	Nº de Equipo
NOMBRE DEL RESIDUO	Acete dieléctrico, equipo y materiales contaminados con Bifenilos Policlorados (PCB s).		
GENERADOR	Compañía Nacional de Fuerza y Luz (CNFL)	Código Peligrosidad según NU	
CODIGO SIMARDE	S-0206, L-039	930 2315	
GRUPO REACTIVO	6	Clasificación Peligrosidad según NU	
GRUPO DE EMBALAJE	I Sustancias muy peligrosas.	Clasificación según Unión Europea	
FECHA			
COMPOSICIÓN FÍSICO-QUÍMICA	Acete : Líquido, acete dieléctrico contaminado con PCB s Equipo, materiales : Sólido, metales	Clase 9: Peligroso para el medio ambiente	Producto nocivo Peligroso para el medio ambiente
PESO TOTAL (kg)			
VOLUMEN ACEITE (L)		Valoración de riesgos según NFPA 704	
CONC. PCB s (ppm)			
EMERGENCIA:	9-1-1; 2295-1512	Riesgos específicos Ninguno	
FUGA O DERRAME:	No tocar ni caminar sobre el producto derramado. Detener la fuga si es posible. Recuperar la mayor cantidad de producto : absorber por completo residuos con material absorbente (arena, tapetes) y depositarlo en contenedor adecuado, cerrado y etiquetado.		
FUEGO:	Extintor de polvo químico seco o CO ₂ ; evitar el uso de agua, si se utiliza se debe contener el líquido residual y disponerlo en contenedores cerrados.		
Equipo de protección personal	Observaciones Equipo completo incluye: - Traje protector completo TYVERpo Saranex. - Guantes de nitrilo. - Respirador de doble filtro con cartuchos para vapores orgánicos y gases de protección o respirador "fullface". - Botas resistentes a productos químicos.		

Figura 5. Etiqueta para equipo contaminado con PCB.

³ Más información disponible en la Guía de Respuesta en Caso de Emergencias (GRE)

3

Plan de Gestión de PCB



Debido a las propiedades peligrosas de los PCB, todo propietario de equipo y aceites contaminados deberá preparar un Plan de Gestión de PCB. El mismo debe contemplar todo el ciclo de vida de estos productos (uso, manejo, almacenamiento y disposición final).

Las empresas que operan bajo estándares ISO 14001, OSHA 18001, Programa de Gestión Ambiental Institucional (PGAII) entre otros, deberán incorporar el Plan de Gestión de PCB en su Plan de Gestión Ambiental o su Plan de Gestión de Riesgo. El uso, manejo y almacenamiento de PCB debe ser considerado como un aspecto ambiental significativo para el Plan de Gestión Ambiental y se debe considerar como un peligro cuando se hace una evaluación de riesgo para salud y seguridad ocupacional.

3.1 Aspectos del plan de gestión de PCB

Designación de un Responsable de PCB

Toda empresa debe designar una persona/representante (o varios según el tamaño de la empresa) quienes serán encargados de la implementación de los procedimientos descritos más adelante. En caso de darse un incidente con PCB el responsable de PCB será quien dirija los procedimientos de emergencia.

Capacitación e instrucción del personal

El personal de la empresa debe recibir capacitación periódica sobre los riesgos a la salud y el ambiente de estos productos y las medidas de seguridad. Las precauciones para prevenir la contaminación cruzada de transformadores libres de PCB y las medidas que se deben tomar en caso de un incidente deben ser revisadas periódicamente.

Inventario

Todo el equipo eléctrico que esté en uso o fuera de uso que utilice aceite dieléctrico y por tanto pueda contener PCB, debe ser identifi-

cado y revisado según lo indicado en el capítulo 2 de esta guía. Todos los equipos analizados deben estar correctamente etiquetados. También, debe inventariarse los residuos que contienen PCB.

Base de Datos de equipo, aceites y desechos contaminados con PCB

La información de todos los equipos utilizados para generación y distribución de electricidad que utiliza aceite dieléctrico, deben estar incluidos en la Base de Datos de COP en la página web de DIGECA-MINAE (www.cops.digeca.go.cr) según lo indicado en el 2.2.

Procedimiento de mantenimiento

El taller de mantenimiento debe tener un procedimiento que incluya las medidas de seguridad que se deben tomar cuando se le brinda un servicio a un equipo, ya sea libre de PCB o uno que ha sido identificado contaminado pero todavía está en funcionamiento, ver capítulo 4.

Como parte de las operaciones de mantenimiento, cada vez que se encuentra un equipo contaminado o altamente probable de estar contaminado, se debe ingresar esta información en la Base de Datos de COP.

Plan de Acción para Prevenir y Controlar Derrames de PCB

Este plan debe elaborarse para eliminar o minimizar el riesgo ambiental potencial de un derrame de PCB. El responsable de PCB de la empresa será el responsable de la implementación correcta del Plan y deberá tomar en cuenta las siguientes consideraciones para la prevención y control de derrames.

- Todas las puertas de lugares donde se encuentre o esté almacenado equipo contaminado con PCB o desechos, deben estar claramente marcadas por fuera con una etiqueta indicando que son desechos peligrosos.

- El uso o el almacenamiento de transformadores con PCB es prohibido en cualquier lugar donde se encuentre alimento humano o animal y que podría estar expuesto a las emisiones de PCB de transformadores.
- Se debe evitar almacenar materiales inflamables contiguos a equipo contaminado con PCB o sus desechos.
- Por debajo de cada transformador debe haber un sistema de retención para prevenir la diseminación de PCB al ambiente en caso de un derrame. La mejor solución es una bandeja de metal, pero aun así el concreto o paredes de ladrillo se pueden utilizar, siempre y cuando estén sellados (impermeabilizados) y que tenga capacidad de retener un volumen mayor al fluido que tiene el transformador.

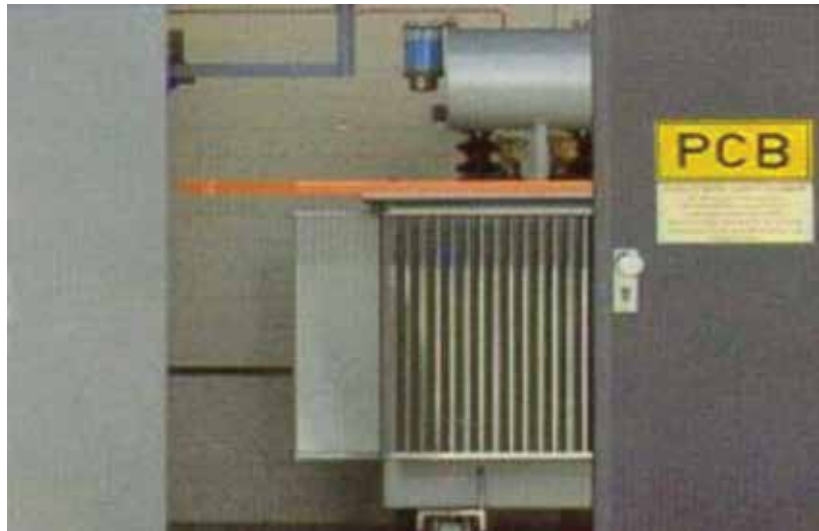


Foto 23. Etiquetado de puerta de almacén.

- Los equipos de repuesto o equipo fuera de uso y otros desechos contaminados con PCB deben estar almacenados en tambores de metal o en bandejas de metal.
- Los pisos de los talleres donde se realizan labores de drenaje y la retirada de servicio de transformadores deben de tener un revestimiento de epoxi para que sean fáciles de descontaminar.
- El umbral debe estar elevado y todas las aperturas cercanas al piso deben estar selladas para evitar la diseminación de PCB al ambiente en caso de derrame.

En el capítulo 5, se aborda con mayor detalle el tema de la protección a la salud humana y el ambiente en la gestión de los PCB.



Foto 24. Sistema de contención de metal.

Planes de emergencia

Los planes de emergencia, deben estar colocados en la pared cercana y visible al lugar donde está el equipo. La razón de esto es para poder actuar inmediatamente en caso de un incidente. En los anexos 1 y 2, se muestran ejemplos de planes de emergencias para incidentes fríos y calientes de PCB. También, se recomienda mantener los materiales de contención (guantes, bandejas de metal, material de reparación, material absorbente) y herramientas en un lugar de fácil acceso, para actuar de inmediato.

Plan de eliminación

Los equipos contaminados con PCB y sus desechos deben ser descontaminados o dispuestos únicamente por empresas que tengan un permiso especial para estos fines a nivel nacional o internacional.

El Plan de eliminación que elabore cada empresa debe cumplir con las metas nacionales acordadas y establecidas en el Plan Nacional de Eliminación del país cuyo objetivo principal es el cumplimiento de los requisitos del Convenio de Estocolmo sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes. Las metas y los plazos de los planes de eliminación de los poseedores de PCB serán integrados en el Plan Nacional de Eliminación que es el compromiso país.

Como la descontaminación o disposición final de equipo que está contaminado con PCB implica costos altos para una empresa, es aconsejable formular un Plan de Eliminación que defina las fechas de descontaminación o disposición y el reemplazo de cada unidad de equipo que se elimina. Además un plan financiero que incluya los costos de disposición y el costo del equipo nuevo de reemplazo que se va a requerir.



4

Mantenimiento de equipo que está contaminado con PCB

El mantenimiento del equipo deberá realizarse según los procedimientos del fabricante. Antes de realizar el mantenimiento, si no se sabe con certeza si existe o no la presencia de PCB, se deben tomar muestras y hacer análisis por lo menos cualitativos o semi-cuantitativos para identificar equipos potencialmente contaminados. A continuación, una vista general de los elementos principales en el proceso de mantenimiento de transformadores y capacitores contaminados con PCB además de mejores prácticas que deben seguirse en el proceso.

4.1 Medidas de seguridad

Cuando se realizan labores de mantenimiento de equipo en servicio que contiene PCB, las siguientes medidas de seguridad se deben observar para la protección del personal y el ambiente:

- Evitar el contacto directo de la piel con materiales contaminados por medio del uso de guantes y anteojos de seguridad. Según el trabajo a realizar se debe utilizar un traje de seguridad y máscara de protección. Ver capítulo 5.2 Equipo de Protección Personal.
- El área de trabajo debe tener una adecuada ventilación.
- Los derrames deben de evitarse en todo momento por medio del uso de bandejas o manteados de plástico.

- Todo contacto del PCB con una llama o cualquier fuente de calor por encima de los 300°C y el uso de una esmeriladora o amoladora debe evitarse completamente. Existe un riesgo alto de la generación de dioxinas y furanos.
- Todas las herramientas utilizadas y materiales que hayan entrado en contacto con PCB debe de ser eliminados como residuo contaminado de manera ambientalmente correcta o de lo contrario deben ser descontaminados con un solvente apropiado (ej. acetona grado técnico). Los únicos materiales que se pueden descontaminar son el metal, el vidrio y la cerámica.
- Operaciones que implican el drenado, el re-bobinado, entre otros pueden ser realizados únicamente por empresas autorizadas por el Ministerio de Salud para labores de mantenimiento.

4.2 Mantenimiento de transformadores con PCB

A continuación, se presenta algunos de los problemas que pueden encontrarse durante el mantenimiento de transformadores contaminados o sospechosos de contener PCB.

Tabla 9. Problemas típicos encontrados en labores de mantenimiento de los transformadores

Problema	¿Qué podría pasar?
Rayería, conmutación de voltaje e interruptores.	<ul style="list-style-type: none"> • Se producen arcos dentro de los transformadores, causando un deterioro en el aislamiento, que puede producir el sobre calentamiento y aumentar la presión interna. • Una presión interna expulsa el PCB fuera de la válvula reguladora de presión o por donde se encuentren empaques débiles. • Se produce una posible contaminación ambiental.
Contaminación gradual del líquido del transformador con agua, humedad, tierra, carbón o químicos como resultado de la formación del arco.	<ul style="list-style-type: none"> • La calidad de aislamiento del líquido de PCB se deteriora. • Arcos eléctricos ocurren dentro del transformador debido a que no está aislado correctamente; el arqueo lleva a que se agriete el aislamiento, se sobrecaliente el equipo y aumente la presión interna. • El exceso de presión, fuerza al PCB que se salga por la válvula reguladora de presión o por los empaques débiles. • Se produce una posible contaminación ambiental.
Debilitamiento de los sellos y empaques debido al envejecimiento.	<ul style="list-style-type: none"> • Se dan fugas. • El transformador se sobrecalienta o quema debido a la pérdida del PCB. • Se dan arcos eléctricos dentro del transformador porque no tiene el aislamiento adecuado. • Fallo catastrófico puede ocurrir.
Daño físico o corrosión de los radiadores de enfriamiento. Daño estructural del tanque del transformador. Se produce el sobrecalentamiento debido a que el transformador tiene un tamaño inferior para su aplicación (sobrecarga), o por la pérdida de PCB.	<ul style="list-style-type: none"> • Se dan fugas. • El transformador se sobrecalienta o quema debido a la pérdida del PCB. • Se dan arcos eléctricos dentro del transformador porque no tiene el aislamiento adecuado. • El aislamiento en el bobinado eléctrico y materiales de aislamiento se deteriora, permitiendo corto circuitos y chispas internas que ocurran entre bobinado. • Se disminuye la vida del equipo y hay una posible pérdida de PCB al ambiente

4.2.1. Fugas de transformadores

Cuando se detecta una fuga o derrame en o cerca de un transformador, es necesario ver de dónde viene la causa de la fuga para preparar las medidas de remediación. Es muy común tener fugas en los puntos de sellos y empaques. Existen varias posibilidades para una reparación efectiva y que ayudan a evitar la afectación del cuerpo principal del transformador. Pero, solamente electricistas especialistas y con experiencia que conozcan los peligros de los PCB deben hacer este tipo de trabajo.

Una situación más seria ocurre cuando la fuga o el rebalse son causados por un daño en la estructura metálica del transformador. Estas fugas pueden ser causadas por un daño mecánico y/o accidental a la carcasa del transformador. En algunos casos, se recomienda

sellar la fuga temporalmente con una pasta selladora y colocar una bandeja de seguridad debajo del lugar de la fuga. Esto es únicamente una solución temporal, la reparación debe hacerse lo antes posible.

Una fuga también se puede dar por una degradación lenta del líquido enfriador, que aumenta su corrosividad. Si la corrosión ya está en estado avanzado y causando fuga, el transformador debe ser sellado de inmediato con una pasta selladora, sacado de uso lo más pronto posible y sustituido con un nuevo equipo.

Los transformadores tienen dispositivos que indican cuando se está dando un estado de alarma durante el mantenimiento del equipo. A continuación se detallan algunos de estos indicadores.

Tabla 10. Indicadores de alarma para transformadores de generación y potencia.

Dispositivo	Evento activador/Mecanismo
Alarma de temperatura. Alarma indicadora en el termómetro de aceite de arriba.	Estos dispositivos son medidores sellados con sensores de bulbo llenos de líquido. Cuando la temperatura del PCB aumenta, el líquido en el bulbo aumenta, y esto expande un tubo en espiral. El tubo está pegado a un puntero que indica la temperatura. Estos punteros pueden también tener contactos eléctricos que activan una alarma e inicia unos abanicos de enfriamiento cuando la temperatura sube por encima de los límites establecidos.
Alarma indicadora del nivel del líquido.	Estos son mecanismos que funcionan por medio de la flotación unidos a la pared del tanque y al indicador. También, puede haber interruptores eléctricos para alarmas que desactivan el transformador cuando el nivel de líquido del tanque baja. Los circuitos de alarma y desactivadores deben de ser probados regularmente.
Alarma de presión de vacío	Cuando se instaló el transformador, aire seco presurizado o nitrógeno se colocó en la parte superior del tanque de aislante líquido. Una válvula de purga está diseñada para mantener la presión interior en un rango determinado. La ventaja de este sistema es que la salida de aire es controlada por la válvula de purga. Aire o nitrógeno se expulsa a la atmosfera cuando ocurre una presión positiva dentro del tanque. Un medidor de presión está conectado normalmente para medir la presión baja del gas dentro del tanque. Este medidor puede estar localizado cerca del transformador y normalmente tiene alarmas para presiones altas y bajas.

4.2.2. Revisiones visuales

La manera más sencilla y más económica para examinar un transformador en servicio o en almacenamiento es la revisión visual. Transformadores con PCB deben ser revisados visualmente, por el propietario, por lo menos cada cuatrimestre, quien también es responsable por mantener documentadas estas inspecciones.

Las siguientes áreas deben ser inspeccionadas:

- Verificar la existencia de manchas o derrames de aceite cerca del equipo

- Muestras de aceite o marcas de fuga en el equipo (las costuras de soldadura, válvulas, empaques, etc.)
- Daño físico significativo
- El sellado de la bandeja de derrame

Los elementos que se deben de buscar durante la inspección visual de un transformador contaminado o sospechoso de tener PCB se indican en la siguiente tabla.

Tabla 11. Inspecciones rutinarias de los transformadores

Inspección	¿Qué buscar? (una medida correctiva)
Condición de los medidores	Carátulas quebradas o medidores dañados (instalar un vidrio acrílico para la protección de los medidores).
Lectura de los medidores	Cambios en las lecturas desde la última inspección. Lecturas que están dentro del rango de aceptable o seguras (si no es así, se debería agregar fluido para rellenar).
Corrosión en el tanque y aletas del radiador	Condición de las aletas. Estas están hechas de un metal delgado para obtener el máximo enfriamiento, por lo que se corroen más rápidamente que el resto del transformador, especialmente en un ambiente cáustico.
Pintura del tanque y las aletas del radiador	La pintura está gastada (es necesario repintar las veces que sean necesarias).
Fugas de PCB desde: <ul style="list-style-type: none"> - Tanque - Aletas del radiador - Tapa superior (si tuviera empaques) - Tapa de registro - Llave de drenado superior e inferior - Bornes de alto y bajo voltaje 	Desechos gomosos y mojados. Empaques y sellos deteriorados. (Importante: Si ha existido una fuga, tomar los pasos necesarios para limpiar lo más pronto posible y reportar a sus superiores. Todos los materiales utilizados para la limpieza de la fuga de PCB deben ser almacenados como residuo contaminado con PCB.)
Válvula de alivio de presión	Una válvula mal colocada debido a la ubicación equivocada de los empaques.
Bornes de alto y bajo voltaje	Bornes quebrados (cambiar los bornes quebrados).
Color de PCB	Cambios de colores. Tome una muestra pequeña. Si el color cambio de transparente a azul, verde rojo o negro, es porque el PCB se está contaminando (es necesario realizar una prueba de laboratorio para revisar su calidad).

4.2.3. El nivel de aceite en los transformadores de generación y potencia

La mayoría de los transformadores tiene un dispositivo directo o indirecto que permite que el nivel del líquido enfriador se pueda controlar. Antes de rellenar el nivel de un líquido enfriador, es vital revisar el contenido de PCB que podría tener el transformador, así como el líquido enfriador adicional para evitar una posible contaminación cruzada. Es necesario hacer una valoración técnica-económica sobre la utilización del transformador para determinar la conveniencia o no de rellenar el equipo con aceite limpio, lo que significa la generación de más aceite contaminado. En el caso mantener en uso este equipo contaminado se recomienda mantener una vigilancia estricta sobre su funcionamiento para evitar derrames, fugas y contaminación cruzada.

4.2.4. Indicador de temperatura

El indicador de temperatura muestra la temperatura del líquido dieléctrico dentro del transformador. Una temperatura excesiva podría indicar que el transformador esté sobre calentándose, posiblemente debido a la pérdida del líquido dieléctrico o de sus propiedades dieléctricas. Una acción se debe tomar inmediatamente para detectar la causa del sobrecalentamiento, porque la velocidad de deterioro de los materiales de aislamiento en el transformador puede aumentar rápidamente por encima de la temperatura normal de operación.

4.2.5. Manómetro de vacío de presión

El manómetro de vacío de presión mide los cambios en la presión en el espacio entre el líquido dieléctrico y la tapa del tanque. Una presión alta inusual indica que pueden haber ocurrido corto circuitos y/o arqueo. En este caso, debe realizarse una prueba de rendimiento lo antes posible. Una presión inusualmente baja indica un nivel bajo de líquido dieléctrico. Se deben tomar acciones de inme-

diato para identificar la causa de la pérdida del líquido dieléctrico y aplicar las medidas de contención en caso de fuga.

4.2.6. Corrosión en el tanque y las aletas del radiador

La condición del tanque y las aletas del radiador deben ser revisadas con regularidad porque tienen la tendencia de demostrar corrosión. Si ocurre la corrosión, el área afectada debe ser limpiada hasta llegar al metal y posteriormente pintada.

4.2.7. Pruebas de rendimiento

Los transformadores deben ser probados periódicamente para detectar algún cambio que podría ser la primera señal de degradación en el rendimiento del mismo, y por lo tanto de un posible riesgo.

Entre otras, las siguientes características que deben ser revisadas:

- El funcionamiento de todos los dispositivos de protección
- El rendimiento eléctrico del transformador
- Calidad del aceite (pruebas físicas y químicas)

4.3 Aceites dieléctricos que se pueden usar como sustitutos de aceites con PCB

Antes de utilizar aceites sustitutos es importante que el equipo este descontaminado para que no se dé la contaminación cruzada y más bien se aumente la cantidad de aceite contaminado con PCB.

- Los aceites de PCB en transformadores a menudo se cambian por aceite mineral común. Pero, otros líquidos sustitutos también se han utilizado. La siguiente tabla indica los líquidos sustitutos para transformadores nuevos, junto con las ventajas y desventajas de los mismos.

Tabla 12. Líquidos que se pueden usar como sustitutos para el PCB

Líquido sustituto	Ventajas	Desventajas
Silicones	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Punto de fluidez bajo. ▪ Punto de combustión alto. ▪ Velocidad de liberación de calor con la combustión baja. ▪ Viscosidades relativamente bajas sobre el rango completo de las temperaturas de operación. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ No es compatible con algunos materiales de empaque y sellos, tales como hules de silicón y ciertos materiales de aislamiento. ▪ Gravedad específica de los líquidos tales como agua que se hunde a la parte inferior del transformador donde los cristales de hielo son boyantes y flotan hacia arriba. Los cristales de hielo derretidos pueden migrar por el líquido y reducir la fuerza dieléctrica. ▪ El costo es relativamente alto. ▪ Los PCB son solubles en silicones solo hasta el 8%
Hidrocarburos alifáticos (ej. R-Temp, producido por el refinamiento extensivo del aceite crudo y la mezcla de anti-oxidantes, estabilizadores y otros aditivos)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Bajo grado de degradación en servicio. ▪ Compatibilidad con todos los materiales de construcción normalmente utilizados en equipo eléctrico. ▪ El líquido es compatible con todos los líquidos dieléctricos. ▪ La gravedad específica está por debajo de la del agua y el hielo. ▪ El líquido no es un peligro ambiental serio (mismos efectos que otros materiales de aceite), es biodegradable y puede ser dispuesto fácilmente. ▪ Tiene el costo más bajo de todos los sustitutos de PCB y las materias primas existen en abundancia. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Viscosidad alta a temperaturas bajas. ▪ Velocidad de emisión de calor durante la combustión. ▪ Se requieren aditivos mezclados para deprimir el punto de fluidez y mejorar las estabilidades térmicas y de oxidación.
Polio-olefinas (hidrocarburos sintéticos)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ La compatibilidad con todos los materiales utilizados para la construcción de los transformadores y todos los líquidos de hidrocarburo. ▪ Punto de fluidez bajo y una temperatura de viscosidad más baja que los hidrocarburos naturales alifáticos. ▪ Gravedad específica por debajo de la de agua y hielo. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Velocidad alta de emisión de calor durante la combustión. ▪ Costo relativamente alto.

Líquido sustituto	Ventajas	Desventajas
Bencenos triclorados, tetraclorobencenos son componentes de PCB pero que pueden ser usados solos también	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Propiedades físicas similares a las propiedades de PCB. ▪ Transformadores diseñados para PCB generalmente son aceptables para tri-tetracloro benceno (TTCBs). 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ No adecuados para el uso a temperaturas ambientales bajas porque tiene un punto de fluidez alto. ▪ Demuestra algo de toxicidad y no es fácilmente biodegradable.
Ésteres (una mezcla de pentaeritritol y ácidos grasos)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Fuerza dieléctrica alta. ▪ Baja inflamabilidad. ▪ Bajo punto de fluidez. ▪ No se generan sustancias tóxicas durante las condiciones de arqueo. ▪ Compatible con la mayoría de materiales usados en los transformadores. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ No hay desventajas significativas con excepción del alto costo que el líquido RTemp representa.

4.4 Mantenimiento de capacitores con PCB

Las revisiones visuales son fáciles de realizar y se pueden hacer con frecuencia.

Revisiones visuales permiten la detección de los siguientes daños en los capacitores:

- Fugas en el contenedor
- El hinchado o deformación del contenedor
- Oxidación del contenedor
- Los bornes sucios

En los primeros dos casos, los capacitores deben retirarse de inmediato y dispuestos de manera ambientalmente adecuada tal y como se indica en el apartado sobre técnicas de eliminación, Sección 9.

Se debe realizar revisiones visuales para complementar las pruebas técnicas, las cuales requieren un equipo de trabajo calificado. Dependiendo de la condición del equipo, la frecuencia de las pruebas se puede determinar. Lo mínimo debe ser una vez al año. Algunos de los daños que se podrían encontrar y las medidas correctivas se ilustran a continuación:

Tabla 13. Daños detectados y medidas de reparación

Daños detectados	Medidas de reparación
Corrosión en carcasa	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Retirar los óxidos, preparar la superficie de acuerdo a la pintura elegida y pintar. ▪ Mejorar la ventilación para evitar la acumulación de contaminantes agresivos.
Daño físico	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Reparar o sustituir bornes. ▪ Si fuera necesario sustituir el capacitor.
Derrame de material dieléctrico (PCB)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Limpiar área afectada. ▪ Acondicionar y almacenar el capacitor, elementos contaminados (varilla y espátula) y residuos de limpieza (material absorbente) en barriles o tambores hasta su disposición final.
Fusibles fundidos	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Reemplazar fusibles y si se vuelven a fundir, sustituir y almacenar el capacitor hasta su disposición final.
Temperatura de carcasa	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Controlar causas de excesiva temperatura. ▪ Si la carcasa esta fría, chequear los fusibles.

Fuente: Guía para la Gestión de Transformadores y Capacitores con Bifenilos Policlorados (PCB), GEF, DINAMA, PNUD, UTE, Uruguay 2013.

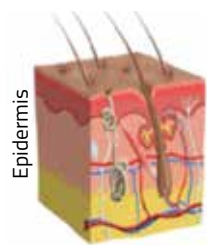
5

Protección de la salud y el ambiente



5.1 Medios de exposición a PCB

Existen tres formas en que los PCB pueden entrar al cuerpo humano: por el estómago y el intestino, por la piel y por las vías respiratorias según lo ilustran las fotos a continuación:



Epidermis

Foto 25.

Ingreso vía piel

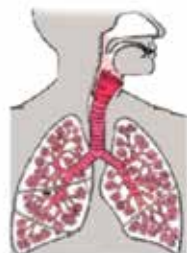


Foto 26.

Ingreso vía respiratoria



Foto 27.

Ingreso vía estomacal

5.1.1. Estómago e intestino

Una pequeña cantidad de PCB es absorbida por el estómago y el intestino de los alimentos que ingerimos. Cuando se trabaja con equipo que contiene PCB o materiales contaminados con PCB, es vital cumplir con las siguientes reglas para prevenir la ingesta de PCB:

- Ningún alimento debe estar almacenado o ser consumido cerca de equipo con PCB o materiales contaminados con PCB.
- Después de manipular equipo con PCB o materiales contaminados con PCB, siempre se debe lavar las manos con agua caliente y jabón.

5.1.2. Piel y ojos

El riesgo más grande que tiene la gente que manipula PCB es en la exposición a la piel, porque es por este medio que se absorbe la

sustancia rápidamente. Por esto es importante evitar el contacto directo de PCB con la piel.

Para proteger la piel del contacto directo con PCB, se debe siempre utilizar el Equipo de Protección Personal (EPP) descrito en la sección 5.2.

5.1.3. Vías respiratorias

Los PCB tienen baja volatilidad, por lo tanto el peligro de absorción de PCB, cuando existen pequeñas cantidades de PCB, puede ser minimizado siempre y cuando la ventilación existente sea suficiente. Si existe un derrame de gran tamaño, entonces una máscara respiratoria con un filtro para vapores orgánicos y polvo debe ser utilizada.

Un incendio o falla interna de equipo con PCB puede resultar en la producción de gases tóxicos altamente peligrosos como son las dioxinas y los furanos.

5.2 Equipo de protección personal

El tipo de equipo de protección personal que se recomienda dependerá mucho de las tareas a realizar y los posibles riesgos que estas puedan representar. La siguiente tabla muestra las diferentes tareas y las recomendaciones de equipo de protección personal más adecuada para su ejecución.

Tabla 14. Descripción del equipo de protección personal (EPP)

Tarea	Equipo de protección personal
Muestreo de líquidos o suelos	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Guantes Nitrilo/Neopreno, NO Látex ▪ Respirador descartable con dos filtros (Filtro A2P2; para vapores orgánicos y partículas) ▪ Botas/zapatos de seguridad con punta de acero.
Muestreo de un capacitor	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Guantes Nitrilo/Neopreno, NO Látex ▪ Anteojos de seguridad, solamente cuando se abre o se esté usando el taladro ▪ Respirador descartable con dos filtros (Filtro A2P2; para vapores orgánicos y partículas)
Muestreo de concreto o paredes de ladrillo (ejemplo, el uso de un taladro)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Guantes de cuero ▪ Anteojos de seguridad cuando se está usando el taladro ▪ Respirador descartable con dos filtros (Filtro A2P2; para vapores orgánicos y partículas) ▪ Protección del oído (mientras se usa el taladro)
Retirada de servicio de capacitores (sin fuga)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Overol de trabajo ▪ Casco (según las reglas de seguridad de la empresa) ▪ Botas de punta de acero ▪ Guantes de cuero ▪ Respirador descartable con dos filtros (Filtro A2P2; para vapores orgánicos y partículas) ▪ Protección del oído (mientras se usa el taladro)
Retirada de servicio de capacitores (con fuga)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Traje protector (Tyvek®)/Tychem en caso de riesgo de exposición directa alta se recomienda el traje Tyvek pero color amarillo. ▪ Botas de punta de acero ▪ Guantes de Neopreno ▪ Respirador descartable con dos filtros (Filtro A2P2; para vapores orgánicos y partículas) ▪ Protección del oído (mientras se usa el taladro)

Tarea	Equipo de protección personal
<p>Actividades de limpieza -Se debe valorar el tipo de equipo según el riesgo de exposición en la actividad que se va desarrollar.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Traje protector (Tyvek®) ▪ Botas de punta de acero ▪ Guantes de seguridad (de trabajo pesado) ▪ Respirador descartable con dos filtros (liviana o cara completa, Filtro A2P2; para vapores orgánicos y partículas) ▪ Casco (si es necesario) ▪ Protección del oído (si es necesario)

5.3 Primeros Auxilios en caso de entrar en contacto con PCB

La siguiente tabla resume las acciones inmediatas que se deben tomar después de una exposición a PCB. Adicionalmente, se debe consultar a un médico.

Tabla 15. Medidas de primeros auxilios por tipo de exposición.

Tipo de Exposición	Primera Acción	Segunda Acción
PCB líquido en la piel	Usar agua y jabón neutro para lavar completamente durante 15 minutos mínimo. En caso de grandes áreas expuestas ducharse con abundante agua y jabón neutro.	Ver el médico si se desarrolla sarpullido.
PCB líquido en los ojos	Enjuague los ojos con agua tibia en aspersión por 15 minutos, siempre manteniendo los ojos abiertos.	Ver el médico.
PCB líquido en la boca y el estómago	Usar agua y jabón para lavar la boca completamente.	Escriba los detalles sobre el líquido ingerido, llevar la persona a emergencias del hospital o médico de inmediato.
PCB en las vías respiratorias por inhalación	Retirar a la persona afectada del lugar y poner al aire libre. En caso de intoxicación aguda utilizar una máscara de oxígeno.	Proporcionar atención médica lo antes posible.

*En lugares donde se trabaja con equipo que podría tener PCB se debe tener una estación de lavado de ojos.

Fuente: Proyecto de implementación fase 1 de un sistema de gestión integral de PCB en el Reino de Hashemite de Jordania, Ministerio de Ambiente, Directorio de Materiales y Residuos Peligrosos, GEF, PNUD, Jordania.

5.4 Protección del ambiente

Cuando se manejan PCB, todas las precauciones de seguridad necesarias, indicadas en el apartado 4 se deben cumplir para prevenir la contaminación al ambiente.

Cuando se toma muestras de equipo y/o materiales sospechosos de tener PCB se debe trabajar de manera ordenada tratando que no se genere contaminación, en caso que suceda se debe asegurar que esta no se extienda. Utilice una carpeta absorbente como respaldo de protección si fuera necesario.

Para evitar impactos al ambiente, todos los materiales y herramientas de trabajo debe limpiarse con un solvente (ej. Acetona grado técnico) o disponerlos como desecho peligroso, incluyendo el EPP. Solamente metal, vidrio y cerámica pueden ser limpiados totalmente para reutilizarse. Los materiales sintéticos, plástico y madera no se pueden limpiar y tienen que ser dispuestos como desechos peligrosos.

Cuando se encuentran equipos con fuga o equipos en mala condición técnica durante el inventario, se debe asegurar que la fuga sea controlada o que la contaminación se pueda evitar.

En el lugar dónde se presentó la fuga, el área contaminada debe estar marcada y resguardada con cintas si es posible. La ropa y los zapatos deben ser cambiados cuando se entra o sale del área contaminada en un lugar designado (compartimento). Si es posible, la fuga debe ser localizada y sellada ej., con una pasta selladora. Además, el aparato que tiene fuga se coloca en una bandeja de metal o bandeja de seguridad cuando está fuera de servicio, si esto no es posible, se coloca material absorbente alrededor del lugar y se reemplaza la pieza lo más pronto posible.

En caso de fuga debido a equipo dañado, se deben prevenir los derrames no controlados por la bandeja de seguridad como primera

medida. Las pequeñas fugas deben ser selladas y se debe utilizar equipo de seguridad adecuado mientras se realizan los trabajos. Por lo tanto, se recomienda mantener el equipo de seguridad (bandeja de seguridad, guantes de hule, material de sellar) cercano a estos equipos.

En el momento de un derrame, el suelo o concreto que esté visiblemente contaminado se debe remover lo más pronto posible para evitar que se extienda la contaminación. La superficie de objetos (vehículos, aceras, edificios, etc.) deben ser limpiados usando materiales absorbentes al aceite y limpiar la superficie con solventes. Después de limpiar, las superficies deben de ser probadas analíticamente para comprobar su limpieza. Los materiales de limpieza usados deben ser colocados en un tambor para su disposición.

5.5 Acciones de emergencia y limpieza

Las emergencias que involucran PCB pueden ocurrir con equipo en servicio, almacenado, durante el transporte o en el sitio de disposición final. Estas emergencias se pueden dar de las siguientes maneras:

- Una fuga o derrame de PCB líquido
- La falla de algún equipo que está en uso
- La rotura accidental de un contenedor con PCB
- Incendios

Todas las empresas que tienen equipos y aceites contaminados con PCB y así como las que ofrecen servicios de almacenamiento o transporte de PCB deben desarrollar e implementar planes de acción para atención de incendios y emergencias. Este plan se debe desarrollar en conjunto con el Cuerpo de Bomberos.

Todo el personal que trabaja con PCB debe estar familiarizado con el contenido del plan de emergencias. Se recomienda que los em-

pleados sean entrenados para la puesta en marcha del plan, preferiblemente por medio de simulacros. También, los empleados deben ser entrenados en el uso del equipo de protección personal, kits de control de derrames y extinguidores de incendio. Deberán también estar conscientes de los peligros de los PCB.

Los incidentes debe de ser reportados de inmediato al Centro de Operaciones de Emergencia (COE) de la Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias (CNE). Estas instancias son las de atención primaria al incidente.

CNE

Tel: 2210-2828

<http://www.cne.go.cr/>

5.5.1 Acciones de emergencia para incidentes fríos

La salida de PCB de un aparato hacia el ambiente se describe como un "incidente frío". Los incidentes fríos pueden ser causados por daño mecánico no intencional a las aletas de enfriamiento de un transformador o cuando las paredes de un transformador estén corroídas. Los derrames se pueden presentar durante las actividades de drenaje o de manejo de aceite almacenado.

Las siguientes medidas se pueden tomar en caso de "incidentes fríos".

- Si una cantidad de PCB se ha fugado de un equipo y existe un riesgo de contaminación del ambiente con PCB, la brigada química de la empresa o del Cuerpo de Bomberos debe ser llamada de inmediato. Si existen dudas sobre si el aceite contiene o no PCB, entonces se debe tratar como si tuviera PCB hasta tanto no se pruebe lo contrario.
- Es importante informarle al médico de empresa y al equipo de respuesta químico o brigada química que deben contar con el equipo de protección personal adecuado.
- Apague la fuente de energía hacia el aparato en cuestión y revise el suelo a su alrededor.
- Limite que se extienda la fuga del aceite sellando el lugar de la misma y utilice material de absorción (arena y aserrín) por debajo del lugar a donde se encuentra el punto de fuga, o por el bombeo del aceite a un contenedor apropiado. Si es posible se puede colocar una bandeja debajo del lugar de la fuga.
- Prevenga la contaminación del recurso hídrico por PCB. Los drenajes, canales y tuberías que van a cuerpos de agua deben ser sellados. Además, se debe asegurar que no pueda correr agua en el área contaminada. El PCB es más pesado que el agua y por lo tanto no debe haber presencia de aceite en el agua.
- Encierre y marque el área contaminada. Se coloca una tienda de campaña con diferentes compartimentos para controlar el acceso de la gente y el movimiento del material hacia adentro y hacia afuera del área contaminada, para prevenir que las áreas limpias se contaminen. El equipo de protección personal se coloca y se quita dentro de la tienda de campaña cada vez que se entra o sale del área contaminada.
- Dentro del área contaminada, se debe poner atención a las suelas de los zapatos. Deben estar limpias; de lo contrario el piso se contaminará con PCB por medio de las suelas.
- En el momento del evento, el suelo o concreto contaminado debe ser removido lo más pronto posible para prevenir la contaminación cruzada.

Si el incidente fue dentro de un edificio:

- Evacue todas las personas del mismo, apague la ventilación, cierre las puertas y las ventanas.
- Informe a las autoridades competentes. Todos los detalles del incidente deben ser reportados para prevenir la población, si fuera necesario (ejemplo contaminación del agua potable).
- Tener a mano un kit de contención de derrames para atender rápidamente un derrame de dimensiones moderadas.

Kit de contención para pequeños derrames

Para el caso de pequeños derrames de aceite se recomienda contar con un kit de contención, constituido por un conjunto básico de elementos, de ser posible desechables, debiéndose localizar de tal forma que se pueda acceder fácilmente a él, en caso de emergencia. La siguiente lista ejemplifica algunos de los elementos utilizados:

1. Equipo de protección personal según se indica en la sección 5.2
2. Una pala metálica
3. Una escobilla
4. Material absorbente
5. Bolsas grandes y gruesas de polietileno y tambores con capacidad adecuada y tapa
6. Etiquetas para las bolsas y contenedores
7. Sistemas para bloquear drenajes en el piso
8. Solvente adecuado (kerosen, alcohol isopropilico)
9. Elementos para contener y delimitar el derrame

Un plan de respuestas a emergencias para incidentes fríos se incluye a esta guía como una lista de chequeo en el Anexo 1. La lista de

chequeo es una lista básica y contiene contactos de las autoridades competentes.

5.5.2 Acciones de emergencia para incidentes calientes

Los incidentes calientes pueden ocurrir con equipo con PCB causados por un corto circuito o un incendio cercano al mismo. En caso de un "incidente caliente", la temperatura en el equipo excede el punto de ebullición del PCB que es aproximadamente 300°C.

Si esto sucede aunque sea por un tiempo corto (ejemplo un corto circuito), los vapores del PCB emitidos pueden contener furanos que son altamente tóxicos. Si el PCB entra en contacto con oxígeno, se produce fuego y adicionalmente se generan dioxinas y furanos.

Se debe proceder en un caso de incidente caliente como en un incidente frío, con la salvedad de primero eliminar la fuente de energía que hace que el incidente sea caliente y tomar las medidas de protección respiratoria por la generación de dioxinas y furanos que se podrían producir.

Incidente causado por un daño interno

Un corto circuito eléctrico (arco) constituye el peligro más importante. En un capacitor, un corto circuito aumenta la temperatura interna a varios miles de grados Celsius en fracciones de segundo.

Un daño de este tipo puede ocurrir en un capacitor. El calor causa un exceso de presión en el equipo y explota el capacitor. Como resultado de la explosión sale una masa viscosa negra. Esto es PCB que contiene carbón. Debido al aumento en la temperatura se forman gases de PCB, que están contaminados con furanos. Estos vapores depositan un aceite viscoso en las piezas internas de metal, en el piso y paredes, aun a una distancia del lugar donde se dio el incidente.

Adicional a las medidas de la sección de: Acciones de emergencia para incidentes fríos, se debe considerar lo siguiente:

- El equipo de protección personal debe incluir, sin excepción, protección respiratoria independiente con una máscara de cara completa. Cuando las labores de limpieza ya han avanzado y no hay PCB en el aire se puede utilizar una máscara con filtros para vapores orgánicos.
- Cierre el edificio de inmediato y pare toda circulación de aire cerrando/sellando las aberturas de ventilación si fuera posible.
- Evacue todas las personas de las habitaciones que podrían estar en riesgo.
- Las labores de descontaminación deben ser planificadas según el grado de contaminación y su eliminación sistemáticamente. Los procedimientos deben contemplar contención, recolección y disposición de las soluciones contaminadas y los residuos que se generan durante el incidente y la limpieza.

Algunos ejemplos de posibles incidentes calientes se ilustran a continuación en las fotos 28 y 29.



Foto 28. Un incidente caliente.



Foto 29. Un capacitor que explota.

La foto 29 ilustra la posición anterior a la explosión del capacitor dentro de una batería de capacitores. El aceite se salió en chorro y contaminó la pared detrás de los capacitores.

Incendios

Son muy poco comunes los incendios de transformadores o capacitores.

Durante un incendio, existe el peligro de la descomposición del PCB, donde se pueden formar dioxinas y furanos, los cuales son compuestos altamente tóxicos.



Foto 30. Incendio cercano a una subestación.



Foto 31. Restos de transformadores en un patio.

En caso de un incendio se deben tomar las siguientes medidas en el orden indicado:

- Llame de inmediato al Cuerpo de Bomberos y describa cuidadosamente la situación para que ellos puedan determinar el equipo adecuado que necesitan para las operaciones de combate del incendio. Si existen dudas si los equipos contienen o no PCB, deben de ser tratados como si tuviesen PCB hasta tanto no se pruebe lo contrario. El llamar a los bomberos de inmediato puede reducir mucho los efectos del incidente.

- Se debe informar al médico y al equipo de respuesta químico de la empresa. El equipo de protección personal recomendado en el capítulo 5.2 no es suficiente porque existe la posibilidad de que se formen y se emitan dioxinas y furanos. Por lo tanto, únicamente el equipo de respuesta químico de la empresa debe acercarse al lugar de peligro si fuera necesario.
- Desconecte la fuente de energía.
- Cierre y selle todos los cuartos o todo el edificio. Apague los sistemas de ventilación.
- Evacue la gente de los edificios involucrados y, los que podrían estar en la dirección del viento.
- Informe a las autoridades competentes. Todos los detalles del incidente deben ser reportados para que la población sea alertada y si es necesario evacuada.
- Delimite el área contaminada y controle estrictamente los accesos. Solamente el personal que tiene equipo de protección personal se le permitiría ingresar al área. Cuando se está delimitando se debe considerar la dirección del viento.

Una lista de chequeo para el Plan de respuestas de emergencia para incidentes calientes se encuentra Anexo 1.

Las instrucciones para el Cuerpo de Bomberos deben ser:

- Que utilicen dióxido de carbono (CO₂) para apagar el incendio.
- Si se utiliza agua, que sea únicamente para enfriar el ambiente.
- Si se utiliza agua no debe drenar al sistema de alcantarillado o a un cuerpo de agua abierto.

- Debe asegurarse que toda la piel está cubierta para prevenir la exposición al humo que contiene PCB.
- Ropa que ha tenido contacto con PCB o productos de descomposición (cenizas) debe ser considerado como desecho peligroso y dispuesto adecuadamente.
- Todos los bomberos deben ducharse completamente para remover cualquier ceniza que podría haber entrado en contacto con la piel.
- Si un bombero desarrolla un brote en la piel debe ser controlado por un médico de inmediato.

5.5.3 La evaluación después de un incidente

En caso de un incidente, el propietario/poseedor del equipo debe tratar de obtener la siguiente información de inmediato y escribirlo para facilitar una primera evaluación de la situación:

- ¿Los equipos de verdad contienen PCB?
- ¿Se conoce la concentración de PCB? (ejemplo de algún tipo de análisis anterior)
- ¿Cuál es la extensión de la contaminación del PCB o los PCDF/PCDD?
- ¿Existe algo de humo o depósitos de cenizas visibles?
- Las condiciones del clima. ¿Cuál es la dirección del viento, la fuerza del viento, hay lluvia?
- ¿Está afectado el sistema de alcantarillado o aguas subterráneas?

- ¿Cómo están los caminos de acceso usados para las operaciones de combate de incendio (contaminación cruzada)?
- Si el incidente ocurrió en un cuarto cerrado, debería ser reportado si la ventilación estaba prendida y cuándo se apagó la misma. También, los nombres de todas las personas que entraron en contacto con PCB o el humo deberán ser registrados (para atención médica si fuera necesario).

La evaluación de un incidente, que debe ser realizada por un experto, depende mucho de la calidad de la información/respuestas a las preguntas arriba indicadas.

Basados en la información recibida, los expertos pueden tomar muestras que se deben analizar para determinar la extensión de la contaminación.

Las actividades de limpieza solo se deben iniciar después de tener los resultados, con excepción de las acciones de inmediato, ejemplo, control de derrames de aceite (para prevenir la contaminación adicional de suelos, concretos y el aire).

La escogencia de los solventes más apropiados o agentes de limpieza se debe de realizar analizando cada caso particular. Se recomienda usar acetona grado técnico para la limpieza de cenizas, polvo o materiales similares. Los derrames se limpian mejor por medio de un agente biodegradable.

Al igual como se indicó previamente, en el momento del evento, los suelos o el concreto visiblemente contaminados deben ser removidos para evitar contaminación. La superficie de objetos (vehículos, aceras, edificios, etc.) debe ser limpiada primero con materiales que absorben aceite y después con un proceso de restriego con solvente o con un agente de limpieza biodegradable. Después de la limpieza, se deben realizar análisis a las superficies para verificar su limpieza.

Los derrames que caen a cuerpos de agua podrían presentar un problema serio de limpieza y requieren de una atención especial. Como los PCB puros son más densos que el agua, se van a sedimentar y será necesario el drenado del sedimento contaminado.

Disposición de desechos después de un incidente con PCB

La disposición adecuada de los desechos es una parte importante de las actividades de limpieza después de un incidente con PCB. Desafortunadamente, este aspecto se subestima durante la fase de planificación. No solo existe suelo contaminado o material del edificio contaminado, sino también hay desechos asociados tales como las bolsas de las aspiradoras, solventes, equipo de protección personal, material de limpieza, material sellante, etc., que debe ser dispuesto de una manera ambientalmente adecuada como desechos peligrosos en bolsas de polietileno grueso y colocarlos en tambores sin corrosión y en buenas condiciones. El tambor debe llevar una etiqueta de material peligroso según el Reglamento 27000 y una etiqueta con el peso y la descripción del contenido.

Contaminación aceptable después de las actividades de limpieza

Los valores guía para determinar los niveles aceptables de contaminación se incluyen en el Decreto No. 37847-S Reforma Reglamento sobre valores guía en suelos para descontaminación de sitios afectados por emergencias ambientales y derrames y el Decreto 37757-S Reglamento sobre Valores Guía en Suelos para descontaminación de Sitios Afectados por Emergencias Ambientales y Derrames.

6

Retirado de servicio de equipos contaminados con PCB

6.1 Pasos a seguir para el retiro de servicio de transformadores contaminados

Paso 1. Proceso de desconexión. Se debe seguir las reglas básicas de seguridad para trabajar con equipo eléctrico. Antes de comenzar cualquier actividad en el transformador se debe estar seguro que el interruptor de energía esté apagado para voltaje alto y bajo, que las líneas de entrada y salida estén con corto circuito, de manera segura y visible a tierra en el lugar de trabajo. Además, se debe asegurar que el acceso al transformador es posible sin ningún riesgo adicional.

Si el transformador no tiene daño, no tiene fugas y tiene una superficie limpia, y no se va a drenar en el sitio, entonces su remoción se puede hacer con overoles o delantal de trabajo.

Paso 2. Demarcación de área de trabajo. El área de trabajo debe estar demarcada con bandas plásticas de color rojo y blanco para evitar el acceso de personal no autorizado. Un extinguidor debe estar posicionado en un lugar visible, listo para ser usado en caso de un incendio.

Paso 3. Preparación. Se debe inspeccionar el equipo para evaluar el daño y la fuga, también para evitar la contaminación cruzada. En caso de una fuga, es importante sellar los puntos de origen de la fuga. Se debe remover toda la contaminación visible en las partes metálicas, ejemplo, con acetona grado técnico para permitir en adelante un manejo seguro del transformador.

Paso 4. Preparación para el drenado. Para evitar cualquier riesgo de derrame de líquido aislante con PCB durante la retirada de servicio y el transporte, se recomienda drenar el transformador en el mismo lugar. Este proceso se debe hacer con una buena planificación y la provisión de todo el equipo necesario, tales como; bombas, tambores, equipo de protección personal y herramientas.

Este procedimiento también tiene la ventaja de que reduce el peso total del transformador durante el transporte.

Antes de drenar el aceite se deben tomar precauciones en caso de un derrame tapando el piso con una o dos capas de plástico extra fuerte y bandejas de goteo debajo de algunas partes cruciales del equipo: la bomba de aceite, las uniones de las mangueras, etc. También se recomienda tener a mano materiales absorbentes como arena y aserrín o el kit para pequeños derrames descrito en la sección 5.5.1.

Paso 5. Drenado. Los líquidos con PCB deben ser transferidos por medio del bombeo para minimizar el derrame y el pringado. El drenado del transformador debe realizarse en un sistema cerrado utilizando un filtro de carbón activado en el venteo del tanque de almacenamiento del fluido “sucio”.

Debe utilizarse bombas de centrífuga con todas las superficies que se podrían mojar, hechas de acero inoxidable, el sello del pistón deberá ser una argolla de carbón externa para eliminar la exposición del material de empaque a los efectos de deterioro que produce el PCB. Las válvulas deben ser de cobre o acero inoxidable, las mangueras deben ser de metal flexible o cubiertas de tetrafluoretileno o polímeros de silicón. Deben usarse bandejas de goteo debajo de donde está la bomba, las válvulas y los acoples de las mangueras. Todo este equipo es para uso exclusivo de estas labores con aceites contaminados con PCB.

Debido a la viscosidad del líquido aislante con PCB puede que sea difícil abrir la llave de paso, esto se debe tomar en cuenta con anticipación para encontrar la mejor solución posible. Si no es posible abrir la llave de paso, se puede drenar el transformador vía la tapa de llenado de aceite o quitando uno de los aisladores.

Antes de que el transformador se drene totalmente se debe posi-

cionar en ángulo para que se logre bombear la mayor cantidad del líquido de enfriamiento posible. Se debe recordar que se quedará un 10% de aceite en el transformador después del drenado y luego de reposar entre 3 a 4 horas se debe volver a drenar y quedara de 3-7% de aceite. La llave de paso se debe cerrar después del drenado.



Foto 32. El drenado de un transformador con PCB.



Foto 33. Remoción de un transformador con PCB.

Todas las personas asignadas al manejo de equipo con PCB deberán ser capacitadas en los procedimientos a realizarse con respecto a las medidas de seguridad y las precauciones con el uso del equipo de seguridad.

Después de remover el transformador del lugar donde se encuentra, inspeccione visualmente el área y si es necesario descontamine el suelo, las paredes y cualquier cable que quede, antes de colocar el nuevo transformador.

6.2 Retirado de servicio de capacitores contaminados con PCB

La fase práctica de la eliminación de los capacitores inicia con el procedimiento de desconexión, que tiene que seguir las reglas de seguridad laborales para trabajar con equipo eléctrico.

Antes de empezar a trabajar con un capacitor o banco de capacitores, las siguientes operaciones deben ser realizadas:

- Asegurarse que el corto circuito o interruptor de poder y los aislantes eventuales de líneas para los capacitores afectados estén abiertos y marcados con un rótulo que diga "no conecte switch en adelante".
- Para el banco de capacitores de alto voltaje conecte barrillas de tierra para cada rack de circuito de tierra por medio de un entrelazado.
- La mayoría de los capacitores están equipados con resistores de descarga. Pero aún, las terminales de las carcasas de los capacitores tienen que ser acortadas antes de trabajar en ellos, porque se pueden dañar los circuitos de descarga.
- El área de trabajo debería estar delimitada por bandas plásticas color rojo y blanco para evitar un acceso no autorizado. Un extinguidor debe estar colocado en un lugar adecuado en el sitio, listo para usarse en caso de un incendio.
- Antes de la retirada de servicio se debe revisar primero si los capacitores tienen fuga o si están dañados. Si los capacitores tienen fuga, estas deben sellarse, por ejemplo con una pasta selladora. Las superficies del capacitor que estén contaminadas se deben limpiar con un trapo y acetona grado técnico. Si hay charcos de aceite dieléctrico con PCB deben recogerse con una bomba o por medio del uso de material absorbente. Todos los desechos que se generan deben ser recogidos y dispuestos como desechos peligrosos.
- Si el derrame está dentro del área donde los trabajadores deben entrar durante la retirada de servicio, el área debe ser cubierta de una carpeta de material absorbente para aceite para prevenir que la contaminación se extienda por medio de la suela de las botas de hule.



Foto 34. Retirada de servicio de banco de capacitores.



Foto 35. Capacitor inventariado y etiquetado.

- Si el desecho se va a enviar fuera del país, se debe utilizar un tambor aprobado por las Naciones Unidas. Si ese no es el caso, se puede utilizar un tambor en buenas condiciones sin ningún tipo de corrosión. Los tambores deben estar en buenas condiciones, ser revisados para que cumplan con no tener fugas ni corrosión.

Retirada de servicio ⁴

Durante la retirada de servicio, los bornes son las partes consideradas más débiles de los capacitores. Para los capacitores pesa-

dos, no se debe sujetar de los bornes mientras se movilizan, porque pueden estar flojos o se pueden quebrar causando un derrame de fluido contaminado con PCB.

A continuación, se presenta los requerimientos mínimos para una retirada de servicio adecuado:

1. El capacitor debe estar empacado de manera segura en una bolsa gruesa de polietileno dentro de un tambor de acero aprobado por las Naciones Unidas si se va a exportar para su eliminación, de lo contrario el tambor debe estar en buenas condiciones, que incluye no tener ningún tipo de corrosión, no tener huecos y contar con un sistema de tapa para su sellado.
2. Colocar luego el capacitor con los bornes hacia arriba dentro de un contenedor metálico con tapa, que asegure un cierre hermético. No se deben utilizar tambores de fibra de vidrio.
3. Se recomienda ponerlos en unas bandejas de metal con una capacidad de retener al menos el 125% del volumen de dieléctrico del capacitor. Si no están disponibles bandejas, poner el equipo encima de material absorbente para evitar derrames en caso de fuga.
4. Poner en una bolsa los implementos utilizados en la manipulación y los elementos de protección personal que hayan estado en contacto con el dieléctrico, en una bolsa. Cerrar y colocar dentro del contenedor.
5. Cerrar el contenedor herméticamente.

⁴ Guía para la Gestión de Transformadores y Capacitores con Bifenilos Policlorados (PCB) Proyecto PCB- Desarrollo de las capacidades para la gestión ambientalmente adecuada de Bifenilos Policlorados (PCB) en Uruguay, Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente (MVOTMA), Dirección Nacional de Medio Ambiente (DINAMA) FMAM, PNUD, Uruguay, 2013.



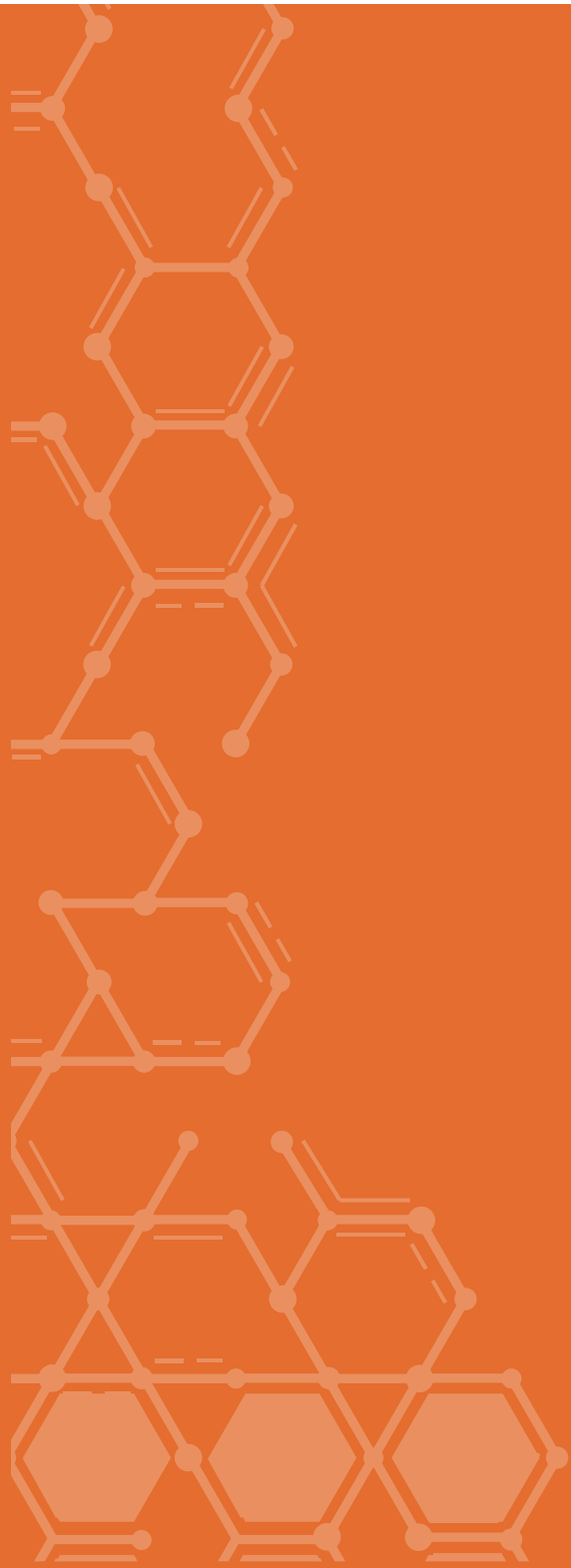
Foto 36. Ejemplo empaque y almacenamiento no apropiado.

6.3 Retirado de servicio de otros equipos

Otros equipos eléctricos, tales como recloser (interruptores o reconector) y reguladores casi siempre tienen pequeñas cantidades de aceite. Después del retiro de servicio de este tipo de equipos que contienen aceite, se debe revisar por medio de un kit con el método colorimétrico o el L2000DX, que utiliza un método electroquímico, si el líquido enfriador que contiene podría estar contaminado con PCB. Si el análisis muestra que tiene más de 50 mg/kg el equipo debe ser considerado como contaminado con PCB y dispuesto como un residuo peligroso.



Foto 37. Empaque de capacitores con fuga en tambores UN.



7

Empaque para uso nacional e internacional

7.1 Empaques para uso nacional

El decreto 37788-S-MINAE, “Reglamento General para la Clasificación y Manejo de Residuos Peligrosos”, reforma el Reglamento sobre las características y listado de los desechos peligrosos industriales y Reglamento para el Manejo de los Desechos Peligrosos Industriales, en su artículo 10- Del Transporte indica que la normativa que se debe utilizar para el transporte de desechos peligrosos en el país será lo indicado en el Decreto Ejecutivo No. 24715-MOPT-MEIC-S, “ Reglamento para el Transporte Terrestre de Productos Peligrosos”. Esto aplica para los transportes que se realicen en el territorio nacional. Es recomendable utilizar para transporte nacional de residuos de PCB, tambores metálicos o de plástico rígido en buenas condiciones y con una capacidad máxima de 55 galones o 400 kg de peso con la posibilidad de sellado.

7.2 Empaque para uso internacional

Si el equipo se va a enviar para eliminación o tratamiento en el extranjero el empaque de materiales peligrosos es regulado por varias normativas internacionales. Existe una regulación separada para el tema de transporte (carretera, tren o mar). Las instrucciones de empaque son muy similares entre sí. Las especificaciones de los diferentes tipos de empaque para material contaminado con PCB cumplen con el Acuerdo Europeo para el Transporte Internacional de Materiales Peligrosos por carretera, ADR.

Toda exportación de desechos peligrosos deben cumplir con el protocolo del Convenio de Basilea sobre el Control de los Movimientos Transfronterizos de los Desechos Peligrosos y su Eliminación y en concordancia con las regulaciones del Código Internacional Marítimo para materiales Peligrosos (IMDG por sus siglas en inglés) y Acuerdo Europeo para el Transporte Internacional de Materiales Peligrosos (ADR por sus siglas en inglés).

A continuación, se detalla los tipos de empaque y regulaciones según la normativa internacional indicada anteriormente.

Tabla 16. Tipos de empaques, usos y código UN

Tipo de empaque	Propósito	Código tipo de empaque
Boca pequeña tambor de metal	Líquidos	1A1
Boca grande tambor de metal	Sólidos	1A2

Debido a la facilidad del manejo, los tambores de boca grande se utilizan para los sólidos y los de boca pequeña para los líquidos, respectivamente.

- **Los códigos 1A1 y 1A2 describen el tipo de empaque:**
 - El primer numeral especifica el tipo de empaque (1=tambor)
 - La letra describe el material (A=metal)
 - El segundo numeral caracteriza la apertura del tambor (1=boca pequeña; 2=boca grande)

Los tambores aprobados por las Naciones Unidas están contruidos en chapa de acero BWG 18 y reforzados, además están tratados internamente con pintura epoxi, poliuretánica o galvanizados. Están identificados con marcas indelebles en los laterales y en la tapa.

El volumen máximo autorizado por ADR son 450 litros. Pero, los tambores con un volumen de 220 litros son más seguros y fáciles de trabajar y comúnmente usados. Además, el volumen de 220 litros es permitido para transporte marítimo, el límite de IMDG (Código Internacional Marítimo para Materiales Peligrosos - International Maritime Dangerous Goods) para PCB líquido es: 250 litros.



Foto 38. Tambor de boca abierta.



Foto 39. Marcado con aprobación UN.

Los tipos de empaques para almacenar PCB deben cumplir con los estándares de construcción y las pruebas de resistencia estipulados en las regulaciones de Naciones Unidas, se prueban la fuerza y el sellado.

Para el transporte de aceites y capacitores contaminados con PCB se deben utilizar tambores con la debida codificación de las Naciones Unidas en el empaque, lo que indica que el mismo es aprobado para este fin. Esta aprobación tiene una validez de 5 años después de la fecha de fabricación En la Tabla 17 , se ilustra un ejemplo de la codificación en un empaque.

La nomenclatura que se encuentra en los tambores, tales como: UN1A2 Y 400 S 03 CH2025 significa lo siguiente:

Tabla 17. Código para tambores aprobados por Naciones Unidas.

UN	Símbolo de las Naciones Unidas
1A2	Código para tipo de empaque
Y	Código de grupo de empaque
400	Para sólidos el máximo peso en kg.
S	Para sólidos: la letra S
03	Los últimos dos números corresponden al año de fabricación del tambor (ejemplo)
CH2025	Código de fabricante (ejemplo) y país de fabricación Suiza.

En el caso de PCB líquido, los tambores no deben de estar llenos al tope. Aproximadamente unos 5-7 cm o 10% del volumen debe estar libre para una posible expansión del PCB en caso de temperaturas altas. Se debe utilizar bombas para el llenado de los tambores: el traspasar de un tambor a otro no es una opción recomendable. Es importante que siempre se mantengan separados los desechos líquidos y sólidos.

7.3 Tipos de contenedores para transporte de PCB

Además de los tambores descritos anteriormente y que son los comúnmente utilizados, otros tipos de empaque también pueden ser

usados, siempre y cuando sean aprobados por las Naciones Unidas (NU) y que cumplan con las instrucciones del IMDG para el transporte de materiales. Los tambores de Naciones Unidas o contenedores solo deben ser obtenidos de fabricantes autorizados.

Tabla 18. Contenedores para empaque según residuo.

Empaque		
Tipo de residuo	Contenedor	Dimensiones
PCB líquidos	<ul style="list-style-type: none"> Tambores de metal aprobado por NU para líquidos. 1A1 Empaque grande IBC 31A, 31B, 31N contenedores de tanque. 	60 a 220 litros 500 a 1250 litros Varios tamaños
Capacitores con PCB	<ul style="list-style-type: none"> En el caso de capacitores pequeños se pueden usar tambores de metal aprobados por NU para sólidos 1A2. 	Usualmente 220 litros
Transformadores con PCB (solo drenados) y capacitores grandes.	<ul style="list-style-type: none"> Bandejas de metal de contención que tenga soldadura continua en su construcción y material de absorción. Contenedores tipo caja con bandeja. 	Altura sobre 800 mm Varios
Residuos sólidos con PCB	<ul style="list-style-type: none"> Tambores de metal aprobados por NU para sólidos 1A2. 	Usualmente 220 litros
Empaque dañado (ej. Tambores de metal de 220 litros)	<ul style="list-style-type: none"> Tambores de recuperación Varios tipos 	Tambores de recuperación Varios tipos: 307 litros, 427 litros



Foto 40. Tambores de metal aprobados por Naciones Unidas.

Los tambores de metal aprobados por Naciones Unidas (NU) tienen una marca en el metal para demostrar que han sido probados.

También, se puede usar contenedores a granel para almacenamiento y transporte de sólidos contaminados con PCB siempre y cuando estén conformes a los estándares de Naciones Unidas. Una placa de aprobación NU se encuentra en el contenedor.



Foto 41. Sólidos ICB (tanque de líquido a granel) aprobado UN.



Foto 42. IBC (tanque de líquido a granel) aprobado por NU.



Foto 43. Contenedor líquidos tanque 20 pies.

Por razones de seguridad y manejo, los desechos de PCB deben estar empacados en tambores de metal aprobados por NU.

Tambores dañados o con fuga deben de estar empacados y transportados en tambores de recuperación como se muestran en las Fotos 44-46. Se deben tomar las medidas necesarias para evitar el movimiento del tambor de adentro.

Si el tambor de recuperación tiene PCB líquido, una cantidad suficiente de material de absorción de ser agregado al tambor para que absorba el líquido que posiblemente este saliendo del tambor de adentro.



Foto 44. Tambor de recuperación I.



Foto 45. Tambor de recuperación II.



Foto 46. Tambor de recuperación de plástico.

7.4 Etiquetado en el empaque para el transporte (uso nacional e internacional)

Las etiquetas identifican los peligros de los materiales empacados y tiene el objetivo de atraer la atención de la persona que va a manejar los materiales para que tome las precauciones del caso.

La Guía de Respuesta en caso de Emergencias (GRE)⁵ define la identificación de materiales peligrosos o artículos. Estos números de identificación asignados usualmente se refieren al número NU.

Tabla 19. Números del Código Naciones Unidas (NU) para PCB.

UN 2315	Bifenilos policlorados, líquidos
UN 3151	Bifenilos polihalogenados, líquido o Terfenilos Polihalogeneados líquido
UN 3152	Bifenilos polihalogenados, sólidos o Terfenilos Polihalogeneados sólidos
UN 3432	Bifenilos policlorados, sólidos

7.4.1. Etiquetas para almacenamiento y transporte terrestre

Si el residuo se transporta por carretera de acuerdo con las disposiciones de ADR, cada empaque debe tener claramente marcado el número NU de los materiales que contiene, las letras UN vienen de primero. Una etiqueta clase 9 (mostrada en la Foto 48) se debe adjuntar a cada paquete.

⁵ <http://www.tc.gc.ca/media/documents/canutec-eng/GRE2012.pdf>



Foto 47. Etiqueta de PCB líquido.



Foto 48. Etiqueta de PCB sólido.

7.4.2. Etiquetas para almacenamiento y transporte marítimo

La identificación de contenedores para transporte marítimo es diferente. El Código Marítimo Internacional para Materiales Peligrosos (IMDG por sus siglas en inglés) aplica para estos envíos.

Adicional al número Naciones Unidas (NU), debe incluirse el nombre correcto de envío (PCB) y alguna indicación de la condición del contenido (sólido o líquido). La etiqueta clase 9, así como la de contaminante marino debe estar en los contenedores. Desde el 2009 una etiqueta de contaminante marino nueva se está utilizando que demuestra un árbol y un pez muerto.

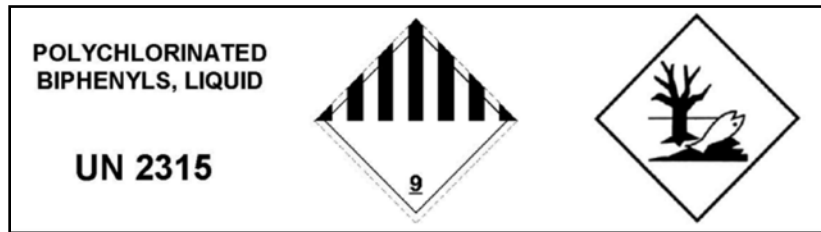


Foto 49. Etiquetado para PCB líquido según IMDG.

El tambor de aceite o transformador contaminado debe llevar además de las etiquetas anteriores la siguiente etiqueta que contiene información sobre el contenido, igual a la indicada en la sección 2.7.6.

Descripción del residuo		Nº de Serie	
NOMBRE DEL RESIDUO	Aceite dieléctrico, equipo y materiales contaminados con Bifenilos Policlorados (PCB s).	Nº de Equipo	
GENERADOR:	Compañía Nacional de Fuerza y Luz (CNFL)	Código Peligrosidad según NU	
CODIGO SIMARDE:	S-0206; L-039	930 2315	
GRUPO REACTIVO:	6	Clasificación Peligrosidad según NU	Clasificación según Unión Europea
GRUPO DE EMBALAJE:	I Sustancias muy peligrosas.		
FECHA:		Clase 9: Peligroso para el medio ambiente	Producto nocivo, Peligroso para el medio ambiente
COMPOSICIÓN FÍSICO QUÍMICA	Aceite: Líquido, aceite dieléctrico contaminado con PCB s. Equipo, materiales: Sólido, metales		
PESO TOTAL (kg):		Etiqueta dieléctrica es un líquido combustible	
VOLUMEN ACEITE (L):		Valoración de riesgos según NFPA 704	
CONC. PCB s (ppm):			Reactividad: 0 Riesgos específicos: Ninguno
EMERGENCIA:	9-1-1; 2295-1512		
FUGA O DERRAME:	No tocar ni caminar sobre el producto derramado. Detener la fuga si es posible. Recuperar la mayor cantidad de producto; absorber por completo residuos con material absorbente (arena, tapetes) y depositarlo en contenedor adecuado, cerrado y etiquetado.		
FUEGO:	Extintor de polvo químico seco ó CO ₂ ; evitar el uso de agua, si se utiliza se debe contener el líquido residual y disponerlo en contenedores cerrados.		
Equipo de protección personal:	Observaciones: Equipo completo incluye: - Traje protector completo TYVEK® Saranex. - Guantes de nitrilo. - Respirador de doble filtro con cartuchos para vapores orgánicos y gases de protección o respirador "fullface". - Botas resistentes a productos químicos.		

Foto 50. Etiqueta Información de residuo

7.5 Manejo de residuo empacado

Es muy importante conocer el peso de los tambores empacados. Si fuera posible, una romana portátil puede ser utilizada. Esto permite una planificación más efectiva del transporte del residuo. La siguiente información debe ser indicada también de manera clara en la tapa del tambor:

- Contenido
- Nombre del lugar de donde vienen los desechos
- Fecha
- Peso



Foto 51. Movilización de tambores con carretilla.



Foto 52. Marcando los tambores.

Los tambores con tapa abierta deben estar asegurados con calzas. Los tambores llenos deben ser transportados con una carretilla. Si se usa una grúa, existen agarradores especiales para su manejo.

8

Almacenamiento temporal



8.1 Almacenamiento temporal en el sitio

Los desechos que contienen PCB no deben estar almacenados en sitios que no están diseñados para almacenamiento temporal. Sitios no controlados y sin criterios tales como los presentados en las de las Fotos (53 y 54) pueden causar más peligro a la población y el ambiente, resultando en costos adicionales innecesarios.

Los desechos peligrosos, según la legislación, deben ser tratados o dispuestos en un periodo no superior a 1 año de su almacenamiento, Decreto 27000-MINAE, "Reglamento sobre las características y listado de los desechos industriales peligrosos", y el Decreto 27001-MINAE, "Reglamento para el manejo de los desechos peligrosos industriales".

Los equipos contaminados con PCB, en cuanto hayan sido sacados de uso, deben ser almacenados de manera segura y en cumplimiento con la regulación nacional para residuos peligrosos, aunque su disposición final sea en un momento posterior.

Cuando se está preparando un almacenamiento temporal para desechos de PCB es importante seleccionar un lugar adecuado. Lugares cercanos a ríos, aguas subterráneas, áreas residenciales, fincas y reservas ecológicas, fábricas procesadoras de alimentos, no pueden, definitivamente, ser consideradas aceptables. Si fuera posible, el almacenamiento temporal debe estar específicamente diseñado para equipo contaminado con PCB y sus desechos. Es conveniente no ubicar equipos contaminados con PCB con equipos que están libres de PCB.

No se debe almacenar equipos dañados a la interperie.



Foto 53. Ejemplo de un almacenamiento incorrecto (al aire libre).



Foto 54. Ejemplo almacenamiento incorrecto (no tiene bandejas de goteo).

8.1.1 Requisitos mínimos para el almacenamiento temporal de equipo, aceite y residuos contaminados con PCB

Empaque de capacitores y transformadores

- Los equipos contaminados siempre tienen que estar colocados en posición vertical. Los aisladores son la parte más débil. Nunca levante un equipo sosteniendo un aislador porque se pueden quebrar fácilmente.
- Los equipos deben almacenarse encima de bandejas para contención de goteo y los dispositivos que estén fugando deben sellarse. Se aconseja que se agregue material absorbente en la bandeja de metal.
- Se pueden poner los capacitores pequeños y sólidos contaminados en contenedores que no estén aprobados por las Naciones Unidas (NU). Pero estos contenedores deben ser revisados para estar seguro que no estén dañados y con fugas antes de usarlos y no se deben usar para transportar el equipo internacionalmente. Como medida de contención se deben utilizar bolsas de polietileno gruesas para colocar los capacitores pequeños o residuos dentro del tambor. Después de su uso, los contenedores quedan contaminados y deben ser dispuestos como desechos peligrosos.

Edificio

- El piso del almacenamiento temporal debe ser sólido y compacto. El piso debe ser de concreto con resistencia y espesor adecuados a los equipos que debe almacenar, teniendo un mínimo de 5 cm de espesor. La capa superior tendrá terminación lisa (no resbaladiza) e impermeable con una pendiente de al menos 1% para facilitar su limpieza. En caso de que las dimensiones del piso requieran el uso de juntas constructivas y/o dilatación, estas deberán impedir que cualquier líquido o derrame llegue

al suelo subyacente. El perímetro del piso interior debe ser tal que evite el ingreso de escurrimiento.

- Proveer al menos la siguiente contención secundaria:
 1. Cuando el sistema esté destinado a contener solo una pieza (tambor o equipo) deberá asegurar un 125% del volumen de los líquidos almacenados.
 2. Cuando esté destinado a almacenar varias piezas (tambores, equipos, bidones entre otros) deberá asegurar un 25% del volumen de los líquidos que se prevee almacenar.
- El sistema de contención secundaria deberá estar aislado, no admitiéndose la conexión con sistemas pluviales, alcatarillados o cuerpos de agua.
- El lugar debe tener paredes y techo, estar protegido de las condiciones atmosféricas por todos los costados.
- Todo ingreso al almacén debe tener una etiqueta con las precauciones apropiadas y el acceso de personas no autorizadas no debe ser permitido.
- El área debe tener una cerca y estar controlado el acceso.
- Los procedimientos de emergencia y buenas prácticas de trabajo deben estar ilustrados.
- El edificio debe tener entradas para una ventilación permanente (sistemas de ventilación con filtros) o natural, lo que sea más adecuado.
- Se debe tomar medidas para prevenir el riesgo de incendio. Por ejemplo, las bodegas no deben estar construidas de madera, tampoco deben estar cerca líquidos inflamables almacenados. Se debe instalar un sistema de alarma de humo e incendio.

- Extinguidores de incendios (polvo) y material absorbente que se vende comercialmente o algunos que se encuentran en almacenes locales tales como aserrín, arena, deben estar disponibles y de fácil acceso.
- El edificio debe tener separaciones en diferentes áreas (recepción, manejo, diferentes almacenamientos para los diferentes tipos de desechos, equipo, etc.).
- Ningún tipo de alimento se debe almacenar ni tampoco deben existir fábricas procesadoras de alimentos cercanas.

Control

- El Cuerpo de Bomberos más cercano debe estar informado del almacenamiento, el tipo y cantidad de materiales/desechos,

para en caso de un incendio estar alertados del tipo de desechos peligrosos que existen.

- Dependiendo del tamaño del almacén, el tipo y la condición de los materiales/desechos almacenados diaria, semanal o mensualmente se deben de hacer inspecciones visuales según lo indicado en el apartado de mantenimiento 4.2.

El almacenamiento temporal NO se puede considerar una solución a largo plazo.

El siguiente diagrama ilustra una propuesta de almacén para equipos y residuos contaminados con PCB. Es importante tener entradas y salidas de aire para permitir una adecuada ventilación del área. Los tambores de aceite deben estar ubicados en tarimas para su manejo y movilización. La leyenda a continuación indica lo que son los elementos del almacenamiento.

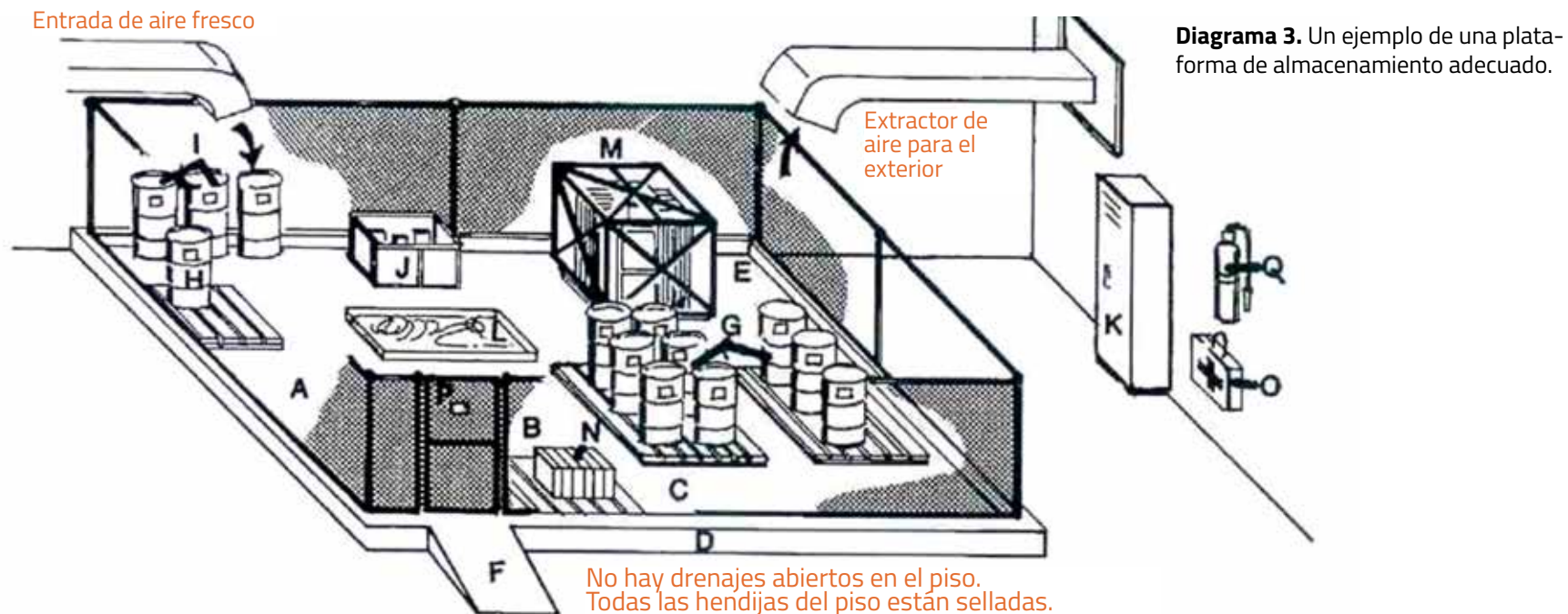


Diagrama 3. Un ejemplo de una plataforma de almacenamiento adecuado.

Leyenda

- A. Cerca de seguridad.
- B. Puerta de seguridad.
- C. Piso de concreto (sin drenajes).
Todas las grietas y juntas de expansion deben de estar selladas con pintura epóxica para sellar.
- D. Un resguardo de cemento alrededor del perímetro del área de almacenamiento; la parte de adentro del resguardo pintado con epoxy.
- E. Sellador en la esquina del resguardo para evitar fugas por debajo del resguardo.
- F. Rampa sobre el resguardo de cemento hacia área de almacenamiento.
- G. Tambores con desechos de PCB almacenados en paletas para su movilidad.
- H. Tambor de recuperación.
- I. Un tambor de repuesto.
- J. Materiales de limpieza y almacenados en un recipiente.
- K. Casillero para el equipo de protección personal (EPP) para cuando trabajan con PCB.
- L. Bombas y mangueras para uso con PCB en una bandeja de goteo.
- M. Transformador en piezas en una caja protegido.
- N. Capacitores en paletas para empaçar.
- O. Kit de primeros auxilios.
- P. Etiqueta de PCB en la puerta.
- Q. Extinguidor de incendio de polvo o espuma.

Si no existe una plataforma como la ilustrada anteriormente ni otro posible edificio para almacén temporal, se podría usar un tipo de almacenamiento temporal para uso durante un tiempo corto. Dependiendo de la cantidad estimada de desecho que se genere, pueden ser usados unos contenedores de 20' o 40' con bandejas de goteo integradas como medida precautoria. Se debe recordar que los contenedores de este tipo no tienen piso de metal sino de madera.



Foto 55. Contenedor de 20' con una bandeja de goteo.



Foto 56. Almacén temporal en contenedores.

8.2 Almacenamiento Centralizado- Centro de Transferencia

Un almacén centralizado o centro de transferencia es una área especial para almacenar los equipos con PCB y los desechos asociados hasta su disposición final.

El equipo contaminado con PCB y los desechos deben ser almacenados según su categoría o prioridad. Se debe definir las áreas apropiadas para cada tipo/categoría de desechos de PCB.

El sitio a seleccionar debe ser monitoreado con respecto a posibles aguas subterráneas y su nivel, si existe contaminación del suelo así como la permeabilidad del subsuelo. El sitio debe ser localizado a más de 100 metros de los siguientes sitios:

- Cuerpos de agua
- Plantas de tratamiento de agua potable
- Tomas de aguas subterráneas (pozos)
- Plantas de procesamiento de alimentos
- Centros de enseñanza
- Hospitales
- Centros Comerciales
- Depósitos de materiales combustibles

La selección del sitio debe definirse tomando en cuenta los siguientes criterios:

- El edificio almacén debe estar localizado y mantenido en condiciones que minimizan la volatilización, incluyendo temperaturas fresca, techos reflectados y la ubicación de sombra entre otros.
- El edificio no podrá limitar con dormitorios o espacios destinados a la permanencia de seres humanos o animales.

- El terreno que lo rodea debe tener una pendiente para que las aguas pluviales drenen hacia afuera del sitio y no hacia el área donde está localizado el edificio.
- El recinto deberá estar emplazado en terrenos no inundables
- El área debe de estar cercada y el acceso controlado.
- Todos los accesos a la plataforma de almacenamiento deben estar etiquetados con las precauciones adecuadas.
- Un sistema de control de acceso debe de instalarse para garantizar que solamente personal autorizado entre.

Preparación del área donde se ubica el edificio

El suelo debe estar sellado con un material adecuado, considerando los PCB, los solventes y químicos asociados a su manejo y al tratamiento de equipo y aceite contaminado. El área sellada debe tener salidas de agua con alcantarillado especial con capacidad para retener aceites y otros orgánicos insolubles.

Logística

- El edificio debe tener accesos para montacargas y camiones.
- Debería haber suficiente campo para que cualquier camión o grúa pueda moverse en frente del edificio. El área central de recepción donde se cargan y descargan los equipos, aceites y desechos contaminados con PCB que se bajan de vehículos de transporte, debe tener un piso impermeable y un sistema de contención para controlar derrames en el momento de la carga o descarga.

Manejo de ingreso de materiales

- Todos los desechos que entren serán examinados y revisados en lo siguiente:
 - Información interna y el peso.
 - Bitácora de transporte, muestreos y revisión visual de los equipos o contenedores de los desechos.
 - Si es necesario, realizar un análisis de una muestra del aceite.
 - El almacenamiento en el lugar adecuado según su categoría y con el correspondiente etiquetado.
- Todo equipo y contenedor con aceite de transformador, que está en el área de almacenamiento, debe ser analizado (para PCB) y etiquetado según su contaminación.

Capacidad

- El almacenamiento temporal podría ser para unos 25 transformadores de potencia/generación y para más si son de distribución por ser más pequeños y unas 150 toneladas de aceite con PCB, pero el tamaño será determinado según las necesidades en cada caso.

Bases del edificio

- El edificio del almacén debe tener unas bases que permitan sostener un techo que soporte grúas aéreas para el manejo de los transformadores.
- Todas las estructuras arriba del nivel del piso deben estar pintadas y selladas como el piso.

Piso

- El perfil del suelo debe tener una forma tal que permita el escurrimiento de derrames de aceites durante el manejo de transformadores o el agua/material contra incendio durante un incendio hacia un receptor de control derrames.
- Todos los pisos dentro del edificio deben ser de tipo industrial (ej. metal o concreto) y sellado con un sellador resistente al PCB tales como una pintura epoxi de dos componentes.
- Se recomienda revisar el sellador periódicamente para garantizar su integridad
- El edificio debe ser de hormigón con resistencia y espesor adecuados con un mínimo de 5 cm de espesor.
- El piso debe ser compacto y sólido, todas las grietas y juntas de expansión deben ser selladas.
- Los drenajes de piso deben reducirse al mínimo y deben de estar conectados a un sumidero interno.

Borde de caño

- El área de almacenamiento de transformadores dentro del almacén temporal deberá tener un borde de caño de al menos 15 cm, el cual tiene una capacidad de contención equivalente a dos veces el volumen interno del equipo más grande con PCB.
- Un borde de caño debe estar construido alrededor del perímetro del área de almacenamiento con la parte interna pintada con epoxi. Se debe colocar un compuesto sellador en la esquina del borde del caño para prevenir una fuga por debajo del borde del caño.

- El edificio no debe tener aberturas, juntas de expansión o drenajes que pueda permitir el flujo de líquidos fuera del área de caño.
- Una rampa por encima del borde del caño permitirá el acceso con un montacargas hacia adentro del almacén y del área de manejo.

Paredes, puertas y ventanas

- Las paredes del edificio del almacén deben ser construidas con material resistente al fuego. Las puertas y ventanas serán según los requerimientos del usuario, su logística y el proceso de tratamiento.
- Las puertas tienen que abrir hacia afuera. El ancho mínimo para cualquier puerta es de 80 cm.
- Las ventanas tienen que estar planeadas y construidas de tal manera que están de cara a cada una.
- Deberá contar con por lo menos dos accesos, uno a cada extremo del edificio, para facilitar la entrada y salida en caso de emergencias.

Techo

- Para prevenir que dentro del edificio se alcancen temperaturas altas (presión de vapor del PCB) el techo debe ser refractivo.
- Los techos del edificio debe tener una pendiente para que drene hacia afuera del sitio.

La distribución del edificio

El edificio será dividido en diferentes áreas:

- Área de recepción
- Área de manejo
- Área de tratamiento
- Áreas separadas de almacenamiento para cada tipo de desecho de PCB
 - Transformadores con PCB
 - Capacitores con PCB
 - Tambores con aceite con PCB
 - Desechos sólidos con PCB
- Área de equipo
- Oficina
- Instalaciones sanitarias

Debería haber una área relativamente grande para trabajar, donde los transformadores puedan ser drenados, manejados y empacados. El piso de esta área debería preferiblemente estar cubierto de metal (como una bandeja de goteo) y absolutamente compacto o con un epoxi resistente a PCB.

Debido a la posibilidad de incendios es necesario tener equipo para protección y combate de incendios.

Los desechos de PCB deben ser empacados para asegurar que no exista una potencial fuga o derrame (ejemplo en tambores aprobados por NU). Los tambores deben estar claramente etiquetados y marcados con la fecha en que entraron al almacén. Los tambores y contenedores portátiles con PCB y equipo contaminado con PCB deberían estar colocados en paletas para la facilidad de su movimiento.

Se debe dejar suficiente espacio entre los contenedores y equipos para permitir hacer inspecciones y que el personal se pueda mover sin problemas por entre ellos con montacargas. Los tambores o con-

tenedores que contienen PCB líquidos deben estar separados entre ellos por paletas y no apilados más allá de dos contenedores de alto.

Ventilación

- Se debe instalar un sistema de ventilación en toda el área del almacén para evitar concentraciones altas de PCB y otros tipos de COP, que puedan estar presentes en la atmósfera.
- El aire debe ser limpiado con filtros de carbón activado. Si fuera necesario, la ventilación debe ser apoyada con un ventilador de flujo de aire. Una entrada de aire fresco debe ser instalada de acuerdo con las especificaciones del ventilador. Se recomienda de dos a seis veces el volumen de aire que se intercambia durante una operacional normal con la posibilidad de aumentar el volumen a diez a doce veces en caso de una alarma de alta concentración de gases.

Alarma de incendio/protección contra incendios

- Debido a los peligros extremos a la salud y el ambiente en caso de un incendio en el edificio del almacén, es muy importante que se tenga un sistema de alarma de humo y de incendio que cubra la totalidad de la instalación.
- La detección, alarma y el sistema de combate de incendios deben cumplir con todas las regulaciones nacionales en este tema.
- El edificio debe tener un sistema de supresión de incendios, preferiblemente que no sea de agua. Si el supresor de incendios es de agua el piso del almacén de tener una cuña de caño y debe contar con un sistema de drenaje del piso que se dirija a un sumidero o sistema de recolección.
- Los extinguidores de fuego (polvo) y absorbentes (ejemplo, aserrín) deben estar disponibles y de fácil acceso.

- Se debe instalar un sistema de protección de rayos en todo el edificio del almacén temporal.

Instalaciones eléctricas

- Todas las instalaciones eléctricas deben de estar instaladas al menos a 1.2 metros por encima del nivel del suelo para asegurarse de cierta protección contra los riesgos de explosión.

Instalaciones de control de aguas residuales

- Los sumideros dentro del área protegida deben de tener una alarma de nivel alto y más alto.
- Las aguas residuales y canales deben de estar contra fuga y de fácil acceso para los propósitos de limpieza.

Tuberías

- Cualquier tubería que se instale en el almacén temporal debe estar por encima del suelo.

Equipo de emergencia

- Todos los equipos de emergencia para apagar de forma segura la planta y todo el equipo necesario para una evacuación segura y controlada del almacén de seguridad en caso de incendio, debe estar disponible y de fácil acceso.

Plan de respuesta a emergencias

- Los procedimientos de emergencia y las mejores prácticas de trabajo deben estar ilustradas en láminas en las paredes.

Plan de salud y seguridad

- Un plan de salud y seguridad debe estar ilustrado.

Plan de control de prevención de derrames y de contramedidas

- El sitio debe ser inspeccionado mensualmente para control de fugas, degradación de los materiales de los contenedores, los pisos, los drenajes, el sistema de drenaje, equipo de protección personal, integridad de las alarmas de incendio y del sistema de supresión de un incendio, vandalismo, cercas de seguridad y el estatus general del sitio.

Inventario

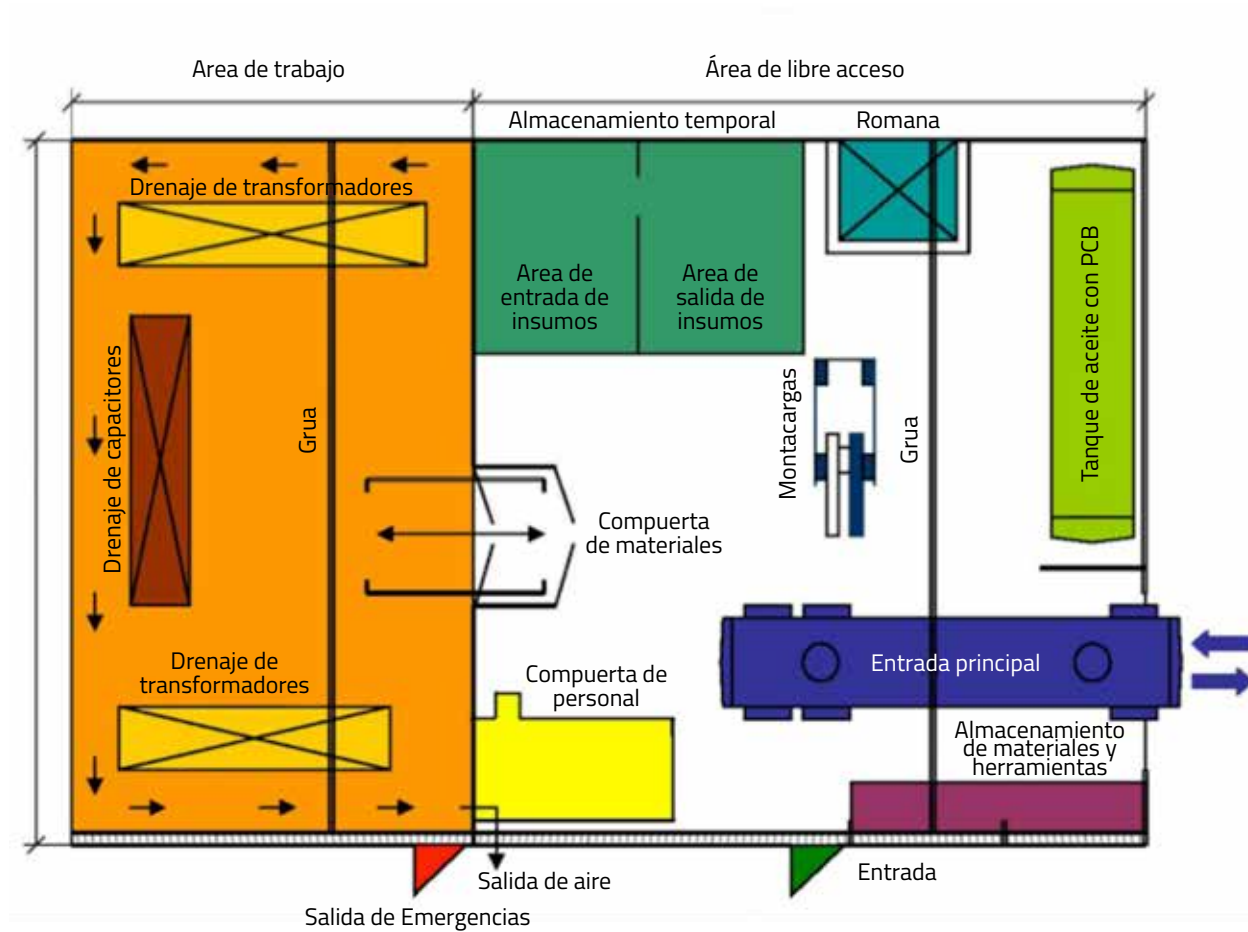
Debe desarrollarse y mantener actualizada una base de datos completa de los desechos de PCB, así como de otros equipos y químicos, que se encuentran en el sitio de almacenamiento porque los desechos entran y salen cuando se dispone de ellos. Los archivos deben contener la siguiente información:

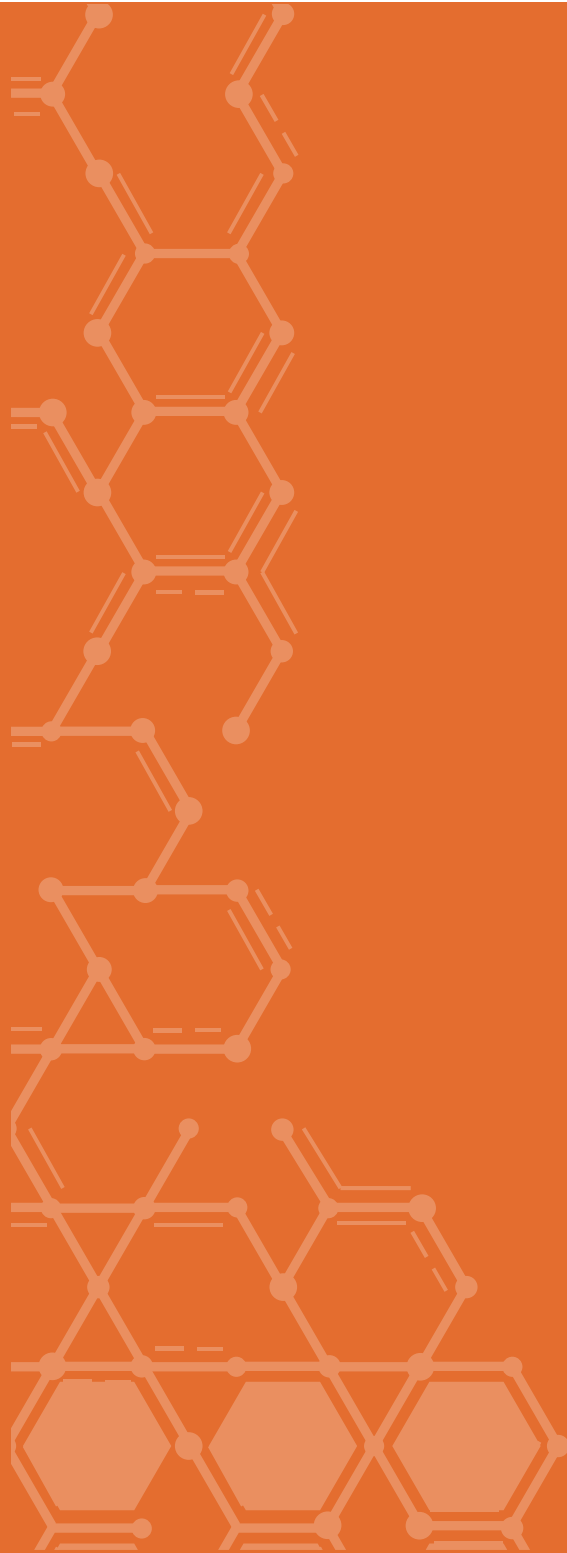
- Un inventario de cada ítem de desecho de PCB y la cantidad de PCB que contiene
- La fecha y el lugar de donde viene el desecho de PCB y la fecha y el destino adónde va el desecho que sale del almacén.
- Una descripción del desecho de PCB incluyendo la cantidad y la concentración de PCB, la información de la placa cuando está disponible.
- Número de identificación del desecho de PCB.
- Nombre del transportista del desecho de PCB.
- Nombre del que recibe el desecho de PCB.

- Fecha y cantidad de PCB que se ha derramado debido a una fuga o accidente y los procedimientos de limpieza que se emplearon.

El personal que trabaja en el almacén temporal debe entender claramente los procedimientos para la gestión de los desechos de PCB incluyendo el uso del equipo de protección personal y técnicas de limpieza.

Diagrama 4. Ejemplo de una plataforma de almacenamiento adecuado.





9

Tratamiento y disposición final

9.1 Generalidades

Existen varias tecnologías de tratamiento y recuperación de los componentes de los transformadores. Se deben diferenciar las tecnologías que solo separan y/o concentran a un contaminante (ejemplo, extracción de solventes, desorción térmica) y aquellos que destruyen el contaminante (ejemplo, incineración, decloración o biodegradación). También, existen tecnologías que solo inmovilizan los contaminantes (ejemplo, sistemas de relleno sanitario, estabilización y vitrificación).

La incineración es la tecnología más utilizada para la destrucción de PCB como solución final. Debido a que en Costa Rica no existe esta alternativa, el costo de exportación para incineración es un factor que limita su uso.

Por otro lado, se presenta las tecnologías que permiten la destrucción del PCB de los aceites y su recuperación y reutilización. Sin embargo, se debe considerar que las partes internas de los transformadores y capacitores quedan impregnadas de aceite con PCB por tratarse de materiales porosos.

En la sección 9.4 se describen las tecnologías más comunes de destrucción de PCB en aceites.

Para el caso de las técnicas para la descontaminación de transformadores, estas se agrupan en dos categorías principales:

- 1) Drenaje de aceite con PCB del equipo, descontaminación del aceite y retrolenado con producto descontaminado para la reutilización del transformador.
- 2) Drenaje de aceite con PCB, lavado del transformador con solvente y calor, la retirada de servicio del transformador y descontaminación de las piezas de manera que puedan reciclarse las partes metálicas.

En el primer procedimiento, las partes internas del transformador que contenía aceite contaminado tienen impregnado el PCB, por lo que debería medirse la concentración de PCB en el aceite a los tres y seis meses de estar en funcionamiento. Esto tiene el propósito de asegurar que el aceite mantiene niveles de PCB aceptable pese al contacto del aceite con el núcleo del equipo contaminado.

Algunos de estos procesos se describe con más detalle en la sección 9.5.

9.2 Consideraciones para seleccionar tecnologías para tratamiento y disposición final

Para seleccionar la mejor tecnología de tratamiento y disposición final es necesario considerar varios criterios calificativos y otros no calificativos. Entre los no-calificativos se deben considerar la aceptación del público, riesgos e impactos ambientales, que a menudo dependen del sitio geográfico. Los criterios calificativos incluyen la aplicabilidad del método, eficiencia de destrucción, costo general, recursos, concentraciones mínimas obtenidas, tiempo de limpieza, confiabilidad, mantenimiento, costo post tratamiento, gestión de los residuos y la posibilidad de que el suelo se pueda usar después del tratamiento.

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

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

Comúnmente, se utiliza otro criterio de valoración llamado Eficiencia de Remoción y Destrucción (ERD) de tecnologías basadas en la combustión. Esta eficiencia se define con respecto al porcentaje del peso total del contaminante en la corriente de ingreso, de la diferencia entre el peso total de contaminantes en la corriente de ingreso y en las emisiones gaseosas. Para el caso de PCB sería:

$$ERD = (\text{PCB ingreso} - \text{PCB egreso en las emisiones gaseosas}) / \text{PCB ingreso}$$

La ERD no refleja la capacidad de destrucción de una tecnología dado que solamente toma en cuenta la salida en boca de chimenea. Durante la selección se debe considerar que el manejo de la carga de inicio a fin sea un proceso seguro, directo y controlado. El equipo y los controles deben ser sencillos y robustos y que preferiblemente utilice recursos locales. El procedimiento de operación debe ser extremadamente básico y virtualmente a prueba de fallos.

9.3 Legislación aplicable

Cualquier tecnología que se escoja para tratar los PCB, debe ser realizada por una empresa que esté aprobada para esta tarea por las autoridades competentes. Para el caso de exportaciones de PCB para su destrucción, la selección de la tecnología, debe ser aprobada por la autoridad competente del Ministerio de Salud siguiendo las disposiciones del Convenio de Basilea sobre el Control de los Movimientos Transfronterizos de los Desechos Peligrosos y su Eliminación.

Según lo estipulado en los Decreto 27000-MINAE, "Reglamento sobre las características y listado de los desechos industriales peligrosos", y el Decreto 27001-MINAE, "Reglamento para el manejo de los desechos peligrosos industriales", los desechos de PCB deben ser tratados o dispuestos en un periodo no superior a 1 año de su almacenamiento.

El desecho de PCB se debe tratar:

- De acuerdo con la aprobación del proceso por parte de las autoridades de ambiente y salud.
- Por métodos que únicamente generen residuos del tratamiento que puedan ser tratados o dispuestos por métodos aprobados.
- Por medio de tecnologías aprobadas y con viabilidad ambiental según las autoridades de ambiente y el permiso sanitario de funcionamiento del Ministerio de Salud, y que minimizan las emisiones de desechos al ambiente; y
- Sin dilución intencional o desegregación solamente para resultar en desechos de PCB con contaminación más baja.

En el caso de requerir la viabilidad ambiental deben especificarse las medidas de control y monitoreo de las emisiones al agua, aire o suelo, así como las acciones a ejecutar en caso de una emisión accidental. Los niveles de emisiones al agua, aire o suelo deben estar en cumplimiento con la normativa nacional existente.

Adicionalmente, se debe realizar un análisis de riesgo para confirmar que el riesgo asociado con la operación normal está controlado o mitigado.

El transporte de PCB y equipos contaminados con PCB hacia las empresas que hacen la descontaminación deberá hacerse cumpliendo con toda la normativa de transporte de materiales peligrosos existente en el país, incluyendo bitácoras de seguimiento de la carga. En el caso de una exportación debe cumplirse con la notificación de movimiento transfronterizo que el Convenio de Basilea requiere.

9.4 Descripción de tecnologías de destrucción de PCB

9.4.1. Incineración a Alta Temperatura

En el mundo existen más de 50 instalaciones para destrucción de este tipo de residuo y más de la mitad se encuentran en Europa. Las condiciones de combustión son cuidadosamente monitoreadas para asegurar la destrucción total (99.9999%) de estos compuestos minimizando la generación de dioxinas y furanos.

La química de la incineración es controlada por medio de la oxidación a altas temperaturas de los compuestos orgánicos principalmente para producir dióxido de carbono y agua. Sustancias inorgánicas tales como sales, ácidos y compuestos metálicos pueden también ser producidos como resultado de estos lavados. Procesos de incineración para la gestión de desechos peligrosos son muy complejos

y requieren de un control cinético de las reacciones químicas bajo unas condiciones muy controladas.

Los incineradores de desechos peligrosos tienen una cámara principal (llamada también la cámara primaria) para quemar los PCB y otros COP, así como plaguicidas obsoletos. Esta cámara alcanza temperaturas superiores a 1200°C con alta turbulencia y exceso de oxígeno. Después de este proceso sigue una cámara secundaria la cual es usada para extender el tiempo de residencia para un máximo de destrucción del material y su oxidación térmica en gases y sólidos no inflamables.

Más adelante de la cámara secundaria está el sistema de tratamiento de gases. Éste consiste de un sistema de enfriamiento rápido para enfriar el gas a una temperatura segura en la cual no se produzcan dioxinas y furanos y se utilizan depuradores húmedos. A continuación se muestra una ilustración de un incinerador de alta temperatura.

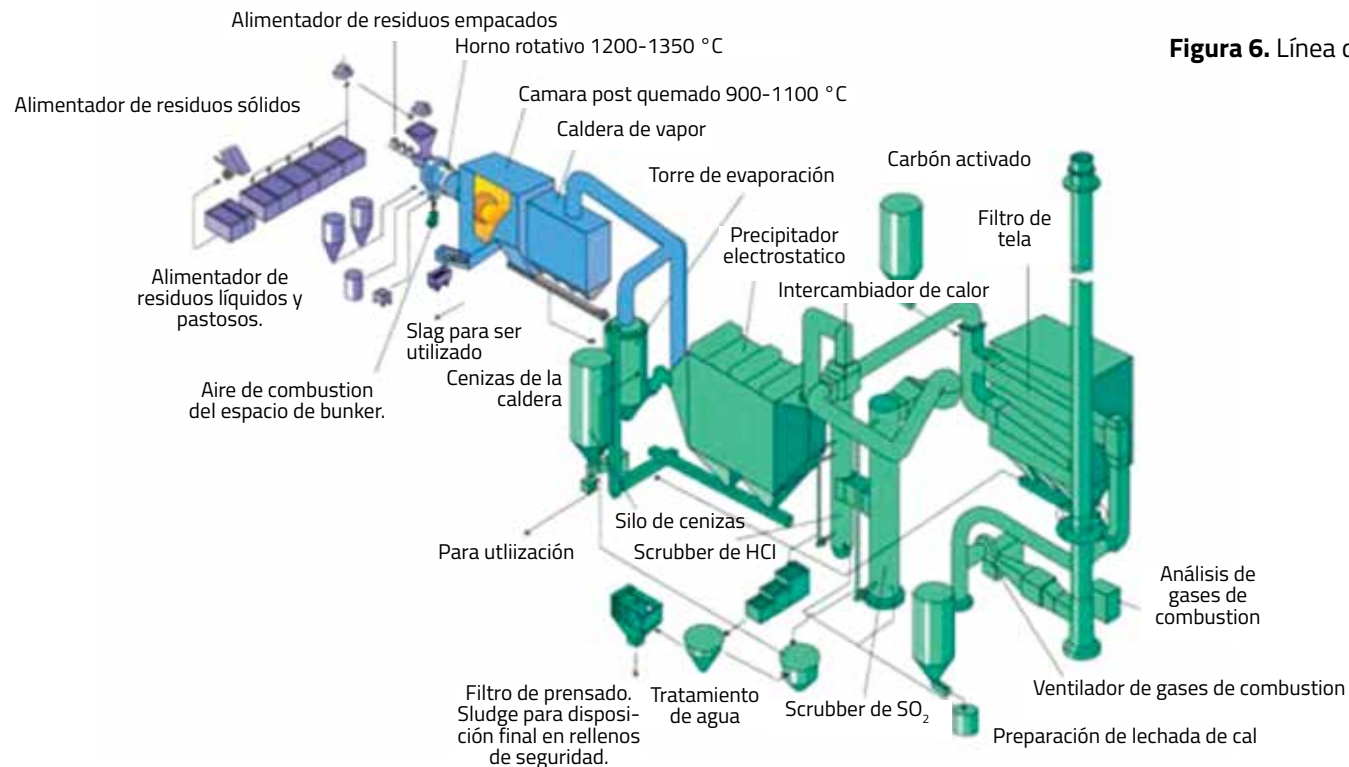


Figura 6. Línea de Incineración de Alta Temperatura.

9.4.2 Cogeneración

Los combustibles que se utilizan en la industria de fabricación de cemento se pueden mezclar con residuos de aceites que contienen PCB. Estos residuos aumentan el valor calórico del combustible, al tiempo que se destruyen. Sin embargo, la proporción combustible/PCB debe controlarse, a fin de mantener bajo el contenido de cloro en el cemento. Este proceso debe ser estrictamente controlado y monitoreado por la posible emisión de dioxinas y furanos.

La normativa de nuestro país no permite la inclusión de concentraciones superiores a 50 mg/kg de PCB en los hornos cementeros.

9.4.3. Declorinación (Reducción con metales alcalinos)

Este es uno de los métodos más utilizados y consiste en la reacción entre el fluido dieléctrico y sodio, litio o potasio metálico u orgánicamente ligado. El reactivo metálico reacciona con los átomos de cloro de los PCB generando sales de cloruro y otros productos residuales no halogenados. En el caso del uso de potasio existen algunas variantes en el tratamiento sobre el estado en que se encuentra el reactivo.

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

Inicialmente se debe determinar el contenido de PCB, agua y acidez del fluido dieléctrico para estimar el consumo de reactivos durante la reacción y el tiempo que llevará la misma. Previo al tratamiento es necesario secar el fluido de forma que el contenido de agua sea menor a 100 ppm. Durante la etapa de reacción, que puede durar entre 15 y 20 minutos, los PCB y otros compuestos clorados son destruidos entre 150 a 300 °C. Luego de la reacción, el fluido procesado es centrifugado para remover el metal que no ha reaccionado, los productos inso-

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

En el caso de transformadores grandes (más de 10.000 litros de fluido dieléctrico) puede resultar menos costoso y más eficiente descontaminar el transformador empleando un equipo de tratamiento móvil. Algunas compañías tienen plantas de tratamiento móviles, que pueden ser utilizadas para un transformador que esté operando en el campo sin necesidad de desenergizar el equipo. Dependiendo de la concentración inicial del PCB en el aceite, éste puede requerir varios ciclos de recirculación a través de la unidad de tratamiento hasta que esté libre de PCB. Después de 90 días, se le realiza un análisis de contenido de PCB.

Una variante a este proceso es utilizar un reactivo sólido a bajas temperaturas (80 a 100 °C). Esta tecnología es capaz de deshalogenizar los PCB presentes en el aceite y las partes internas del transformador, en sitio, de modo continuo y en un circuito cerrado, con la circulación de aceite caliente, con una eficiencia del 99.9%, sin requerir el drenado.

9.4.4. Proceso de Declorinación con Base Catalítico (DBC)

El proceso de Declorinación con Base Catalítico (DBC) es un tratamiento de desechos en presencia de una mezcla de reactivos que consiste de aceite de alto punto de ebullición (donador de hidrógeno), hidróxido de un metal alcalino y un catalítico. Cuando la mezcla se calienta por arriba de 300 °C se produce hidrógeno atómico altamente reactivo. El hidrógeno atómico reacciona con residuos organoclorados. Los productos finales están formados por un residuo carbonoso y sales sódicas, logrando un 99.9999% de destrucción.

El DBC se recomienda para el tratamiento de concentraciones superiores a 10.000 mg/kg.

9.4.5. Reducción Química en Fase Gaseosa (RQFG)

El principio de la tecnología RQFG es la reducción termoquímica de compuestos orgánicos. A temperaturas superiores a los 850°C y a presiones bajas, el hidrógeno reacciona con los compuestos orgánicos clorados para producir principalmente metano y cloruro de hidróxido. Todos los PCB del Oeste de Australia fueron tratados con esta tecnología en el año 2000, sin embargo se considera un tratamiento de alto costo económico.

9.5 Descontaminación de equipos y material sólido

9.5.1. Retrolavado

El retrolavado fue diseñado para la descontaminación del equipo por medio de la reducción de las concentraciones de PCB a un nivel que legalmente permitirá que el transformador se mantenga en servicio. El retrolavado de un transformador implica el vaciar el equipo de su líquido dieléctrico y reponerlo con un aceite libre de PCB. Como la parte interna de un transformador es compleja, esta operación toma un poco de tiempo. Un problema más serio es que el transformador usualmente contiene madera y posiblemente componentes de papel, estos materiales son porosos y retienen el aceite contaminado. Por lo tanto, no es posible a un corto plazo, remover todo el aceite contaminado con PCB. El resultado es que cuando el aceite limpio se introduce en el transformador, va a darse un pequeño lixiviado del PCB residual de los componentes porosos. A lo largo de unos meses, el nivel de PCB medido en el aceite nuevo del transformador aumentará lentamente, aún a niveles superiores a los esperados, por lo que podría alcanzar o sobrepasarlos niveles aceptados de PCB (50 mg/kg). El tiempo que se requiere para que el lixiviado se acabe depende del tamaño y la estructura del equipo. Una prueba de contenido de PCB después de un retrolavado debe

realizarse después de 5 meses de que el transformador esté trabajando de nuevo. En algunos casos es posible que se tenga que realizar varias operaciones de retrolavado para llevar al nivel deseado.

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

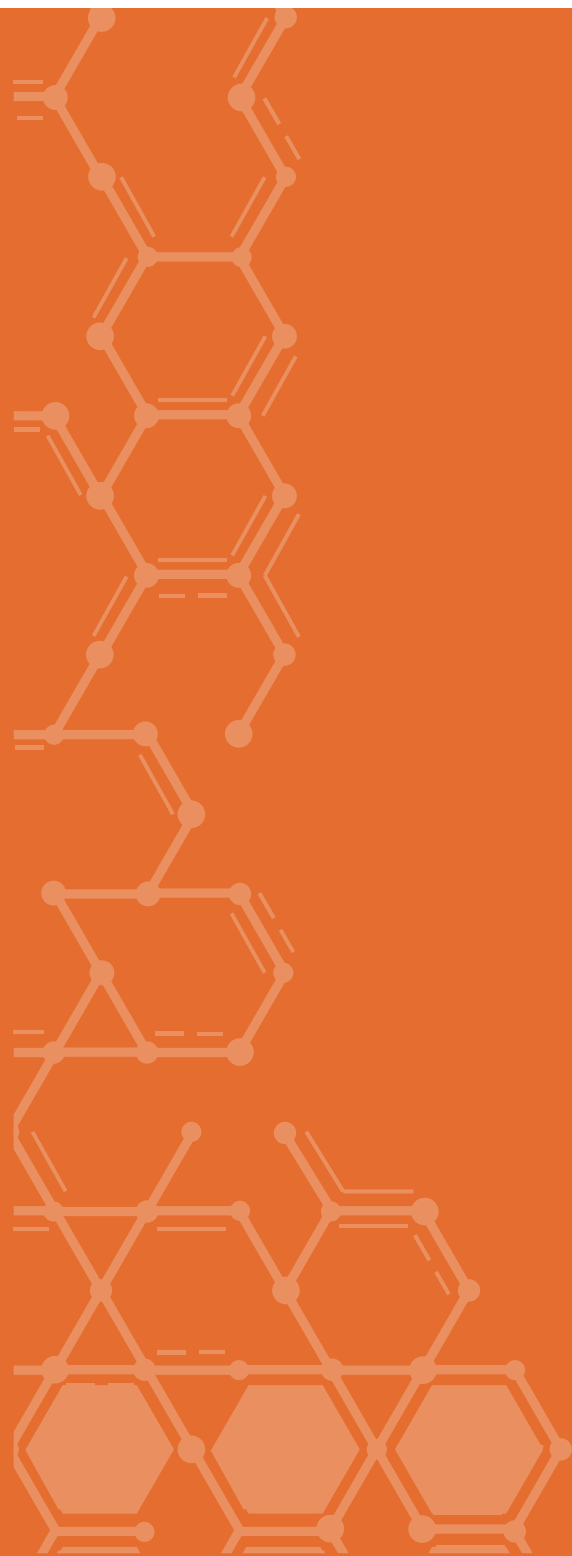
Si se piensa hacer retrolavado es importante estar seguro de lo siguiente:

- La descontaminación debe ser realizada por personal entrenado para evitar cualquier riesgo a la salud y contaminantes al ambiente producto de un derrame accidental;
- La descontaminación debe hacerse en una superficie adecuada donde en caso de un derrame no se produzca una contaminación al suelo;
- Se deben tomar las precauciones adecuadas en caso que se dé un derrame/fuga;
- Todo el desecho generado en este proceso, incluyendo los solventes, etc., debe ser dispuesto como un desecho peligroso;
- La evaluación del riesgo que se presente a las autoridades competentes debe hacerse antes de la descontaminación del equipo.

9.5.2. Autoclave

Esta tecnología permite tratar materiales sólidos, mediante el uso de autoclave al vacío con el uso combinado de un disolvente. El disolvente se reutiliza por medio de la destilación y el residuo de aceite con PCB es incinerado o declorinado. En Europa se ofrece un servicio de autoclave en el que el disolvente se utiliza en fases alternas, líquidas y gaseosas en ciclos controlados y automatizados. Esta tecnología permite alcanzar niveles bajos de contaminación con lo cual se puede recuperar el material para su valoración.

A nexos



1. Ficha de emergencia para respuesta a un incidente frío de PCB







La siguiente Tabla ilustra las medidas que se deben tomar en casos de incidentes con PCB. Para cada naturaleza de derrame, el orden de las acciones que se deben tomar es indicado por un número.

Respuesta a emergencias para incidentes fríos de PCB				
	Tipo de derrame			
	Fuga en el sistema de contención	Derrame sobre concreto o asfalto	Derrame en suelo	Derrame al agua
Notificar personal de planta, respuesta química y las autoridades competentes.	1	1	1	1
Informar al médico responsable y utilizar Equipo de Protección Personal adecuada (evite la contaminación personal).	2	2	2	2
Evitar el ingreso de personas y/o vehículos al área contaminada.	3	3	3	3
Si aplica, desconecte el equipo involucrado de la fuente de poder. Revisar la conexión a tierra.	4	4		
Tape o haga un dique en todos los drenajes y zanjas, use absorbentes (arena, aserrín)		5	4	
Pare la fuente: selle las fugas por medio del uso de material apropiado, coloque una bandeja de goteo por debajo del lugar de la fuga.	5	6	5	4
Confinamiento del derrame: construir diques para contener el PCB en un área pequeña.		7	6	
Cubra con plástico para minimizar escorrentía de la lluvia.		8	7	
Haga una represa si es posible, y cierre el paso de barcos a aguas navegables.				5
Confine áreas contaminadas. Poner tienda de campaña con compartimentos.	6	9	8	
Use bomba para transferir PCB a un tambor. Recoja PCB con materiales absorbentes.	7	10	9	6
Utilice draga para recoger el suelo/sedimento contaminados.			10	7
Repita el proceso de limpieza de disolvente, seguido por un limpieza completa.	8	11		
Tomar muestra del núcleo del transformador para determinar contaminante restante.		12 (2.5 cm profundidad)	11 (60 cm profundidad)	
Eliminar concreto contaminado.		13		
Monitorear los pozos y otros cuerpos de agua en las cercanías para verificar si existe contaminación con PCB.			13	

2. Ficha de emergencia para respuesta incidentes calientes de PCB

Respuestas de emergencia para incidentes calientes con PCB			
	Tipo de incidente		
	Falla interna Sin explosión del equipo	Falla interna del capacitor Explosión del equipo con derrame Cuidado con furanos altamente tóxicos	Incendio en cercanía al equipo Cuidado con furanos y dioxinas altamente tóxicos
Notificar al Cuerpo de Bomberos			1
Notificar al personal de planta, los del comité de respuesta química y autoridades competentes.		1	2
Informar al médico responsable y colocar Equipo de Protección Personal (máscara de respiración)		2	3
Evitar que gente entre al área contaminada.		3	4
Desconecte de la fuente de poder al equipo involucrado.	1	4	5
Elimine el equipo	2		
Evacue y cierre el edificio para cortar la circulación del aire y selle los ductos de ventilación.		5	6
Pare la fuente: selle la fuga con material apropiado, coloque una bandeja de goteo por debajo de la fuga.		6	
Confine el área contaminada.		7	7
Si no tiene puesto un overol protector debe mantenerse lejos del área peligro. Deje que los especialistas apaguen el incendio.			8
Coloque la tienda de campaña con los compartimentos.		8	9
Limpiar con solvente repetidamente seguido de una limpieza efectiva del solvente.		9	10
Tome muestra del núcleo para determinar la penetración del contaminante.		10 (2,5 cm profundidad)	11 (60 cm profundidad)
Elimine el concreto contaminado.		11	13
Use dragas para recolectar el suelo/sedimento contaminado.		12	14

3. Mejores prácticas de trabajo

Mejores Prácticas de Trabajo	
Cuando se está realizando una labor liviana de reparación o mantenimiento con equipo que contiene PCB, los siguientes medidas preventivas para la protección de los empleados y el ambiente deben ser seguidas:	
	<p>El contacto directo a la piel y los ojos con materiales contaminados con PCB debe ser evitado absolutamente por medio del uso de guantes y lentes de seguridad.</p> <p>Según el tipo de trabajo que se realiza, ropa protectora y una máscara respiratoria tiene que estar disponible para los trabajadores.</p>
	<p>El área de trabajo debe estar ventilada adecuadamente.</p>
	<p>Se deben prevenir y evitar los derrames en todo momento usando bandeja de goteo o manteados de plástico.</p>
	<p>Se debe evitar estrictamente el contacto de PCB con una llama o cualquier calor por encima de 300°C debe ser estrictamente evitado (existe riesgo de generación de dioxinas y furanos altamente tóxicos)</p>
	<p>Todas las herramientas que se han utilizado más otros materiales de trabajo, que han entrado en contacto con PCB, deben ser dispuestos como un desecho peligroso que contiene PCB, de una manera ambientalmente adecuada o en su lugar ser descontaminado, pero nunca dispuesto en un basurero de residuos ordinarios. Los únicos materiales susceptibles a poder ser descontaminados con un solvente (ej. acetona grado técnico) son el hierro, el vidrio y la cerámica.</p>
	<p>Operaciones que involucren el decantar, el enrollado de la bobina, etc., debe ser realizada por una empresa autorizada.</p>
	<p>Emergencias: 911</p>

4. Instrucciones para trabajadores que entran en contacto con PCB

La siguiente tarjeta de instrucciones para manipular PCB es para los trabajadores y casos de emergencia.

Bifenilos Policlorados



Peligros para la salud humana y el ambiente

- El respirar, tragar o absorber por la piel puede resultar en un daño a la salud. Puede causar una irritación en el tracto respiratorio, ojos, piel, órgano digestivo. Es posible sufrir molestias temporales tales como mareo, fatiga, náusea, pérdida de apetito. Puede causar acné, desórdenes digestivos, daño al hígado, cambios de sangre, cambios de personalidad. Se sospecha de su efecto carcinogénico.
- Los PCB pueden afectar la fertilidad reproductiva. Los PCB pueden ser dañinos para el feto.
- Peligroso para el agua, evite que ingrese a las aguas subterráneas y al alcantarillado.

Medidas de protección y reglas de comportamiento

Asegúrese de tener una fuente de aire abundante cuando se está trabajando. En el evento de que se produzcan vapores, trabaje únicamente con ventilación asistida. No mezcle con otros productos o químicos. Evite el contacto con los ojos, piel y ropa. Prevenir con protección para la piel. Lávese las manos y cara eficientemente después de trabajar. Cámbiese la ropa después de terminar de trabajar. Guarde la ropa de calle en un lugar separado de la ropa de trabajo.

Protección visual: protección completa con anteojos de seguridad

Protección de las manos: usar guantes de neopreno. Se recomienda usar guantes de algodón por debajo de los guantes de protección.

Protección respiratoria: el uso de mascarilla A2-P3 es recomendable. En zanjas, túneles o silos utilice únicamente un aparato de respiración de aire independiente.

Protección de la piel: utilice protección de la piel que no contenga grasa para todas las partes no cubiertas de la piel.

Protección del cuerpo: utilizar equipo de protección para químicos (desechables) y botas de hule.

Comportamiento en situaciones peligrosas

Recoja y disponga con material absorbente no combustible (ej. Arena). Evacue el lugar de trabajo si la fuga es abundante. Si se da un incendio en el área, enfríe el recipiente con agua fría. Se pueden producir vapores peligrosos si existe un incendio. Solo en caso de incendios grandes utilice equipo de respiración asistida y equipo de protección personal.

Primeros Auxilios

Durante toda la asistencia de Primeros Auxilios: protegerse primero usted e inmediatamente informe a un Médico.

Después de contacto con el ojo: enjuague por 10 minutos con agua o solución de lavado de ojos.

Después de contacto con la piel: quítese la ropa sucia de inmediato. Limpie con abundantes cantidades de agua y jabón. No use acetona o thinner.

Después de inhalar: aire fresco. Mantenga las entradas de aire abiertas, remueva piezas dentales, vomite, etc. Si la respiración o el corazón paran inmediatamente aplique respiración artificial y masajee al corazón.

Después de tragar: No induzca el vómito. Si está consciente, asegúrese que se tome mucha agua por poquitos a la vez. No utilizar agentes domésticos.

Disposición correcta

Residuos de productos.

5. Primeros Auxilios en caso de contacto con PCB

Tabla 20. Medidas de Primeros Auxilios.

Tipo de exposición	Acción
PCB líquido en la piel	Use agua y jabón para lavar completamente.
PCB líquido en los ojos	Enjuague los ojos con agua tibia con aspersion por unos 15 minutos, siempre manteniendo los ojos bien abiertos.
PCB líquido en la boca y el estómago	Enjuague la boca con agua, no tome nada más, consulte con un médico de inmediato.
Altas concentraciones de vapores de PCB	Lleve a las personas afectadas a fuera al aire libre.

Bibliografía consultada

1. Environmental Management Bureau, Department of Environment and Natural Resources, Code of Practice on the Management of Polychlorinated Biphenyls, Philippines.
2. CS Energy, Management of PCB-Filled Capacitors and PCB-contaminated transformer oil CS-OHS-7.
3. Strategic Partnership for the Mediterranean Sea Large Marine Ecosystem (MedPartnership), UNEP/MAP, World Bank, Handouts: PCB Management Workshops Mediterranean Countries, Alexandria, Egypt, 2014.
4. Destruction and decontamination technologies for PCB and other POP wastes under the Basel Convention. A training manual for hazardous waste project managers Secretariat of the Basel Convention.
5. Guidelines for the identification of PCB and materials containing PCB, UNEP Chemicals.
6. PCB Transformers and Capacitors- From Management to Re-classification and Disposal, UNEP Chemicals.
7. Updated general technical guidelines for the environmentally sound management of wastes consisting of, containing or contaminated with persistent organic pollutants (POPs), Basel Convention.
8. Updated technical guidelines for the environmentally sound management of wastes consisting of, containing or contaminated with polychlorinated biphenyls (PCB), polychlorinated terphenyls (PCTs) or polybrominated biphenyls (PBBs). Basel Convention.
9. Draft Guidelines on best available techniques and provisional guidance on best environmental practices relevant to Article 5 and Annex C Stockholm Convention.
10. Southern African Power Pool, PCB Management Guidelines, EG 6/08, 2007.
11. Project Implementation of phase 1 of a comprehensive Poly Chlorinated Biphenyls (PCB) management system in the Hashemite Kingdom of Jordan, Ministry of Environment, Directorate of Hazardous Materials and Waste, GEF, PNUD, Jordan.
12. Project Design and Execution of a Comprehensive PCB Management Plan for Kazakhstan, PCB Management Guideline, Kazakhstan, 2011.
13. Project Mejoras Prácticas para el Manejo de PCB en el Sector Minero Sudamericano, Guía de muestreo y análisis de PCB con el Analizador L2000 DX, Centro Regional Basilea para América del Sur, Marzo 2013.
14. Guía de muestreo y análisis de PCB con el Analizador L2000DX, Proyecto "Mejores Prácticas para el Manejo de PCB en el Sector Minero Sudamericano", Central Regional Basilea para América del Sur, PNUMA, FMAM. marzo 2013.
15. Guía para la Gestión de Transformadores y Capacitores con Bifenilos Policlorados (PCB), Proyecto PCB-Desarrollo de las capacidades para la gestión ambientalmente adecuada de Bifenilos Policlorados (PCB) en Uruguay, Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente (MVOTMA), Dirección Nacional de Medio Ambiente (DINAMA), FMAM, PNUD, Uruguay, 2013.

Ministerio de Ambiente y Energía
Dirección de Gestión de Calidad Ambiental (DIGECA)
Telefonos: (506) 2257-1839 / (506) 22583272
Fax: (506) 2258-2820

