



**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA**

**GUÍA TEÓRICA PRÁCTICA PARA LA TENENCIA Y
ELIMINACIÓN DE ACEITES DIELECTRICOS CONTAMINADOS
PCB's**

Cristtian Andres Soto Amezquita

Asesorado por Ing. Ángel Eduardo Polanco Anzueto

Guatemala, agosto de 2005

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**GUÍA TEÓRICA PRÁCTICA PARA LA TENENCIA Y ELIMINACIÓN DE
ACEITES DIELECTRICOS CONTAMINADOS PCB's**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

CRISTTIAN ANDRES SOTO AMEZQUITA

ASESORADO POR ING. ÁNGEL EDUARDO POLANCO ANZUETO
AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
Ingeniero Electricista

Guatemala, Agosto de 2005

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	
VOCAL II	Lic. Amahán Sánchez Alvarez
VOCAL III	Ing. Julio David Galicia Celada
VOCAL IV	Br. Kenneth Issur Estrada Ruíz
VOCAL V	Br. Elisa Yazminda Vides Leiva
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Herbert René Miranda Barrios
EXAMINADOR	Ing. Edwin Alberto Solares
EXAMINADOR	Ing. Luis Arturo González
EXAMINADOR	Ing. Edgar Florencio Montufar
SECRETARIA	Inga. Gilda Marina Castellanos de Illescas

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

**GUÍA TEÓRICA PRÁCTICA PARA LA TENENCIA Y
ELIMINACIÓN DE ACEITES DIELECTRICOS CONTAMINADOS
PCB's,**

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica con fecha 16 de abril de 2002.

Cristtian Andres Soto Amezquita

Señor Ingeniero
Edwin Segura
Coordinador del Área de Electrotecnia
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

Señor Coordinador:

Tras haber asesorado al estudiante Cristtian Andres Soto Amezquita, con carné 88-16163, en el desarrollo del trabajo de graduación titulado: **GUÍA TEÓRICA PRÁCTICA PARA LA TENENCIA Y ELIMINACIÓN DE ACEITES DIELECTRICOS CONTAMINADOS PCB's** y haber revisado su contenido final sin encontrar alguna objeción al respecto, doy mi aprobación al mencionado trabajo de graduación.

El autor de este trabajo de graduación y su asesor son responsables por el contenido y conclusiones del mismo.

Atentamente,

Ing. Ángel Eduardo Polanco Anzueto
Colegiado número 4039
Asesor

AGRADECIMIENTO

A:

Nuestro Creador

Por haberme dado mis padres que siempre han estado conmigo para ayudarme a alcanzar esta meta y otras en la vida.

Mis padres que siempre me han apoyado en todo proyecto y meta propuesta

Ing. Ángel Polanco por su sincero apoyo e interés que brindó para la realización de este trabajo

Marcio Rafael Arellano

Por todo el apoyo y ayuda en el desarrollo de mi carrera.

Ing. Edgar Montufar, Ing. Alberto Coi, Ing. Mario Contreras

Por su colaboración para la realización de este trabajo.

Empresa Eléctrica de Guatemala, S.A.

ACTO QUE DEDICO A:

Dios Por darme la vida, y uno de los regalos más especiales en la vida: mis padres

Mis padres Felipe Soto e Irma de Soto
De manera muy especial por el amor, ayuda y apoyo que siempre he tenido para lograr esta meta

Mis sobrinos Huguito y Michelle.

A la memoria de mis abuelitos

Poncho, Tonita, Mamá Amparito y Papá Carlos, quienes a pesar de no haber podido estar conmigo, los recuerdo y extraño.

A mis hermanos

Wer Felipe, Carolina, Evelyn y Michelle.

3.2.1	Problemas ecológicos	38
3.2.2	Toxicidad propia de PCB	39
3.2.3	Exposiciones a los PCB	41
3.2.4	Penetración y distribución del producto en el Organismo	42
5.1.1	Situaciones de emergencia	44
5.1.2	Limpieza en caso de derrame	54
5.1.3	Vestimenta de protección	56
5.2	Precauciones con equipo o material que contenga Askarel	58
5.2.1	Precaución de aplicación física	59
5.2.2	Precauciones contra filtración o derramamiento para reducir al mínimo riesgos ligados a los PCB	60
5.2.3	Operaciones de Mantenimiento	63
5.2.3.1	Vigilancia de los transformadores en Askarel	63
5.2.3.2	Pruebas físicas y químicas	65
5.2.3.3	Vaciado de equipo	79
5.2.4	Almacenamiento y transporte de PCB	79
5.2.5	Formatos para etiquetado	87
5.2.6	Detección y cuantificación	91
3.4	Prevencciones concernientes a la utilización de los Askareles	101
3.4.1	Medidas preventivas	101
3.4.2	Vigilancia ambiental	102
3.4.3	Sanidad y seguridad	103
3.4.4	Seguridad contra incendios	104
3.4.5	Ventilación	105

3.4.6	Mantenimiento de las instalaciones que contienen PCB	105
4.	Clasificación de transformadores, tecnologías de tratamiento y procesos de eliminación de desechos PCB	107
5.1	Descontaminación mediante Rellenado	109
4.1.1	Aspectos a considerar en el relleno	110
4.1.2	Características necesarias para el aceite sustituto	112
4.1.3	Medidas de control para el relleno	115
4.1.4	Apertura de equipo que contienen PCB	118
4.1.5	Alternativa de aceites para el relleno	120
4.2	Descontaminación en línea	120
4.3	Descontaminación in situ	121
4.4	Descontaminación del aceite	122
4.5	Descontaminación de condensadores	122
4.6	Descontaminación de equipo y desecho PCB para reciclaje y eliminación	123
4.7	Tecnologías de eliminación de PCB	124
4.7.1	Incineración	127
4.7.2	Procesos de dechloración	128
4.7.3	Sistema de arco plasmático	128
4.7.4	Relleno sanitario	129
4.8	Directrices técnicas que comprenden desechos PCB	130
5.	GESTIÓN DE PCB EN GUATEMALA	135
5.1	Necesidad de un plan de eliminación de los PCB en Guatemala	135
5.2	Inventario de PCB	138
5.3	Aspecto económico del uso versus la eliminación de PCB	140

5.4	Condiciones de eliminación en Guatemala y en el extranjero	143
5.5	Propuesta de plan de acción para la coordinación de actividades ambientalmente seguras en Guatemala	144
	CONCLUSIONES	150
	RECOMENDACIONES	153
	BIBLIOGRAFÍA	156
	APÉNDICES	158
	ANEXOS	161

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Estructura molecular de los PCB	7
2.	Etiquetado de equipo	88
3.	Señalización de equipo contenga PCB	89
4.	Rotulación de equipo en uso de transformación en PCB	89
5.	Rotulación de capacitores en uso en PCB	90
6.	Rotulación de equipo fuera de operación y recipientes que contengan PCB	90
7.	Rotulación de recipientes que contengan desechos PCB	91

TABLAS

I.	Nombres comerciales comunes de los PCB de acuerdo a su país de origen	9
II.	Cantidades de PCB fabricadas	10
III.	Nombres comerciales más comunes para mezclas de PCB	96
IV.	Características del proceso de destrucción de PCB	126

LISTA DE SÍMBOLOS

EPA	Environment Protection Agency de los Estados Unidos
TSCA	Toxic Substances Control Act
IARC	Asociación Internacional de Investigación del Cáncer
MI	Mililitro
ppm	partes por millón (10E-6)
ppb	partes por billón (10E-9)
pt	partes por trillón (10E-12)
PCB	Bifenilos Policlorados
COPs	Contaminantes orgánicos persistentes
PNUMA	Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente
ASTM	American Society for Testing and Materials, Sociedad Americana de Pruebas y Materiales
PCDD y PCDF	Dióxinas y Furanos respectivamente
CNEE	Comisión Nacional de Energía Eléctrica en Guatemala
IN SITU	En el lugar
EPA	Environmental Protection Agency, Agencia de Protección Ambiente de los Estados Unidos
η	Nano (10E-9)
ηg	nanogramo
μ	Micro (10E-6)
μg	microgramos

GLOSARIO

Aceite mineral contaminado	Aceite mineral que se ha contaminado con PCB en concentraciones menores de 1000 ppm
Desechos PCB	Cualquier equipo, líquido, sólido o sustancia PCB que no se puede utilizar de nuevo
Descontaminación	La remoción de PCB.
Eliminación	La remoción permanente de servicio y almacenamiento de equipo PCB
Equipo PCB	Cualquier artículo fabricado que contenga líquido PCB
Líquido PCB	Todo líquido que contenga PCB en concentraciones de más de 50mg por kilo, ≥ 50 ppm de peso, del líquido
PCB	Se definen como bifenilos Policlorados aquellos clorobifenilos que tiene la formula molecular $C_{12}H_{10-n}Cl_{10-n}$ en la que n es mayor que 1
Lixiviado	Proceso en el que se disuelven sustancias alcalinas en otras

Material PCB	Cualquier aceite mineral que contenga mas de 50 ppm de PCB, cualquier líquido PCB, equipo contaminado con mas 50 ppm en operación o almacenado o cualquier sólido que contenga PCB
Reciclaje	Recogida del equipo PCB, descontaminación y fundición de las partes metálicas de la recuperación de los metales
Reutilización	Retorno del equipo descontaminado de PCB (≤ 50 ppm) a equipo en servicio
Sólido PCB	Un sólido que contiene más de 50 mg de PCB por kilogramo de sólido (≥ 50 ppm de peso)
Sustancia PCB	una sustancia diferente a PCB líquido o sólido que contenga más de 1 mg de PCB por kilogramo de la sustancia (≥ 50 ppm de peso)
Transformador PCB	Cualquier transformador eléctrico que contenga un líquido PCB en concentraciones mayores a 50 ppm
Transformador contaminado con PCB	se refiere a un transformador en aceite mineral contaminado de manera involuntaria o inadvertida en concentraciones mayores a 50 ppm
Partes	Los países que integran un Convenio

RESUMEN

Los Bifenilos Policlorados PCB mejoraron de manera sobresaliente las propiedades dieléctricas del fluido aislante a utilizarse el equipo eléctrico, logrando, así, una reducción considerable del tamaño del equipo y mejorando la seguridad en caso de incendios, entre otras mejoras. La comercialización de equipo eléctrico fabricado para trabajar con PCB como líquido dieléctrico dió como resultado que este fluido llegara a distribuirse a escala mundial en el área de la industria eléctrica. A pesar que ya en la década de los 70s se empezaban a denotar y a identificar los inconvenientes de los PCB, la fabricación y distribución seguía en marcha. No fue, sino hasta finales de 1,970 e inicios de 1,980 que se empezaron a tomar acciones decididas para detener la producción de PCB. Asimismo, surgía la necesidad de dirigir acciones coordinadas para el buen manejo del fluido hasta su misma eliminación, ambientalmente, segura.

Sin embargo, el cese de la producción de PCB detenía solamente en parte el problema. Como se ha visto, el PCB puede llegar a contaminar equipo eléctrico aunque el mismo haya sido construido para trabajar en otros tipos de aceites. Igualmente, el mal uso o tenencia de PCB provoca la contaminación del medio ambiente y de toda una cadena alimenticia, todo esto con una característica alta persistencia debido a su fuerte rigidez química.

La identificación, manejo profesional, tenencia, transporte y la identificación de métodos de eliminación ambientalmente seguros de PCB es actualmente el tema de interés en cuanto a este químico revolucionario del siglo pasado.

OBJETIVOS

General

Obtener un procedimiento adecuado para el manejo, tenencia y la eliminación de los PCB en la industria eléctrica de Guatemala.

Específicos

1. Determinar y concretar los riesgos derivados de la existencia de equipo cuyo fluido dieléctrico se encuentre contaminado por PCB.
2. Proponer alternativas para la eliminación de aceites contaminados.
3. Proponer procedimientos para el manejo y tenencia de aceites contaminados así como de equipos eléctricos que han tenido en su interior aceites PCB.
4. Presentar un consenso de información acerca de los aceites dieléctricos PCB a manera de una guía profesional teórica y práctica.
5. Obtener un estudio cuya información pueda ser utilizada por el Ministerio de Medio Ambiente como patrón para la gestión de PCB en Guatemala.
6. Determinar parámetros mundialmente recomendados para los niveles de concentración máximo permitidos de Bifenilos

Policlorados en aceites dieléctricos a fin de tener un punto de partida para la búsqueda de líquidos y equipos contaminados con PCB.

HIPÓTESIS

La gestión de Aceites Dieléctricos que contienen PCB realizada sin una adecuada capacitación repercute en problemas físicos en el ser humano y contaminación persistente en el medio ambiente.

INTRODUCCION

Los Bifenilos Policlorados fueron producidos mediante la unión de uno o más átomos de cloro a una molécula Bifenil. Mundialmente, se les conoce como PCB que es la abreviación de la expresión en ingles Polichlorinated Biphenyl. Dicha composición dió como resultado un compuesto orgánico muy estable, químicamente, cuyas propiedades eran muy útiles para usarlo como fluido dieléctrico en aplicaciones de equipo eléctrico y sistemas de transferencia de calor.

Uno de los principales fabricantes fue la Corporación Monsanto en los Estados Unidos para las aplicaciones de fluido dieléctrico no inflamable en equipo eléctrico desde los inicios del siglo pasado. Sin embargo, dicha compañía cesó la producción de este compuesto debido a las preocupaciones que este químico despertó a nivel mundial, en vista de los problemas de carácter persistente que se observaron en seres vivos y en el medió ambiente.

Los PCB como, normalmente, se les conoce, fueron vendidos bajo el nombre comercial de Aroclor, entre otros. Sin embargo, dependiendo del país en el que fueran producidos, su nombre, así, también, podía tener otra designación. Otras designaciones con la que fueron conocidos es la de "Askareles" y "Pyraleno". Por lo que, si un equipo eléctrico contuviera Askarel o Pyraleno, sencillamente, hablamos de un equipo que en su interior existe PCB.

Los distintos tipos de PCB son conocidos como "congéneres" los cuales se diferencian entre sí en función de la concentración de cloro. Debido a las características dieléctricas, alta estabilidad química y su sobresaliente

inflamabilidad, los PCB fueron un producto químico muy atractivo para las aplicaciones de equipo eléctrico como transformadores y condensadores.

Cuando el PCB era producido para las aplicaciones de transformadores, el químico era mezclado con algunos tipos de solventes orgánicos. Por lo tanto, un líquido dieléctrico presente en un transformador no es un PCB puro. En el caso de los condensadores, el PCB fue usado en concentraciones altas, incluso del 100%.

La producción de PCB cesó en la década de 1,970 en vista de la evidencia de los problemas que causó la incorporación accidental de PCB en el medio ambiente y los problemas de salud que el químico causó en seres humanos al grado que los PCB fueron clasificados como causantes de cáncer en animales y en el ser humano. La credibilidad en los PCB quedó todavía más manchada cuando se descubrieron que de la exposición del producto químico a altas temperaturas se producen dos subproductos altamente tóxicos, las Dioxinas y los Furanos. Debido a sus efectos persistentes en el medio ambiente y su alto riesgo tóxico, los PCB forman parte de una docena de sustancias químicas, junto con los dos subproductos, mundialmente conocida como “la docena sucia”, la cual es objeto de atención a nivel mundial por los efectos adversos de carácter persistente que estos causan en la salud humana. La misma alta estabilidad química de los PCB, resultó ser la causante de estos efectos de carácter persistente.

Sin embargo, actualmente, podemos encontrar equipo eléctrico en servicio que en su interior se hayan fluidos dieléctricos a base de PCB, e incluso, equipo que, aunque haya sido diseñado para trabajar a base de aceites libres de PCB, puede llegar a estar contaminado con PCB, debido a errores en los procesos normales de mantenimiento.

Por lo tanto, es necesario entender aspectos propios relacionados con los Bifenilos Policlorados, mantenimiento del equipo en PCB, precauciones de carácter operativo, concepto de los riesgos a la exposición de PCB y sus subproductos, criterios de respuesta ante situaciones de emergencia y finalmente, alternativas de eliminación de cualquier material contaminado y del mismo PCB con el fin de realizar una apropiada y segura gestión de los PCB en vista de los serios problemas de carácter persistente que implican la mala manipulación de este fluido dieléctrico.

1. Entorno histórico de los PCB

Antes de empezar a revisar detalles actuales relacionados con la problemática de la gestión para el mantenimiento de equipo en PCB y la eliminación de los Bifenilos Policlorados PCB es apropiado estar al tanto de los orígenes de este dieléctrico y los eventos o sucesos históricos que hacen de este químico un tema tan importante a nivel local y mundial.

En la industria de la Ingeniería, el equipo eléctrico utilizaba aceite mineral como dieléctrico y refrigerante en transformadores y condensadores el cual tenía las ventajas de ser menos denso que el agua, buen conductor del calor, aislante y biodegradable. Sin embargo, este líquido dieléctrico poseía ciertas desventajas. Su combustibilidad era la más indeseable. Después de una serie de experimentos se descubrió que si se introducía cloro a las partículas de Benceno desaparecía la combustibilidad del aceite y entonces podía ser usado como fluido dieléctrico resistente al fuego. Fue así como surgieron los Bifenilos Policlorados o PCB. Los primeros PCB que se comercializaron para ser usados en transformadores y capacitores fueron desarrollados en 1929 por la empresa Swann Chemical Company la cual fue comprada años después por la compañía química Monsanto con sede en St. Louis, Missouri.

Los PCB fueron ampliamente utilizados por su sobresaliente inflamabilidad y alta estabilidad química. La General Electric (GE) patentó el uso de los PCB como fluido eléctrico y Monsanto los producía bajo las especificaciones dadas por la GE y otras compañías manufactureras de equipo eléctrico. Los usos mas extendidos fueron en la industria de equipamiento eléctrico, transformadores y

condensadores, la cual adoptó a los PCB como aceites dieléctricos refrigerantes no inflamables para su nueva generación de transformadores.

Hacia los años 60, la creciente familia de los PCB eran ya usados en masa en varias aplicaciones como lubricantes, fluidos hidráulicos, protección de cascos de naves marítimas, etc.

Sin embargo, investigaciones realizadas durante los años 60 y 70 revelaron que los PCB eran potentes agentes cancerígenos, y también los relacionaron con un amplio abanico de desórdenes inmunológicos, reproductivos y de crecimiento. Su alta afinidad química con la materia orgánica, especialmente el tejido graso, era la responsable de las dramáticas tasas de bioacumulación y su extensión a la cadena alimenticia.

Un incidente muy conocido entre otros es el ocurrido en Japón en 1968, el cual llamó la atención en cuanto al grado de toxicidad del PCB cuando el aceite de arroz de una fábrica industrial de alimentos se contaminó con PCB. Esto sucedió en Yusho, Japón, y fue debido a la fuga de este compuesto que se presentó en un intercambiador de calor. Las consecuencias fueron lamentables pues no fueron pocas las personas que consumieron ese aceite y sufrieron diversos daños a la salud. Entre los síntomas inmediatos se reportaron: cloracné, cambios en la pigmentación de la piel, mareos, dolor y debilidad en las extremidades, malestares gastrointestinales y trastornos en la reproducción. Los niños nacidos de madres que habían ingerido el aceite se caracterizaron por síntomas como los mencionados además de poseer bajo peso al nacer, párpados hinchados e irrupción temprana de los dientes. En 1972 Japón prohibió las importaciones y producción de PCB como resultado del mencionado incidente. En 1976, Estados Unidos empezó a elaborar normas para el manejo de los Bifenilos mientras que al mismo tiempo se detenía la

producción y posteriormente, en 1979, prohibió el uso de estos compuestos. Por sus efectos cancerígenos, la Organización Mundial de la Salud, recomendó en la década de los ochenta, la suspensión del uso de PCB y en diversos países dejaron de usarse. Tal fue el caso de Canadá que para 1977 la fabricación y aplicación de PCB fue prohibida. Sin embargo, en otros países como México todavía continuaron utilizándose por un corto tiempo.

En el caso de la república de México, el problema también fue una realidad. En cierta reunión contra Tiraderos Tóxicos y Radioactivos, efectuada en Guerrero la mañana del 24 de octubre de 1998, se presentó por parte de vecinos de la localidad una denuncia sobre la existencia en cierta población de una fuente de contaminación propiedad de la Comisión Federal de Electricidad la que consistía en un peligroso confinamiento de un material de desecho conocido como "Askarel", contenido en tambos de 200 litros que se utilizó en transformadores desde hacia unos 10 años aproximadamente.

Los miembros de la comunidad mencionaron que entre los habitantes aledaños se habían presentado algunos casos de anencefalia. Dijeron que el tiradero se había establecido en el lugar desde hacia unos 15 o 16 años. Algunos de los recién establecidos miembros de la autoridad municipal de Praxedis, también se manifestaron preocupados por el asunto y solicitaron información referente a los Askareles.

Monsanto, el centro mundial de la producción de los Bifenilos Policlorados paró la fabricación de PCB en 1977, fecha en que fue prohibida la fabricación del mismo por EE.UU. Sin embargo los efectos persisten en el mundo entero.

La diseminación de dispositivos eléctricos con Askareles en su interior alcanzo a países Centroamericanos. El 11 de Diciembre de 1992 se celebro en

Panamá la XIII Cumbre de Presidentes de Centroamérica para un Acuerdo Regional sobre el movimiento de desechos peligrosos entre los cuales figuran los Bifenilos Policlorados.

La producción comercial de los PCB inicio a principios del siglo pasado. El surgimiento de los PCB o Askareles, como comúnmente se les conoce, fue en realidad la respuesta a la necesidad en la industria eléctrica de un líquido refrigerante y aislante más seguro para los transformadores y condensadores. Antes de haber identificado el peligro del mismo, ya entre los años de 1929 y 1977 se habían producido alrededor de 1.2 millones de toneladas de PCB, principalmente en Estados Unidos, Alemania del Este, y en menor grado en Japón, Francia, Reino Unido, la antigua República de Checoslovaquia, Italia y España. De acuerdo al país donde fueran fabricados su nombre podría variar. La marca comercial de Aroclor fue muy conocida, así mismo también como Askarel.

Los PCB fueron manufacturados como fluidos dieléctricos para transformadores los cuales eran usualmente combinados con ciertos solventes orgánicos para que la mezcla resultara en un aceite de aceptables condiciones dieléctricas y al mismo tiempo pudiera tener una consistencia ideal para poder circular dentro del equipo por lo que el aceite no es normalmente un aceite PCB puro.

En reconocimiento de los riesgos asociados con los PCB, en 1976 el Congreso de los Estados Unidos activo como ley el control de sustancias toxicas TSCA (Toxic Substances Control Act) el cual prohibió la fabricación y comercialización de PCB y cualquier producto que lo tuviera en su interior. Dicha ley requirió que la EPA (Environment Protection Agency de los Estados Unidos) promulgara regulaciones para la apropiada eliminación de PCB

desarrollando adecuadas y claras advertencias para el manejo apropiado y seguro del aceite y el equipo. Varios aspectos fueron cambiando en cuanto a estas regulaciones, sin embargo el parámetro establecido en Mayo de 1979 por la EPA para establecer que un equipo o aceite esta contaminado una vez que el mismo presente una concentración de 50 ppm de PCB es la que hasta hoy sigue estando invariable.

En la actualidad la tenencia de PCB, sea que se encuentre en equipo eléctrico en servicio o no, es un tema que interesa y preocupa a muchos países. Actualmente se llevan a cabo reuniones a nivel mundial, en el marco del Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente, para determinar la eliminación total de los Contaminantes Orgánicos Persistentes, entre los cuales figuran los Bifenilos Policlorados como parte de una “docena sucia”. Este breve repaso histórico de lo que empezó siendo un buen inicio en la industria eléctrica, es ahora un tema preocupante debido a los problemas de carácter persistente que este químico es capaz de producir.

Los Bifenilos Policlorados tuvieron una amplia aplicación siendo utilizados en líquidos hidráulicos, aceites dieléctricos, capas superficiales para el papel copia, plásticos, resinas sintetizadas, cauchos, pinturas marinas para protección del casco de la embarcación y retardadores de llamas en aceites lubricantes.

Debido a las propiedades que este compuesto tenía, su uso fue muy aceptado en especial en la industria eléctrica, en donde se le utilizó como dieléctrico en transformadores y capacitores mejorando la dimensión de la unidad, es decir, reduciéndola. Por unos 50 años la fabricación, venta y uso de más de un billón de libras de PCB fue legal en los Estados Unidos. El historial de este fluido eléctrico es en realidad extenso pero estas primeras líneas es un breve repaso que expone una realidad que ya en los inicios del siglo pasado

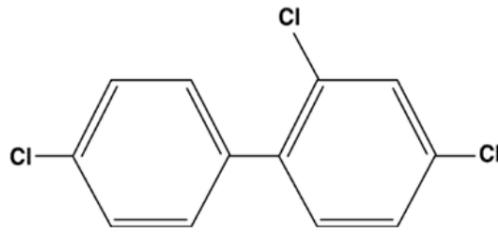
empezaba a preparar los cimientos de lo que hoy es un problema latente a nivel mundial. En realidad los Bifenilos Policlorados PCB fueron el resultado de la búsqueda de mejoras en las propiedades y comportamientos funcionales de los aceites dieléctricos. Así se desarrollaron fluidos sintéticos constituidos por compuestos clorados que presentaban cualidades ignífugas excelentes. Comercialmente se denominaron a estos aceites clorados como Askareles.

2. ASPECTOS TECNICOS

2.1 Qué son los PCB

Los PCB pertenecen a una clase de químicos orgánicos conocidos como hidrocarburos clorinados. Considerado un milagro químico, los PCB son un producto inflamable por lo que fueron ampliamente usados en lugares donde el fuego era una amenaza. El PCB pertenece a una familia de mezclas producidas con propósitos comerciales directamente de los Bifenilos Clorinados. El bifenilo policlorado comúnmente denominado (PCB) es un compuesto químico formado por cloro, carbón e hidrógeno. En terminología química, el Fenilo denota una estructura en anillo de 6 átomos de carbono unidos a algo mas; un Bifenilo resulta cuando dos de estos anillos son unidos entre si. Un Bifenilo Policlorinado (PCB) es cualquier molécula que posea átomos de cloro unidos a los átomos de carbono en un núcleo bifenilo. Los átomos de cloro pueden ser colocados en cualquiera de los 10 lugares disponibles. Así que los PCB son una clase de hidrocarburos clorados. El esquema atómico del Bifenilo Policlorado es el siguiente:

Figura 1. Esquema molecular de PCB



Fuente: Proyecto de General Electric y EPA para la descontaminación del Río Hudson.

Los PCB pueden aparecer con los nombres científicos Policloro Bifenilo, Policloro Difenilo o Bifenilo Policlorado, mundialmente conocidos como PCB (Poly Chlorinated Biphenyl) debido a que tiene una elevada concentración de este compuesto de cadena doble. Sintéticamente los PCB están formados por la unión de átomos de cloro a una molécula de bifenilo. Los Bifenilos Policlorados fueron fabricados como mezclas complejas las cuales diferían entre ellas en cuanto a su nivel promedio de cloración. Teóricamente existen 209 tipos de mezclas las cuales son conocidas como congéneres los cuales son conocidos como homólogos o isómeros de cada uno. Los materiales referidos como PCB son realmente una docena de congéneres individuales de PCB agrupados alrededor de cierto porcentaje promedio de cloración. Los congéneres pueden ser agrupados en términos del número de átomos de cloro unidos a la molécula de Bifenilo. Por ejemplo una molécula de cloro producirá un mono-clorobifenilo, dos moléculas un di-clorobifenilo, diez moléculas un deca-clorobifenilo. Cualquier molécula de bifenilo con dos o más átomos de cloro es conocido como un Poli Bifenilo Clorinado. Las propiedades físicas de los PCB varían entre los distintos homólogos. Los PCB menos clorados, por ejemplo los mono, di, tri y tetra-clorobifenilo tienden a ser fluidos con consistencia de aceite ligero. Los penta-clorobifenilos son aceites pesados y con un color muy similar al de la miel, Los PCB con más cloración son líquidos con consistencia más grasosa.

Comercializados y usados por fabricantes de equipos eléctricos, los PCB fueron designados por nombres variados a pesar que el origen de los mismos fue su fabricante en los Estados Unidos, Monsanto. Los PCB pueden existir siendo distintos entre ellos de acuerdo a la cantidad y ubicación de átomos de cloro en la molécula.

Comercialmente, se encuentran los PCB designados por su composición química, así por ejemplo, el Pyraleno 1242 sabemos que se trata de un Bifenilo con doce átomos de carbono y 42% de peso promedio de cloro. Existen muchas combinaciones y nombre comerciales de acuerdo a su país de origen.

Tabla I. Nombres comerciales de los PCB de acuerdo a su país de origen

NOMBRES COMERCIALES DE PCB	
ACELCOR PHENOCOR PYRALENO	FRANCIA
SANTOTHERM	FRANCIA/REINO UNIDO
THERMINOL	FRANCIA/EE.UU.
CLOPHEN	ALE MANIA
APIORLIO DK FRENCHLOR	ITALIA
KANECHLOR	JAPÓN
ASKAREL AROCLOR	REINO UNIDO/EE.UU.
DUCANOL PLASTIVAR PYROCLOR	REINO UNIDO
ASBELTOL BAKOLA 131 CHOREXTOL DIACLOR DYKANOL ELEMEX HYDOL INERTEEN NO FLAMOL PYDRAUL PYRANOL SAFT-KUHL	EE.UU.
SOLVOL	URSS

Fuente: Proyecto de General Electric y EPA para la descontaminación del Rio Hudson.

Según cifras estimadas por los Estados Unidos, tan solo en ese país se produjeron más de un billón de libras de PCB entre el año de 1929 y mediados de los 70, año en que se detuvo la producción. El siguiente es un detalle de las cantidades fabricadas por Monsanto de acuerdo al equipo o uso al que estaba destinado:

Tabla II. Cantidades de PCB fabricadas según GE y EPA

USO	CANTIDADES DE PCB (EN MILLONES DE LIBRAS)
CAPACITORES	630
TRANSFORMADORES	335
PLASTIFICANTES	115
LUBRICANTES Y LÍQUIDO HIDRÁULICO	80
PAPEL COPIANTE SIN CARBÓN	45
PROCESOS MISCELÁNEOS INDUSTRIALES	28
INTERCAMBIADORES DE CALOR	20

Fuente: Proyecto de General Electric y EPA para la descontaminación del Río Hudson.

Los PCB se produjeron con diferentes porcentajes de cloro. Las formulaciones comerciales de fluidos con PCB tenían distintos grados de cloración, que dependían de la aplicación para la que estaban previstos, dado que las propiedades de la mezcla, y por ello su aplicación, varían con el grado de cloración. Por ejemplo, el Aroclor 1242, con un contenido de cloro del 42%, se utilizaba especialmente como dieléctrico en circuitos de control del suministro eléctrico, mientras que el Aroclor 1260, con un contenido de cloro del 60% y debido a su estabilidad a largo plazo, se utilizaba en los transformadores eléctricos. Algunas formulaciones pueden contener disolventes como el triclorobenceno el tetraclorobenceno, especialmente en transformadores,

porque su presencia aumenta la fluidez del refrigerante sin que su capacidad dieléctrica disminuya.

2.2 Mecanismos de dispersión de los PCB

Los Bifenilos Policlorados son sustancias persistentes y acumulativas en el ambiente. Muchas de las características que hacen que los PCB sean ideales para ciertas aplicaciones industriales dan origen a problemas cuando se liberan al medio ambiente. Debido a que los PCS son poco solubles en el agua y extremadamente solubles en el aceite y la grasa, tienden a irrumpir en el ecosistema acuático penetrando así el tejido biológico. La aparición de PCB en la naturaleza se debe principalmente al manejo inapropiado que le han dado empresas privadas y públicas de los sectores energético e industrial, a derrames de los equipos que los utilizan, al derrame intencional para la reutilización de los recipientes que los contienen, al deterioro de los recipientes que los contienen y a la mezcla de los aceites contaminados con aceites limpios. Así, al quedar contaminado los mantos freáticos (canales de agua subterránea que son utilizados por el hombre tanto en zonas urbanas como rurales) los PCB ingresan en las cadenas alimenticias y aparecen en los ecosistemas. Debido a esta persistencia, alta solubilidad en grasas y mala degradación, los PCS son bioacumulables en dichas cadenas. Otra forma de invasión de los PCB en el ambiente es el aceite mineral. En sí el aceite no representa un riesgo, pero es posible su contaminación al combinarse con PCB al regenerar aceite usado, utilizar sistemas de filtración contaminados, rellenar un equipo con aceite regenerado de dudosa procedencia y al utilizar depósitos contaminados para almacenar aceite limpio.

Esto puede suceder durante la vida útil, incluso después de esta, del equipo que contenga PCB en su interior. Por ello es indispensable una

supervisión estricta por parte de del personal calificados en la manipulación de sustancias substancias peligrosas, en este caso, del PCB. De igual manera es imperativo tener en cuenta que cualquier equipo que entre en contacto con PCB, incluyendo mangueras, baldes, embudos, tambores y vestimenta, puede quedar contaminado.

Por estos y otros medios, los PCB han llegado hasta los mismos hogares en la forma de leche y productos lácteos, pollo, carne roja, huevos, pescado y moluscos, alimento para niños, empaques contaminados, etc.

De las más de 1.5 millones de toneladas de PCB producidas antes de su prohibición, se calcula que por lo menos 120,000 se encuentran en el ambiente a nivel mundial. Los PCB pueden alcanzar al medio ambiente por varios medios:

- **AGUA**

Los PCB son totalmente insolubles en el agua, sin embargo pueden transportarse en ella. Es posible que los PCB se derramen accidentalmente al llevar a cabo tareas de mantenimiento de los equipos eléctricos así como filtrados frecuentes de las sustancias. Los drenajes en las subestaciones eléctricas en el interior de bóvedas descargan en drenajes municipales que eventualmente llegan a plantas de tratamiento de aguas en las cuales es seguro que no exista método alguno para la extracción particular de PCB. En el caso de subestaciones al aire libre, los líquidos se filtran en el mismo suelo o terreno de la instalación. También se pueden presentar fugas durante la operación normal de capacitores, transformadores, y otros equipos que contienen PCB.

Otra forma de contaminación del agua son los derrames y lixiviación de equipos y contenedores inadecuadamente confinados o enterrados con el fin de deshacerse de un equipo que contuvo o contiene PCB. En ocasiones estos elementos contaminados se almacenan por periodos indefinidos de tiempo sin tomar en cuenta las debidas precauciones y sin brindarles protección contra los elementos de la naturaleza. Tales podrían ser los casos de inundaciones, fuertes temblores o terremotos. El deterioro subsiguiente de los contenedores permite que el agua de lluvia transporte los PCB hasta los canales de agua subterránea, lagos y mares.

- **AIRE**

Parte de la contaminación atmosférica por PCB y los solventes organoclorados que los acompañan se produce por el calentamiento de los equipos y envases que los contienen. Sin embargo, debido a la baja volatilidad de estos contaminantes, es común su evaporación e integración a las corrientes de viento.

- **OTROS MEDIOS**

Existen otros medios de dispersión, aunque no de menor importancia. Los PCB pueden dispersarse mediante el uso de algunos plaguicidas que han sido manufacturados con PCB con la finalidad de reducir su volatilidad, lo que ha resultado en su aparición en cosechas para consumo humano y animal.

Otro medio ha sido los molusquicidas que fueron usados para tratar los cascos de los barcos que una vez fueron tratados con pinturas especiales que contenían PCB para prevenir el desarrollo de algunos moluscos, los cuales una

vez que se contaminan con el químico son ingeridos por especies de mayor tamaño que comúnmente constituyen la base alimenticia de poblaciones costeras.

Los PCB, debido a su propiedad de asimilarse a los lípidos se acumulan en los tejidos grasos. Por consiguiente, es más frecuente que se encuentren en animales que en plantas, y más en algunas especies de animales que en otras. Los PCB pueden acumularse en los sedimentos acuáticos, por lo que pueden ser consumidos en cantidades considerables por especies que se alimentan en el lecho marino y por larvas de insectos.

Otra causa de contaminación es el papel de copia sin carbón. La afinidad de los PCB con las grasas permite que la piel los absorba, y se acumulen en el hígado, riñones y otros tejidos.

Una fuente adicional de contaminación por PCB es la incineración ocurrida sin control ni conocimiento profesional en incineradores municipales y domésticos, así como la combustión de los desechos al aire libre o en instalaciones interiores en caso de incendios. El resultado de dicho evento es la aparición de dos subproductos de los PCB, las Dioxinas y Furanos, compuestos altamente peligrosos (Ver Anexo 1). Cuando la incineración del producto no se realiza con una técnica especializada para tal propósito se producen estos gases letales. Los principales casos en los que sucede esto son:

- Incineración inapropiada: lo que podría resultar de la incineración en hornos diseñados para otros propósitos o una quema inconsciente del material. Es necesario tener presente que para destruir los bifenilos policlorados no basta con lograr temperaturas elevadas junto con una buena voluntad de eliminarlos.

- Un accidente: que conlleve a incendio de las instalaciones en el área vecina al equipo que contenga Askareles o almacenes que igualmente posean líquido PCB o desecho de PCB, en el cual el humo y las emanaciones pueden contener altas concentraciones de PCB, PCDD y PCDF por lo que en estas condiciones, un incendio puede ser un verdadero promotor de transporte al medio ambiente de dichos materiales. El humo y las emanaciones pueden contaminar el aire, grandes áreas de tierra, agua y plantas en los alrededores.

Cabe destacar dos cualidades que contribuyen a que la dispersión sea un hecho:

- *La Bioacumulación:* Cuando los PCB entran al cuerpo humano y al de los animales, por la misma resistencia que tienen a la descomposición, no pueden ser expulsados mediante los procesos naturales de excreción o secreción, sino que se conservan en los tejidos grasos y en los órganos del cuerpo. Por lo tanto las personas y animales que entran en contacto con los PCB pueden acumular más y más concentraciones en su organismo.
- *La Bioampliación:* Esto ocurre cuando los PCB entran a las cadenas alimenticias de los seres humanos conservándose más y más a medida que se desplazan en la cadena alimenticia. En estas concentraciones bajas los PCB se concentran en los organismos de los animales que se encuentran en los niveles bajos en la cadena alimenticia. Citamos como ejemplo el Plancton en los océanos o los gusanos en el fondo de un río. Cuando los peces comen el Plancton o los gusanos, consumen al mismo tiempo, los PCB que se acumularon en estos primeros animales ubicados en niveles bajos de la cadena alimenticia. De esta manera son consumidos rápidamente por los individuos, u otros animales, que a su vez consumen

alimento que ya ha acumulado en su organismo PCB. De esta manera, el PCB se ha bioampliado y lo que comenzó como una concentración en el aire o en el agua va subiendo por la cadena alimenticia hasta alcanzar el nivel más alto, el ser humano.

2.3 Efectos para el medio ambiente y la salud

Como hemos visto, los Bifenilos Policlorados son sustancias químicas persistentes y bioacumulables. Los efectos sobre el ser humano y el medio ambiente son ante todo consecuencia de la exposición crónica. Al igual que muchos otros hidrocarburos clorados, los PCB se asocian con los componentes orgánicos del suelo, sedimentos y tejidos biológicos, o con el carbono orgánico disuelto en sistemas acuáticos. Las propiedades químicas de los Bifenilos Policlorados favorecen su transporte a larga distancia y se han detectado en la atmósfera, el agua y organismos árticos. Ampliamente se ha aceptado la idea de que la utilización de estas sustancias persistentes bioacumulables y tóxicas no puede considerarse como una práctica sostenible. Sin embargo, aunque ya no se producen, estas sustancias aun están presentes en equipo eléctrico en operación por lo que existe el riesgo que se liberen al medio ambiente. Es por ello importante destacar los efectos que este químico es capaz de producir. Para tener una idea mas clara de los efectos que el Bifenilo Policlorado puede tener en el medio ambiente y en la salud, empezamos entendiendo que son los COPs.

Contaminantes orgánicos persistentes COPs

Los COPs, contaminantes orgánicos persistentes, son sustancias químicas que debido a sus características fisicoquímicas resisten en alto grado la degradación fotoquímica, química y bioquímica, lo que causa que su vida

media sea elevada y por lo tanto que su efecto contaminante perdure como peligroso. A nivel mundial se enumeran doce compuestos que componen los COP: las dioxinas y furanos, aldrina, dieldrina, el DDT, endrina, clordano, hexaclorobenzeno, mirex, toxafeno, heptacloro y los PCB. Debido a esta persistencia, su concentración no disminuye y una vez que los COP han entrado en el ambiente, los mismos tienden a bioconcentrarse en los seres vivos y a bioacumularse a través del tiempo; se distribuyen con facilidad pudiéndose encontrar en forma de gas, adheridos a partículas del polvo, sedimentos, suelos, superficies de plantas e incluso en el agua y la lluvia. La definición plena de los COPs es algo más compleja de lo que las siglas implican. Además de ser persistentes (es decir, no se descomponen rápidamente), orgánicos (con una estructura molecular basada en el carbono) y contaminantes (en el sentido de ser muy tóxicos) los COP, y por ende los PCB, tienen otras dos propiedades: son solubles en grasas y por consiguiente se acumulan en los tejidos vivos y pueden viajar a grandes distancias. Estas cinco cualidades los hacen muy peligrosos. Entre los efectos adversos conocidos en casos de animales, se encuentran los que inducen a la inmunodeficiencia, fallas reproductivas, aumento en la mortalidad, deformaciones congénitas, trastornos metabólicos y lesiones tiroideas. En los seres humanos los COP pueden ser causa de disfunciones inmunitarias, neurológicas, reproductivas, alteraciones hormonales y del desarrollo, trastornos neuroconductuales y cáncer.

EFFECTOS DE LOS PCB EN LA SALUD

Los humanos y la mayoría de los animales, absorben los PCB a través de la piel, los pulmones y el aparato gastrointestinal mediante los canales o medios de transporte en los que los Bifenilos Policlorados pueden aparecer en el medio ambiente o, en el peor de los casos, por contacto directo o ingestión del mismo.

Es necesario estar al tanto de lo que representa para la salud el hecho que el Bifenilo Policlorado aparezca en los seres vivos.

Se ha demostrado que los PCB causan una variedad adversa de efectos en la salud entre los que figura el cáncer en el caso de los animales. Los estudios en el ser humano han provisto base o fundamento para concluir que el PCB tiene efectos cancerígenos y no-cancerígenos en la salud. Los distintos efectos que los PCB causan en la salud pueden estar relacionados entre sí debido a que las alteraciones en un sistema específico pueden tener significativos efectos en otro sistema del cuerpo. Así mismo son causantes de una serie de efectos adicionales en animales incluyendo efectos en el sistema inmunológico, sistema reproductivo, sistema nervioso y sistema endocrino.

- **Cáncer**

Los efectos carcinogénicos son, desde una perspectiva toxicológica, los que más preocupan en relación con los seres humanos, aunque los estudios epidemiológicos no han podido demostrar ninguna relación causal entre la exposición humana a los PCB y un aumento del riesgo de contraer algún cáncer. Los estudios realizados en animales, tales como ratas, han podido demostrar un efecto cancerígeno, lo que ha llevado a que todas las formulaciones comerciales de PCB se consideren con mucha razón "probables cancerígenos humanos". Un análisis más detallado de los estudios ha llevado a la conclusión que los PCB que causan tumores hepáticos en los roedores son más bien promotores o iniciadores de cáncer.

Los análisis realizados en seres humanos expuestos al PCB han sido preocupantes: se descubrieron casos de cáncer de hígado y la presencia de

tumores malignos. De esta manera, se confirmaría que el PCB tiene alto riesgo cancerígeno para los seres humanos.

- **Sistema Inmunológico**

Este tipo de trastorno inmunológico que se produce por exposición al PCB ha sido estudiado en los monos macacos y en otros animales, tales como roedores en los cuales se detectó toxicidad en el hígado. Es importante mencionar que el sistema inmunológico de estos monos y de los seres humanos es muy similar, por ello los estudios se han realizado en estos animales. Las investigaciones revelaron que la exposición al PCB puede causar una gran cantidad de efectos sobre el sistema inmunológico, como una disminución del tamaño de la glándula timo en los monos pequeños, una reducción de las defensas inmunológicas afectando la creación de anticuerpos. Cuando se debilita el sistema inmunológico, el individuo es más susceptible a contraer neumonía e infecciones virales. Si el sistema inmunológico está afectado, el organismo está más expuesto a contraer cáncer. Estos trastornos se observaron en los humanos que consumieron aceite de arroz contaminado en Yusho, Japón.

- **Sistema reproductivo**

Así mismo, los efectos sobre el sistema reproductivo han sido estudiados también en los monos macacos, ratas y visones, encontrándose varios trastornos en ellos. En primer lugar, se redujo el peso de la cría al nacer y disminuyeron los índices de fecundación y la tasa de natalidad. Los estudios también se llevaron a cabo en humanos, en especial en mujeres que han

estado accidentalmente en contacto con el PCB. En estos casos se observó disminución del peso al nacer y del tiempo de gestación.

- **Sistema nervioso**

Los monos recién nacidos presentaban un déficit muy importante en el desarrollo neurológico, incluyendo el reconocimiento visual, la capacidad de memoria a corto plazo y las aptitudes para aprender e incorporar conocimientos. En algunos casos los estudios fueron realizados en función de los tipos de PCB encontrados comúnmente en la leche materna humana. Los resultados de las investigaciones realizadas en los seres humanos han sido similares a los trastornos encontrados en los monos. Estas semejanzas comprueban los trastornos que el PCB puede causar en el comportamiento humano.

- **Sistema endocrinológico**

El sistema endocrino está compuesto por glándulas y por hormonas. La glándula pituitaria, la tiroides, el páncreas, las glándulas suprarrenales, las gónadas masculinas (testículos) y las femeninas (ovarios), en conjunto, secretan sustancias en la sangre para regular el funcionamiento normal del cuerpo. Los PCB dificultan la producción de hormonas, las degradan, incluso impiden su recepción por parte de tejidos y órganos vitales.

Está demostrado que el PCB causa trastornos en el sistema endocrinológico disminuyendo el nivel de la hormona tiroides, la cual es fundamental para el normal crecimiento y desarrollo. Adicionalmente se ha observado como el químico causó trastornos en la audición de roedores. En estudios realizados en los países bajos y Japón se ha relacionado en definitiva

la contaminación con PCB con la disminución del nivel de la hormona tiroides. Otro aspecto relevante es el hecho que entre los efectos tóxicos de los PCB cabe citar la pérdida de peso corporal quedando claro que el sistema endocrinológico sufre trastornos.

- **Otros efectos**

Entre los efectos adversos que afectan la salud de maneras distintas a las ya mencionadas son, entre otras, el cloracné (lesiones cutáneas), un trastorno dermatológico reversible, y otros trastornos del sistema nervioso central que causan dolores de cabeza, mareos, depresiones, nerviosismo y fatiga. También cabe mencionar cambios en las actividades hepáticas y enzimáticas conexas derivadas de la exposición crónica al PCB. El aumento de la presión arterial, los triglicéridos y el colesterol también son problemas que han sido relacionados con la contaminación de PCB en seres humanos.

Según la EPA, los PCB son altamente cancerígenos, tendiendo a producir tumores, y pueden causar defectos desde el nacimiento. Otros problemas que estos químicos pueden causar en la salud del ser humano son los siguientes:

- Pérdida progresiva de peso corporal
- Daños en la médula ósea
- Dolor abdominal
- Entumecimiento de las extremidades
- Hinchazón de las articulaciones
- Tos crónica
- Irregularidad menstrual
- Desarrollo anormal de la dentadura

- Nacimientos de bajo peso
- Hiperpigmentación
- Fatiga
- Dolor de cabeza
- Disfunción hepática
- Cambios en la conducta
- Daño ocular.

Es necesario recordar que tras el incidente ocurrido en Yusho, Japón, se observó que los niños nacidos de madres que habían ingerido alimento contaminado con PCB se caracterizaron por la pigmentación oscura de su piel, bajo peso al nacer, párpados hinchados e irrupción temprana de los dientes y bajo coeficiente intelectual, trastornos que se listaron anteriormente.

Los PCB tienen dos propiedades adversas adicionales: son químicos que pueden inhibir la deposición de calcio durante el desarrollo de la cáscara de huevo, ocasionando fragilidad en la cáscara y pérdidas prematuras. Además, producen efectos perjudiciales en la capacidad reproductiva de los machos de algunas especies de aves y otros animales. Conviene destacar que los efectos que los PCB para la salud y el medio ambiente son actualmente objeto de considerable atención científica en todo el mundo

REDUCCION A LA EXPOSICION

En vista de estos antecedentes, es necesario tomar en cuenta ciertos lineamientos para reducir la exposición que pueda provocar problemas en la salud observando las siguientes instrucciones:

- Evalúe el nivel potencia de exposición a los PCB, incluso a los subproductos de estos, los PCDD y PCDF, lo cual requerirá muestreos de aire, suelo y superficies. (En el Anexo No. 1 se explica la procedencia de estos subproductos)
- Utilice un equipo o vestimenta de protección personal, lo cual implica ropa específica como overoles, guantes antiquímicos o incluso, equipo mas sofisticado como respiradores, los cuales se detallan mas adelante y se clasifican en función del grado de exposición al PCB.
- Mantener una buena higiene personal.
- Capacitar y documentar al personal que entre en contacto con cualquier material PCB para efectos de una gestión apropiada del equipo con PCB y del mismo líquido químico.
- Proporcionar un programa de monitoreo medico de ser necesario debido a que el ser humano podría llegar a estar expuesto a cantidades mínimas o incluso significativas de PCB. Los niveles de exposición que resulten en concentraciones en el torrente sanguíneo entre rangos de unas cuantas partes por trillón a unas cuantas partes por billón, difícilmente causarán efectos en la salud humana. Sin embargo, para periodos largos de exposición, se empezará a notar los efectos asociados con los PCB: acné, hinchazón de parpados, hiperpigmentación de las uñas, espasmos musculares, debilidad, etc. Una concentración de 600 µg/lit se relaciona con problemas hepáticos.

2.4 Propiedades físicas, químicas y eléctricas de los PCB

Los Bifenilos Policlorados han sido utilizados en aplicaciones distintas en equipos eléctricos como fluido dieléctrico. En el caso de la compañía Monsanto,

los PCB que en ella se produjeron eran mas conocidos por Arocloros y sus cualidades variaban entre si dependiendo del tipo de Aroclor. Los mas utilizados para preparar equipo eléctrico fueron el Aroclor 1242, Aroclor 1254 y Aroclor 1260. Por lo general, a la familia de Arocloros se les denominaba Askareles y sus propiedades variaban entre si dependiendo del porcentaje de cloro. Las funciones mas importantes exigidas a un fluido dieléctrico son el aislamiento eléctrico y la refrigeración del calor producido por pérdidas, razones por las cuales el Askarel o PCB fue un producto de mucho futuro en la industria química; claro: antes de que sus desventajas salieran a luz.

Para que un fluido dieléctrico se clasifique como tal es necesario que posea las siguientes propiedades:

- Baja viscosidad
- Alto punto de inflamación
- Alta rigidez dieléctrica
- Buena estabilidad química
- Bajo punto de congelación
- Ser inerte frente a los materiales que bañan.

El Askarel, uno de tantos PCB, posee características ventajosas que le hicieron ideal como dieléctrico en equipos como transformadores y condensadores, en sustitución de los tradicionales aceites minerales. Entre ellas tenemos:

- Permitividad, doble que los aceites minerales
- Rigidez dieléctrica, muy superior a la de los aceites
- Factor de pérdidas, similar a los aceites

- Estabilidad química, muy superior a la de los aceites
- Viscosidad, no variable con el envejecimiento
- Inflamabilidad.

Propiedades Físicas

- Indisolubles en el agua
- Se presentan como líquidos más o menos viscoso, incoloro y limpio. Algunos presentan un color un tanto amarillo, similar al de la miel
- En comparación con los aceites presentan una mayor densidad la cual varia entre 1,27 y 1,55 gr/cm a 100° C
- Las pérdidas por evaporación son insignificantes
- Alto punto de ebullición.

Propiedades Químicas

- Actúan como disolventes de algunos productos tales como lacas, barnices, etc., lo cual constituye un aspecto muy significativo que en su tiempo de plena explotación se tuvo que tener en cuenta para la elección de los materiales que iban a quedar sumergidos en el líquido dieléctrico.
- La descomposición del PCB por el arco eléctrico no produce hidrógeno sino casi exclusivamente ácido clorhídrico, el cual no es combustible.
- Dada su alta estabilidad química resulta sencillo detectar cualquier alteración del fluido con lo que pueden prevenirse los efectos de una avería debido a la presencia de cloruros hidrolizados y el contenido de cloro térmicamente inestable. Conociendo datos acerca de estos dos componentes podemos saber la degradación que ha sufrido el Askarel con el uso. El PCB no es oxidable, ni aumenta su acidez con los cambios

de temperatura y su viscosidad tampoco cambia con el envejecimiento. Dicha estabilidad se presenta igualmente en presencia de oxígeno o de aire, incluso en caliente. Es por igual, resistente a la mayoría de los agentes químicos.

- A diferencia de los aceites minerales, la descomposición de los Askareles por el arco eléctrico no produce hidrógeno capaz de producir con el aire una mezcla explosiva, sino, casi exclusivamente ácido clorhídrico, que no es combustible. Sin embargo, como todo producto orgánico, se puede llegar a someter al producto a una combustión forzada situándolo en un foco de ignición, normalmente accidental, pero se apaga tan pronto como el Askarel se aleja de dicho foco.
- Una de las más relevantes propiedades es su inflamabilidad, consecuencia de su fuerte contenido en cloro, lo cual es si, era una gran ventaja frente al uso del aceite mineral.
- Resistente a reacciones de fotodegradación.
- Resistentes a la hidrólisis ácida y básica.
- No metabolizable.
- Alta estabilidad térmica. Las temperaturas a las que sería necesario calentar el líquido para hacer aparecer indicios de descomposición son considerablemente más elevadas que las temperaturas de funcionamiento de los equipos eléctricos. Por ejemplo, calentando el Pyraleno a 210 grados C durante 16 horas, al mismo tiempo que se hace hervir agua en su seno, solo aparecen unas décimas de ppm de cloro ionizable.
- No biodegradable.

Propiedades Eléctricas

- Ni las pérdidas dieléctricas, ni la permitividad de los Askareles, están influenciados por la variación de la tensión aplicada ni por la duración del tiempo de funcionamiento, dentro de los valores normales en aplicación.
- La rigidez dieléctrica, que tiene un valor muy elevado, se mantiene, aún cuando el askarel está contaminado por impurezas en suspensión (aquellas que no se depositan en el fondo del equipo). La alta rigidez dieléctrica del Askarel permite la reducción de tamaño del equipo eléctrico.
- En estado nuevo sus pérdidas dieléctricas, su resistividad y su tensión de perforación son del mismo orden de magnitud que las de los aceites minerales.

Todo este conjunto de propiedades son las que hicieron de los Bifenilos Policlorados materiales bastante deseados para una amplia variedad de aplicaciones eléctricas.

2.5 Inconvenientes de los Askareles

Cierto es que los PCB tienen ventajas que los hicieron muy deseados. Sin embargo, también los Askareles tienen algunos inconvenientes derivados principalmente de su naturaleza química. Entre estos podemos mencionar:

- Actúan como disolventes de las resinas aislantes, por lo que, en la fabricación de transformadores cuyo fluido dieléctrico refrigerante sea del tipo PCB, han de utilizarse materiales especialmente inertes. Esto fue un

aspecto importante que se tuvo en cuenta en la fabricación de equipo eléctrico.

- No son aptos para ser utilizados en interruptores, ya que, por efecto del arco eléctrico, se produce una alta concentración de ácido clorhídrico que, por ser corrosivo, podría atacar al contenedor o a los polos del interruptor produciendo fugas que darían lugar a consiguientes problemas.
- El precio del Askarel originalmente fue superior al de los aceites minerales. Sin embargo este inconveniente se minimizaba en parte por el menor volumen de fluido necesario en el elemento eléctrico.
- No es biodegradable, por lo que junto con sus residuos deben ser cuidadosamente tratados.
- Los gases producidos por el Askarel cuando está sometido a temperaturas elevadas, son tóxicos. Por pirólisis (combustión con deficiencia de oxígeno), el Askarel puede dar nacimiento a moléculas tóxicas, PCDD y PCDF (dioxinas y furanos). Estas se producen a partir de 300° C en forma leve y de manera más acentuada a partir de los 650° C.
- Son bioacumulables y “no biodegradables”. Realmente los Bifenilos Policlorados fueron un material para la industria eléctrica muy atractivo mientras que sus efectos adversos no se pusieron en evidencia. Los problemas ambientales y de salud fueron el foco de la atención mundial a partir de accidentes que tuvieron como secuela contaminación de ambientes, fauna y finalmente seres humanos. Así que las propiedades que una vez los hicieron valiosos son las que después causaron problemas una vez que estos se liberaban al medio ambiente. Cuando los PCB se liberan pueden migrar al suelo, al agua y al aire abarcando grandes distancias contaminando tanto el área local como áreas vecinas

y lejanas. La bioacumulación ocurre cuando los PCB entran al cuerpo humano o animal a través del aire, los alimentos y la piel. Puesto que los PCB son resistentes a la descomposición se almacenan y se concentran en el cuerpo, produciendo la bioacumulación. En realidad, este hecho puede darse desde niveles bajos en una cadena alimenticia. Por ejemplo cuando peces contaminados con PCB llegan a ser alimento para otros seres en un nivel mas alto (incluyendo seres humanos) estos últimos pueden llegar a tener concentraciones más altas de contaminación. A diferencia de muchas otras moléculas basadas en hidrocarburos, el cloro en los PCB es lo que hace que sean muy resistentes a la degradación natural por lo que una vez liberados en el medio ambiente o en la atmósfera persisten por un largo tiempo. Por lo que entre mas alta sea la concentración de cloro, más difícil es su degradación natural. La contaminación del aire, la tierra, edificios, plantas y cualquier alrededor puede llegar a estar completamente inutilizable una vez que este contaminado.

3. CONSIDERACIONES ACERCA DE LOS ASKARELES

Actualmente ya no se fabrican los PCB para incluirlos como parte integral del equipo en la industria eléctrica. La producción de PCB cesó en la década de los 70 durante el siglo pasado a raíz de los problemas de carácter persistente que causó dicho producto químico. Sin embargo todavía existe equipo en funcionamiento que lo contiene, incluso equipo fuera de uso, siendo este el caso de diversos equipos de transformación y capacitores. Incluso como se explicará mas adelante, podríamos encontrarnos con equipo que, estando construido a base de aceite mineral, pueda contener líquido dieléctrico que esté contaminado con PCB. El siguiente apartado es de suma importancia para el seguimiento, manipulación y las distintas decisiones a tomar en cuanto al equipo que contenga o que halla contenido Askarel, así también como del mismo líquido químico PCB. En vista que todavía podemos hallar que existe equipo eléctrico en operación, será de mucha utilidad saber ciertas consideraciones acerca de los PCB.

3.1 Alteración del Askarel

Como hemos visto, los Bifenilos Policlorados, poseen una gran estabilidad química. Sin embargo, a pesar de esta notable característica, los Askareles utilizados en equipo eléctrico en servicio de transformación efectivamente pueden sufrir alteraciones.

Dichas alteraciones pueden producirse en las siguientes circunstancias:

- Transformadores en servicio normal

- Transformadores en servicio anormal, condición en la cual la alteración es ocasionada por la presencia de arco eléctrico.

3.1.1 Transformadores en servicio normal

No es normal que el PCB contenido en un transformador en servicio normal sufra alteraciones que pueden provocar cambios en las propiedades básicas del mismo. Normalmente no existe ninguna evolución por oxidación susceptible de provocar una acidificación del producto con formación de lodos o de humedad. Sin embargo, en determinados casos, la cantidad de PCB puede, en efecto, sufrir evolución debida principalmente a las siguientes causas:

- 1- Contaminación del PCB por disolución de elementos de los materiales de construcción del transformador y otros productos extraños.
- 2- Absorción de humedad.
- 3- Modificación de la composición por pérdida de partes volátiles.

3.1.1.1 Contaminación del Askarel

La contaminación es la causa más frecuente de evolución del Askarel en equipo eléctrico como los transformadores. Los Askareles son buenos disolventes y tienen tendencia a disolver o a hinchar más o menos ciertos constituyentes de los materiales aislantes clásicos, en particular aquellos materiales en cuya composición entran barnices grasos, resinas termoplásticas, cauchos, alquitranes, resinas, etc.

Los constructores de transformadores conocían bien este hecho y por ello seleccionaban en principio sus materiales teniendo en cuenta su comportamiento frente al Askarel. Pero hasta el día de hoy, es cierto que no se

puede exigir un comportamiento perfecto en los materiales corrientes y siempre existe la necesidad de admitir una cierta tolerancia de contaminación. Por otra parte, puede ocurrir que ciertos materiales que han sido aceptados como compatibles sufran variaciones de calidad de una fabricación a otra y que ciertas entregas provoquen una contaminación más elevada que la normal, como en el caso, por ejemplo, de los cartones.

Se podrían igualmente haber producido errores en la selección de materiales, resultando en una contaminación de la carga del Askarel del transformador en el que están sumergidos los materiales.

Esta contaminación se manifiesta de la manera siguiente: en primer lugar, se aprecia una coloración más o menos intensa del Askarel, habitualmente de color pardo o anaranjado, algunas veces azul o verde. Simultáneamente aumentan las pérdidas dieléctricas y disminuye la resistividad. Esto origina una disminución de la resistencia de aislamiento del transformador. Por el contrario, la tensión de perforación se mantiene en general buena e incluso aumenta. Puede ocurrir sin embargo, que ciertas sustancias se disgregan y el líquido contenga materia en suspensión. La tensión de perforación en estas circunstancias entonces disminuye.

Dado que la tensión de perforación en general se mantiene estable e incluso aumenta, la elevación de pérdidas y la caída de la resistividad que resultan de la contaminación del Askarel, mientras no sean excesivas, no representan peligro para el transformador. A este respecto la situación es totalmente diferente a la de los transformadores en aceite mineral.

En el caso del aceite mineral la contaminación actúa poco sobre las pérdidas y la resistividad, ya que las impurezas electrolizables disueltas se

encuentran poco disgregadas. Ahora bien, las pérdidas aumentan y la resistividad baja cuando el aceite ha sufrido una evolución por oxidación con formación de aceites y de agua. Esta evolución viene acompañada de una baja notable de la rigidez dieléctrica. Se corre el riesgo de que los ácidos formados alteren los aislantes celulósicos y los lodos que se depositan perjudiquen la refrigeración de la parte activa.

La disminución de la resistividad y la elevación de las pérdidas del aceite indican, por lo tanto, un peligro para el transformador ya que vienen acompañados automáticamente de una elevación de la acidez y de una pérdida de rigidez dieléctrica.

Por el contrario, si se examina la acidez del Askarel contaminado, se puede comprobar que es muy débil o nula. La débil acidez que se puede encontrar procede de la puesta en libertad de pequeñas cantidades de ciertos elementos de naturaleza ácida (por ejemplo: ácido tánico) o fenólica (fenoles, cresoles), que proceden de ciertos aislantes sintéticos como poliésteres y baquelitas y pueden no estar totalmente combinados.

Constituye un caso especial la contaminación del Askarel por mezcla con otros líquidos aislantes, especialmente con aceite mineral. Aunque es un caso poco común, puede presentarse cuando se tienen en explotación transformadores de aceite en las cercanías de transformadores en Askarel. Podrían ser mezclados ambos líquidos cuando por error se completa el nivel de un transformador en Askarel con aceite. Si la cantidad de aceite añadida es muy débil, las consecuencias inmediatas del incidente son mínimas pero, el aceite así diluido por un disolvente polar, evolucionará rápidamente produciendo una acidificación con baja de las propiedades aislantes y de la

rigidez dieléctrica. Además, si la cantidad de aceite añadido es relativamente alta, el Askarel ya no será totalmente inflamable.

3.1.1.2 Absorción de la humedad

Este tipo de alteración puede producirse por una absorción de humedad en aquellos transformadores que respiran libremente sin dispositivo desecador de aire en el circuito de respiración, o cuando este desecador está saturado de humedad y no ha sido sustituido. También puede ocurrir cuando el transformador que es de tipo totalmente cerrado tiene la junta deteriorada. Es mucho menos frecuente en el caso de una construcción con conservador, ya que este elemento se opone a la penetración de agua en la cuba. En estas condiciones puede producirse una condensación de agua en el transformador. Esta agua empieza a disolverse en el Askarel hasta saturarlo. Cuando el Askarel está saturado el agua se separa en emulsión produciendo una turbidez blanquecina que por reposo se resuelve en dos capas, formando el agua una especie de velo que recubre el PCB.

La solubilidad del agua aumenta con la temperatura. En consecuencia, puede ocurrir que el Askarel no se encuentre saturado en caliente pero que resulte sobresaturado en frío. En este caso, el PCB límpido en caliente, se enturbia al enfriarse.

La disolución de agua en el Askarel constituye un peligro para el transformador, ya que baja notablemente su tensión de perforación. La presencia de agua en el transformador debe ser resuelta como prioridad ya que constituye la principal causa de fallos de los transformadores en Askarel. No está de más decir que es la principal causa de falla en transformadores en Askarel ya que en el PCB no existen prácticamente otras posibilidades de fallo;

después de todo, la introducción de humedad se considera en general menos nociva para un transformador en Askarel que para un transformador en aceite.

Este tipo de contaminación se debe principalmente al deterioro de alguna de las juntas del equipo eléctrico. La absorción de agua pudiera llegar a saturar el PCB por disolución del agua en el mismo.

1.1.1.1 Modificación de la composición por pérdida de partes volátiles

Cuando el transformador respira y se calienta mucho, puede producirse una modificación de la composición del Askarel por pérdida de partes volátiles. El Pyraleno es una mezcla de Difenilo Hexaclorado y de Triclorobencenos. Estos dos productos tienen una diferencia notable de tensión de vapor. Mientras el Difenilo Clorado presenta una tensión de vapor prácticamente nula dentro de las temperaturas de trabajo de los transformadores, los Triclorobencenos presentan una tensión de vapor aproximadamente de 0,4 mm de mercurio a 25° C y de 5 mm a 70° C. Por lo tanto los vapores producidos contienen una proporción elevada de Triclorobencenos, aumentando la concentración de Difenilo Clorado en el líquido y, por lo tanto, también su viscosidad y el punto de congelación.

3.1.2 Transformadores en servicio anormal

Otro tipo de alteración que puede producirse en el Askarel es cuando el mismo trabaja de manera anormal lo que sucede cuando por uno u otro motivo ocurren efluvios y sobre todo perforaciones en el interior del equipo.

El Askarel puede sufrir entonces una verdadera degradación química bajo el efecto de emisión de pequeñas partículas o vapores y arco eléctrico. La

materia es en parte destruida con formación de carbono, lo que implicaría degradación del papel de las partes activas, y la formación de gases. Muy a menudo las unidades van provistas de un relé Buchholz que desconecta el transformador en cuanto se desprenden gases. El Askarel adquiere entonces un color negruzco muy característico debido a la suspensión de carbono coloidal, pudiéndose detectar la presencia de iones cloro en el líquido. Su tensión de perforación y sus propiedades aislantes son malas. En estos casos, aunque está de mas mencionarlo, pero la unidad debe ser sacada de operación para ser sometida a una serie de consideraciones y decisiones en cuanto a su nueva puesta en operación. En caso que el equipo eléctrico se encuentre en buen estado, será necesario considerar si el líquido dieléctrico puede ser descontaminado de PCB para efectos de poder seguir explotando el equipo hasta el final de su vida útil o aplicar algún método de descontaminación del equipo como por ejemplo el relleno del mismo pero con un aceite libre de PCB. Si el equipo esta cercano al final de su vida útil, el mismo podría empezar a listarse para formar parte de un inventario de PCB.

3.2 Manipulación del Askarel

No cabe duda que uno de los mayores compromisos en cuanto a la tenencia de los Bifenilos Policlorados o Askareles es su manipulación. Debido a la falta de información puntual, leyes normativas, y la carencia de conocimiento de las medidas de precaución y seguridad que deben ser tenidas en cuenta, la probabilidad de manipular de manera incorrecta este fluido es alta.

Antes de permitir que cualquier operario manipule equipo que contenga Askarel, se deben entender bien las precauciones a tomar así como los requerimientos en materia de primeros auxilios.

El personal que use la vestimenta de protección debe estar entrenado para su uso teniendo conocimiento de la responsabilidad que adquieren al manipular PCB, equipo que lo contenga o lo haya contenido. El ente que suministre dicha vestimenta de protección es responsable de proveer dicho entrenamiento.

Toda manipulación de PCB debe ser organizada y planificada con suficiente antelación para que las contingencias estén debidamente previstas. Parte de esta planificación incluye la identificación de los procedimientos que deberán seguir los operarios y el entrenamiento necesario.

Debe tenerse en cuenta los siguientes aspectos antes de cualquier manipulación:

- Problemas ecológicos
- Problemas de toxicidad

1.1.1 Problemas ecológicos

Los problemas de tipo ecológico están derivados del hecho que el PCB no es un fluido biodegradable, como ya hemos mencionado. En este sentido, deben tomarse todas las medidas necesarias para evitar cualquier tipo de secuela derivada del mal manejo del fluido lo que bien podría ser el derrame de PCB en el medio ambiente, ya sea a través de acueductos, alcantarillas, etc, cuyo contenido puede terminar en ríos y finalmente en el mar.

En la manipulación de PCB deben tomarse una serie de precauciones que garanticen la eliminación de riesgos de contaminación al medio ambiente y al personal que ha de manipularlos.

1.1.2 Toxicidad propia del PCB

La toxicidad de un producto puede comprenderse a partir de la penetración del mismo en el organismo por alguna vía de incorporación de manera que tal producto se revele como toxico. En este sentido, el Askarel podría ser manipulado toda su vida a temperatura ambiente y con las protecciones cutáneas apropiadas y nunca tendríamos ningún tipo de problema. En contraste, si el producto penetra en el organismo, sufre entonces una distribución que puede fijarse con o sin producción de alteraciones al nivel de los órganos blandos, puede sufrir una metabolización, un almacenamiento y una eliminación, aunque no normal, por diferentes vías posibles.

La Organización Mundial de la Salud (OMS) en su publicación "Criterios de higiene en ambiente no. 2 Policlorobifenilos y Policloroterfenilos" hace la síntesis de los datos admitidos por el conjunto de las comunidades científicas internacionales informando que la toxicidad aguda de los PCB es pequeña pero, que en caso de administración prolongada, los efectos son acumulativos.

Es este el primer gran problema de los PCB, que resulta grave en condiciones de empleo frecuente y mal vigilado, o incluso accidentales, en caso de absorción involuntaria.

Intervienen varios criterios en la toxicidad de los productos compuestos tales como el PCB.

- Los diversos constituyentes, sin olvidar las impurezas eventualmente contenidas
- El organismo alcanzado (hombre, mujer, niño, especie animal)
- El tipo de toxicidad

En efecto se distingue:

- Toxicidad aguda para una dosis única tomada de una vez
- Toxicidad subaguda para dosis repartidas en algunos días
- Toxicidad a largo plazo: toxicidad crónica para pequeñas dosis repartidas en un tiempo prolongado, cancerogénesis, acción en la reproducción con estudio de la fecundidad, hembriotoxicidad fetotoxicidad, teratogénesis o mutagénesis

Toxicidad aguda de los PCB en el hombre

La mayor parte de los estudios sobre la toxicidad de los PCB han sido efectuados con mezclas comerciales. La toxicidad aguda es calificada como pequeña o moderada. Sea como fuere, el hombre parece ser una de las especies más sensibles a los PCB en toxicidad aguda, y las manifestaciones tóxicas específicas son probablemente imputables a las impurezas tóxicas y pueden ser en vías metabólicas bien particulares.

Actualmente, no se conoce ningún tipo de informe en la literatura existente que reporte algún fallecimiento directo hasta hoy en día por la ingestión de PCB de una intoxicación masiva por vía cutánea o pulmonar.

Toxicidad subaguda en el hombre

Esta toxicidad puede expresarse por el cloragenado, una hipertrofia hepática y una clase de bronquitis. Este tipo de problemas reversibles pueden necesitar cierto tiempo para la curación. En este caso el sistema nervioso central no ha sido alcanzado, aunque ciertos enfermos de Yusho, Japón se quejaban de un entorpecimiento de los miembros y de síntomas generales. Se ha estimado, después del accidente de Yusho, en 0.5g la cantidad de PCB ingerido en 120 días aproximadamente, pasada la cual aparecen síntomas de intoxicación es decir 4.2mg/día.

Cancerogénesis en el hombre

Ningún dato epidemiológico hace pensar que los PCB produzcan tumores en el ser humano. Existen contradicciones entre los contenidos altos observados en individuos expuestos a los PCB y que no presentaban efectos tóxicos luego de comprobaciones determinadas en animales donde se pueden producir carcinomas hepatocelulares, en los ratones o las ratas, pero es cierto para dosis proporcionalmente importantes y aproximadas a dosis que provocan una intoxicación general.

Sin embargo, los PCB se figuran actualmente en la IARC (Asociación Internacional de Investigación del Cáncer) como un producto que está demostrado por pruebas suficientes para clasificarlos como cancerígenos en el caso de los animales. Sin embargo, para el ser humano, la evidencia no es absoluta sino más bien relativa. Por ello dicha entidad los clasifica como posibles causantes de cáncer. Sin embargo la evidencia observada en seres humanos que estuvieron expuestos a los PCB, es muy sugerente.

3.2.3 Exposiciones a los PCB

La exposición a los PCB pueden resultar de la manipulación de equipos que lo contengan o lo hayan contenido y la toma de muestras sin utilizar equipo apropiado de protección personal, así mismo de limpiezas de locales contaminados, sin precauciones especiales, es decir, sin ropas impermeables a los Askareles en circunstancias accidentales, como por ejemplo, un esparcimiento a consecuencia de una manipulación con rotura de material, la explosión de un transformador o un incendio en área cercana.

La manipulación de condensadores o transformadores con fugas es igualmente una fuente de exposición lo cual puede suceder con frecuencia en las industrias ocurriendo exposiciones importantes a consecuencias de contactos con aceites dieléctricos, líquidos de sistemas hidráulicos, barnices, pinturas, etc.

Los estudios de estas exposiciones así como el examen de las más de mil personas intoxicadas por el aceite de arroz contaminado por PCB en el accidente ocurrido en Yusho, Japón, han permitido conocer mejor los efectos de los PCB en el hombre y, por consiguiente su toxicidad.

Por último la aportación cotidiana de PCB por el aire, al agua y los alimentos de los sujetos no expuestos profesionalmente puede ser relativamente significativa. A menudo, la exposición es el resultado del contacto o la utilización de este producto no biodegradable sin precauciones rigurosas. A este respecto, se puede apreciar la dificultad que supone calcular la parte correspondiente a la aportación cotidiana debido al ambiente y a la exposición profesional si esta es pequeña, eventualidad que afortunadamente es la más frecuente en la mayoría de casos.

1.1.1 Penetración y distribución del producto en el organismo

Es importante conocer las distintas vías de incorporación del Bifenilo Policlorado hacia el organismo ya que esto nos permite identificar los riesgos para las personas puestas en presencia de este tipo de contaminante persistente debido a algún tipo de actividad normal o accidental.

- Vía Ingestión: La vía por ingestión ocurre debido a un error y puede acarrear una absorción importante por vía gastro intestinal. En este caso, se deberá enviar al paciente a un centro medico para una evacuación gástrica prudente, con el fin de evitar posteriormente la acumulación de este producto y por consiguiente el cloracnado y cualquier otra secuela posible.
- Vía Pulmonar: Esta vía de penetración es posible en el caso de emisiones de vapores de Cloruro de Hidrógeno derivados del Askarel el mismo es calentado de manera intempestiva o cuando se emplean sin precauciones disolventes clorados para ablandar un PCB pastoso.
- Vía Parental: Este medio de penetración es poco usual, aunque posible, puede suceder cuando los PCB se utilizan en equipo de transmisión hidráulica no inflamable. En efecto, en ocasión de una rotura de tubo flexible el PCB puede ser inyectado a alta presión a través de la piel. En este caso, incluso en ausencia de lesión aparente, domina la urgencia quirúrgica.

- Vía Cutánea: Esta sigue siendo la vía principal de incorporación para las partes expuestas del revestimiento cutáneo en manipulaciones sin protección de ropas o de la vista. Por ello es importante insistir en las protecciones cutáneas necesarias cuando se manipulan estos productos.

Una vez penetrados en el organismo, los PCB tienen varios sectores de distribución:

En primer lugar cabe destacar la presencia de la sustancia distribuyéndose en el organismo a través del torrente sanguíneo.

Seguidamente en los tejidos, riñones, pulmones, glándulas suprarrenales, con una gran afinidad para el hígado que constituye el órgano objetivo así como la piel, los bronquiolos y ciertos tejidos secretores glandulares que explica las dermatosis de tipo cloracnado.

Finalmente, se distribuyen con gran afinidad en la grasa corporal con disminución en la mayor parte de otros tejidos.

La eliminación se efectúa esencialmente en la bilis y después en las materias fecales. En los experimentos realizados en ratas, la eliminación mayor de los PCB se efectúa por vía fecal, del 16 al 75%.

1.1.2 Situaciones de emergencia

Prioridades de procedimiento en caso de emergencia

Hemos detallado ya varios aspectos que deben tenerse en cuenta para reconocer el compromiso que envuelve la tenencia de PCB y lo necesario que

es tener un buen conocimiento acerca del químico para tomar conciencia acerca del tema en cuanto a la manipulación del mismo y como veremos mas adelante, de la necesidad de gestionar el tratamiento del dieléctrico o finalmente su aprobada destrucción. Aunque el Bifenilo Policlorado es un producto cuya producción cesó el siglo pasado, todavía existe equipo que lo contiene. Tal es el caso de equipo eléctrico que encontrándose, o no, en operación, en su interior se encuentra líquido dieléctrico del tipo PCB el cual debe ser apropiadamente manipulado para evitar que el mismo pueda hallar cualquier tipo de medio de transporte por el cual pueda ingresar al medio ambiente y causar problemas de tipo persistente o de larga duración afectando fauna y seres humanos. Para cada tipo de caso de emergencia el lector deberá revisar que el equipo de protección personal que se recomienda dependerá de la naturaleza del evento.

Los aparatos eléctricos que contienen PCB no representan peligro de exposición del líquido dieléctrico mientras se encuentren en condiciones normales de funcionamiento y vigilancia. Sin embargo, están sujetos a accidentes que podemos agrupar en tres clases:

Accidente frío

En este caso hablamos de incidentes que ocasionan daños mecánicos en el equipo, debido a los cuales se producen fugas del producto por perdida de estanqueidad sin modificar su composición. En este caso se deberán tomar las siguientes medidas:

- Procurar taponar la fuga
- Canalizar y contener el derrame

- Recuperación del dieléctrico derramado: si está en bandeja o recinto impermeable, realizar esta por bombeo. El resto se absorberá con material absorbente
- Almacenar todo tipo de material de desecho que contiene aceite etiquetando el recipiente en el que sea depositado apropiado para esta función. Deberá etiquetarse el recipiente.
- El personal que intervenga utilizará el equipo de protección personal del nivel necesario en este caso, para protección contra salpicaduras, guantes, botas y gafas para evitar tener contacto. Finalizadas las operaciones, el personal se duchara durante 10 o 15 minutos en caso de haber mantenido contacto con el producto.

Exposiciones no seguidas de incendio

Estas son el resultado de averías internas originadas por sobretensiones, sobrecargas o defectos de aislamiento que se traduce en perforaciones que provocan arco eléctrico.

Los gases que resultan de la descomposición son básicamente cloruro de hidrógeno. Si la sobretensión es considerable, puede llegar a la ruptura de la cuba y a una dispersión en forma líquida o en forma de aerosol.

En este caso la descomposición se realiza en ausencia de oxígeno lo que limita el riesgo de aparición de dioxinas y furanos. En este caso se procederá así:

- Antes de penetrar en el sitio o local en el que se encuentre el equipo, será necesario desenergizar las instalaciones y dotarse del equipo de protección necesario, el cual incluye un respirador autónomo
- Ventilar los locales expuestos al gas ácido y a los humos
- Descartar cualquier duda de contaminación caliente (ausencia de materiales calcinados o de indicios notables de calentamientos). Si queda descartado, proceder a la limpieza como si se tratara de un accidente en frío
- Utilizar equipo de protección personal de nivel apropiado para esta situación.

Un incendio puede ser ocasionado por una fuente externa independiente de la instalación o ser la consecuencia de una explosión debido a desperfecto interno, si el calentamiento que acompaña provoca la inflamación de materias combustibles situadas en la proximidad del equipo.

La volatilidad y la descomposición del fluido provocan desprendimientos de humos y hollín negro, cuya dispersión conduce a una extensión importante de la contaminación de los lugares por los PCB y por los subproductos de degradación térmica siendo estos las Dioxinas y los Furanos (PCDD y PCDF) los cuales se producen a altas temperaturas.

En este caso será necesario:

- Apague el incendio utilizando químico seco o espuma química, inundación por nitrógeno o con extintores a base de bióxido de carbono. El personal que intervenga deberá estar protegido contra humos mediante equipo de protección personal de alto nivel.

- Evacuar las zonas invadidas por los humos y adoptar las medidas posibles para limitar la extensión de la contaminación
- Si después de extinguido el incendio el riesgo de contaminación caliente se confirma, lo cual provocaría fuga de líquido dieléctrico del equipo, se debe prohibir el acceso a las zona contaminada.
- Se deberán tomar muestras del dieléctrico restante, hollines y del aire en el ambiente. Con los mismos se solicitara análisis para caracterizar la contaminación de PCB y sus subproductos de descomposición.
- Iniciar comunicaciones con la autoridad del medio ambiente en función a fin de realizar posibles consultas adicionales.

Tenga presente que la descontaminación de un ambiente o un inmueble a partir de un incendio puede ser muy costosa en términos económicos y de salud por lo que se sugiere identificar las posibles causas de incendio antes que este ocurra. Aunque los PCB eran atractivos por su característica inflamabilidad, a altas temperaturas el líquido arde.

Podemos afirmar que independientemente del tipo de emergencia que se afronte, la cordura y la toma de acciones de manera decidida pero consciente y no desesperada, son la base para lograr que una situación de peligro disminuya en lugar de crecer. En el caso de los Bifenilos Policlorados esto es cierto. La buena voluntad no es suficiente para actuar en caso de incendios. El personal que trabaje en esta labor deberá observar estrictamente las siguientes instrucciones:

- No utilice agua para apagar el incendio. El agua es poco beneficiosa para combatir incendios de aceite y la misma será muy poco probable

de poder contener en una situación de incendio. El agua sencillamente va a extender la contaminación

- Apague el incendio como ya se describió y comuníquese con las autoridades del Medio Ambiente en función a fin de coordinar cualquier actividad adicional
- Lleve registro del personal que abandonó el lugar. Esto será útil a fin de evitar que la contaminación encuentre medios de transporte y también someter a un seguimiento médico a dicho personal.

Primeros auxilios

Los Bifenilos Policlorados son en sí productos tóxicos y aunque puedan sugerirse e imponer todas las medidas y precauciones para que el fluido pueda ser apropiadamente manipulado sin causar ningún accidente o posible contaminación, es esencial exponer lineamientos a seguir para el caso en que, eventualmente y por alguna causa imprevista, puedan darse los siguientes casos:

- Contactos con la piel
- Contacto con los ojos
- Aspiración
- Ingestión

Por lo general, en estos casos, debe procederse como se indica a continuación. Si el caso lo amerita, será necesario solicitar atención médica.

Contacto con la piel

- Lavar con abundante agua fresca y jabón neutro
- No utilizar ninguna clase de disolvente orgánico
- Si hay herida, una vez bien lavada y limpia, aplicar una capa de crema dermatológica o vaselina

Contacto con los ojos

- Lavar inmediatamente con agua abundante por lo menos durante 15 minutos. Posteriormente solicitar atención médica.

Aspiración

- Respirar bastante aire fresco
- En caso de intoxicación aguda, practicar respiración boca a boca hasta la total reanimación

Ingestión

- Enjuagarse la boca varias veces con agua limpia, tomar agua y solicitar atención médica.

Fuga en equipo de transformación

La manipulación de PCB debe ser llevada a cabo con el previo conocimiento del producto maneja y las consecuencias de su mal manejo. Sin embargo, teniendo presente la posibilidad de desperfectos o accidente, es

apropiado mencionar los pasos que se deben dar ante un derrame de PCB, para los cuales se sugiere la creación de un grupo de socorro o de alerta, la que llamaremos “brigada”, el cual deberá actuar de manera profesional ante el incidente.

- La brigada debe ser informada que ha ocurrido un derrame de PCB
- Todo el personal de limpieza que manipule PCB y/o que esté trabajando en la limpieza misma deben utilizar *vestimenta y equipo de protección personal* para evitar que su ropa o su piel se contamine con PCB
- Es importante evitar que *los fluidos de PCB alcancen canales de aguas pluviales, aguas negras, desagües o cualquier otro lugar en que corra agua*. La brigada deberá aplicar todas las opciones existentes para contener un derrame de PCB, como desviaciones temporales o cercados (uso de muros de contención). Dicha brigada debe anticipar y evitar que en el área contaminada fluyan aguas provenientes de sistemas de rociado o aguas de alcantarillado. Se debe hacer todo esfuerzo razonable para detener o retardar el flujo de PCB y contener el que se haya derramado
- En caso de que el PCB alcance una corriente de agua, canalización, o algún área inaccesible, el primer empleado que llegue al área del derrame deberá iniciar procedimientos de notificación y emprender medidas para *evitar que más material derramado alcance aguas o suelos*
- Se deberán colocar *barricadas* alrededor de las áreas contaminadas para evitar que los transeúntes y vehículos ingresen antes de que el material haya sido recogido y retirado
- En la mayoría de los casos se utilizan *materiales para absorber aceite* (aserrín, trapos, etc.). Cuando es así, deben esparcirse en el área contaminada y permanecer ahí por lo menos durante una hora, o el

tiempo necesario para que todos los fluidos de PCB hayan sido absorbidos

- Una vez que los fluidos derramados hayan sido absorbidos, el material absorbente y los suelos contaminados deben depositarse en *barriles de acero* preparados para tal fin. Cuando la situación no permita determinar el nivel de penetración de PCB, se retirarán por lo menos 15 cm de profundidad de suelo clasificando dicho material como desecho de PCB
- Todas las superficies expuestas a los líquidos derramados deberán *descontaminarse* con un solvente eficiente
- *Todas las estructuras de acero, estantes de madera, bandeja porta cables (de todo tipo) etc.*, también deben lavarse con solvente. Todo el equipo en estas estructuras, que puede estar contaminado por el derrame con PCB pero que no se va a eliminar, debe igualmente limpiarse. Debe tenerse en cuenta que el solvente y los PCB no deben de ninguna manera alcanzar sistemas de drenaje o alcantarillado
- Posteriormente a los trabajos, deben lavarse con solvente *todos los objetos contaminados, como herramientas, ropa, botas y otros equipos*. De lo contrario, deben depositarse en barriles de acero preparados especialmente para su eliminación y clasificarlos como desechos
- *Todos los barriles* deben estar debidamente etiquetados y deben almacenarse o colocarse en un vehículo quedando perfectamente sujetos para evitar otros derrames
- Los *barriles* deberán llevarse directamente a un área de almacenamiento de PCB autorizada.

En caso que el PCB derramado se haya endurecido en el suelo, no deberán aplicarse ninguna fuente de calor, tales como sopletes, en las cercanías del derramamiento. Deberá procederse de la siguiente manera:

- Ablandar con agua caliente el producto
- Remover por medio de raspado
- Limpiar con un producto solvente acompañado de aserrín para el secado
- Asegurar una buena ventilación
- Tanto el Askarel, como el aserrín, trapos, etc. utilizados en la operación de limpieza deberán ser recogidos en los barriles para su eliminación o almacenamiento en instalaciones destinadas a ello siendo clasificados como desechos de PCB.

El líquido derramado debe ser recuperado, para lo cual se deben tener las siguientes precauciones:

- a) Los PCB líquidos deben ser bombeados manualmente, no vertidos, para minimizar las salpicaduras.
- b) Todo equipo usado junto con PCB debe ser inspeccionado y reemplazado de ser necesario.
- c) Equipos de bombeo y mangueras expuestos a PCB no deben ser utilizados para ningún otro propósito. Así mismo se debe asegurar que el equipo no tenga fugas.
- d) La bomba utilizada debe ser siempre objeto de especial consideración por la importancia que esta tiene.
- e) Cualquier equipo de protección reutilizable debe ser limpiado rigurosamente con toallas y solvente. Todo el equipo utilizado debe ser almacenado junto con los PCB y tratado como material contaminado.
- f) Las manos se deben lavar cuidadosamente con agua tibia y jabón, detergente o algún limpiador industrial una vez terminado el trabajo.

El cambio realizado en relación con estas sustancias, incluyendo la remoción de PCB del servicio y su almacenamiento para futura disposición, también debe ser notificado a la autoridad ambiental local para plantear su futura disposición.

En el caso que el equipo eléctrico se encuentre en buen estado físico y su vida útil todavía no haya llegado a su fin, podrán tomarse distintas decisiones a fin de analizar su reutilización mediante procesos alternativos. El equipo no debe ser por ningún motivo vendido de manera inconsciente trasladando una fuente de contaminación a un tercero quien a su vez podrá provocar problemas de carácter persistente de no tener adecuado conocimiento de la manipulación del equipo y del PCB en él.

1.1.3 Limpieza en caso de derrame

Este apartado debe observarse a fin de lograr una apropiada gestión de limpieza en caso de que por alguna causa, fuera del control del usuario, pudiera ocurrir un derramamiento que PCB. Recuerde que el PCB puede hallar una vía de penetración a través de la piel del ser humano.

Es necesario aplicar el mayor esfuerzo posible por detener la fuga desde su fuente de derrame. Así mismo, iniciar un plan de comunicación con el personal apto para las operaciones de limpieza (al que previamente llamamos brigada) y con las autoridades del medio ambiente en función a fin de coordinar cualquier actividad adicional o solicitar cualquier tipo de apoyo.

La respuesta pronta al incidente será:

- Detener inmediatamente la fuente del derrame. Esto probablemente implique cerrar una válvula. De lo contrario seguir con el siguiente paso
- Informar lo sucedido a una persona encargada de la organización de los recursos y acciones a tomar
- Evaluar los requerimientos de control de derrames teniendo en cuenta el equipo de control personal necesario para detener la fuga
- Limite la expansión de derrame mediante la utilización de diques o bloqueando drenajes

Limpieza de derrame

- Si el líquido se depositó en algún sumidero cualquiera, el mismo podrá depositarse en toneles mediante bombeo
- El derrame puede ser removido de una mejor manera mediante esparcir material absorbente y luego recoger un solo material semisólido el cual se depositará en toneles utilizando una pala
- Una vez que los líquidos hayan sido recogidos, el material subyacente requerirá limpieza
- Los metales, cerámicas, etc., son materiales que no absorben el líquido. Estos podrán ser descontaminados con solventes como queroseno. Se deberán tomar muestras de las superficies descontaminadas para establecer si se ha alcanzado un nivel apropiado de descontaminación. Así mismo deberá verificarse que la superficie limpiada no exceda una contaminación mayor de 50ppm
- En el caso de las superficies que sí absorben el líquido, tales como concreto expuesto, madera o asfalto, se deberá observar el apartado "toma de muestras" para evaluar la penetración del líquido y el grado

porcentual de contaminación. Puede removerse la superficie contaminada y tratar la misma como desecho de PCB

- Los desechos resultantes de la limpieza incluyendo el equipo de vestimenta de protección, herramienta y equipo que ha estado en contacto con los PCB deberá considerarse como desecho de PCB a menos que se descontamine

Es importante tomar en cuenta que aunque este tipo de incidente no aparente tener mucha gravedad en el momento, el carácter persistente del material podría mostrar sus efectos adversos con el transcurso del tiempo hasta los distintos lugares geográficos a donde pueda llegar a depositarse. Por lo mismo es necesario informar a las autoridades del medio ambiente en función lo sucedido a fin de coordinar cualquier actividad adicional que dicha autoridad considere necesaria.

3.2.7 Vestimenta de protección

Uno de los grandes riesgos de los PCB es la absorción cutánea, por lo que se debe tener especial cuidado al elegir la vestimenta de protección entre la cual figuran los overoles, botas, guantes y protecciones oculares. El equipo de protección personal se diseña para reducir la exposición del usuario a los PCB mediante la reducción de las distintas vías de exposición. Los PCB pueden penetrar varios materiales, pero existen algunos, como el caucho natural, que son particularmente permeables a los PCB y, por ello, no son útiles como equipo de protección. La vestimenta que se utilice para la manipulación de PCB debe ser impermeable al líquido.

Los cauchos a prueba de productos químicos figuran entre los mas adecuados. El equipamiento para la protección y vestimenta especial deben

estar disponibles, idealmente, en todas las áreas donde se encuentre cantidades significativas de PCB, ya sea en servicio o almacenados, y especialmente mientras sean transportadas.

La vestimenta y equipo de protección se utiliza en función del nivel de exposición de PCB al que se somete una persona. Entre mas alto sea el riesgo de la la exposición a un líquido PCB, mas alto es el nivel de protección personal. Podemos clasificarlo a partir de este parámetro en los siguientes niveles:

- **Nivel 1:** En este nivel se necesita la más alta protección de seguridad personal, pudiéndonos ver ante la situación de concentración de vapores o partículas de PCB en el ambiente o en un lugar donde exista una alta probabilidad de salpicadura de PCB. Se recomienda su uso para operaciones de mantenimiento y toma de muestras. El equipo en esta situación es el siguiente: a) respirador proveedor de aire con presión positiva, es decir aire comprimido, y máscara facial completa, b) ropa antiquímicos encapsulada, c) overoles de neopreno (no de caucho ordinario), d) guantes exteriores antiquímicos para trabajo pesado, e) guantes interiores antiquímicos para trabajo liviano, f) botas antiquímicos, con punta y talón de acero y g) un casco
- **Nivel 2:** en el cual se necesita alta protección respiratoria pero no se esta altamente expuesto a salpicaduras o que pueda se pueda estar propenso al contacto con la piel. Por ejemplo, cuando se ingrese a un lugar donde ocurrió un derrame pero no se va a participar en la limpieza del lugar. El equipo necesario consiste en a) respirador *proveedor* de aire con presión positiva y mascara facial completa, b) ropa antiquímicos con capucha, c) guantes exteriores antiquímicos para trabajo pesado, d)

- guantes interiores antiquímicos para trabajo liviano, e) botas antiquímicos, puna y talón de acero y f) gafas para protección de los ojos
- **Nivel 3:** en este nivel no hay peligro respiratorio, pero todavía hay presencia de PCB en el aire. Podemos mencionar como ejemplo alguna operación con equipo en PCB abierto u operaciones donde haya ocurrido un derrame significativo de PCB. La vestimenta consiste en a) respirador *purificador* de aire, b) ropa antiquímicos con capucha, c) guantes exteriores antiquímicos para trabajo pesado, d) guantes interiores antiquímicos para trabajo liviano, e) botas antiquímicos, punta y talón de acero y f) gafas para protección de los ojos
 - **Nivel 4:** en este caso, no hay peligro respiratorio pero puede existir daños menores por contacto con la ropa o la piel de PCB y se deberá utilizar a) overol que cubra todo el cuerpo, b) guantes antiquímicos, c) botas de goma, d) un protector exterior que cubra la bota, e) mascara facial o gafas

En el caso de las botas, si se utilizan botas de caucho, éstas deben ser desechadas regularmente. El operario deberá tener especial cuidado en términos de higiene personal. Independientemente del tipo de protección personal que hayan utilizado, es necesario seguir patrones de higiene personal. Así que cuando se haya quitado el equipo de protección se debe tener precaución de no llegar a tener contacto con cualquier parte del equipo contaminado retirando el mismo, lavarse bien con agua y jabón antes y después del trabajo y abstenerse de fumar, comer o beber mientras se trabaja.

3.3 Precauciones con equipo que contenga o haya contenido

Askarel

Existe la necesidad de informar a los particulares, industriales, entre otros, o cualquier figura que tenga en posesión equipo eléctrico con aceite dieléctrico del tipo PCB o Askarel, acerca de los cuidados a tener con dicho equipo cuando su personal deba manipular directamente el mismo para que de una manera profesional y segura se garantice la seguridad del medio ambiente y los seres vivientes que en él habitan. El siguiente apartado detalla dichos lineamientos que tienen como objetivo, capacitar al lector para realizar la manipulación del equipo que contiene PCB desde el punto donde este se encuentra instalado hasta el mismo almacenamiento del equipo y el dieléctrico para posteriormente decidir en cuanto al futuro de ambos.

3.3.1 Precauciones de aplicación física

Retiro de servicio de equipos

Un equipo que contenga o haya contenido PCB puede ser removido para ser reinstalado o vendido para el reciclaje de sus partes metálicas teniendo como finalidad un propósito doble: el de obtener algún beneficio o ahorro económico y el de eliminar del stock de equipo el PCB existente. Como más adelante se verá, existen métodos alternativos para la re-utilización de un transformador siempre y cuando el equipo se encuentre en buenas condiciones físicas, así también, podría ser reciclado pero en cualquiera de ambos casos, la gestión deber ser ambientalmente segura y profesional. No se debe realizar ninguna de tales actividades inconscientemente, es decir, sin tener conocimiento del compromiso que representa poseer PCB o con una buena voluntad de hacer la gestión, lo cual puede tener secuelas lamentables. En el

caso que el equipo contaminado sea en definitiva retirado, será con el propósito de ser almacenado en espera del transporte hacia su disposición final junto con su dieléctrico.

Cuando capacitores con PCB deben ser retirados del servicio, no deberán ser drenados a menos que exista una fuga. En ese caso se deben seguir las precauciones descritas y la unidad drenada debe ser sellada para disponer de ella y ser almacenada apropiadamente.

Bajo ninguna circunstancia se deben utilizar la carcasa del capacitor con otro propósito ya que la misma tuvo PCB en su interior. Los capacitores y transformadores pequeños que estén sellados y asegurados pueden ser almacenados sin necesidad de drenar el PCB. Los mismos deberán ser envueltos en plástico de alto calibre con el fin de evitar cualquier derrame innecesario de PCB y ser colocados dentro de cajas de acero.

Los capacitores deberán colocarse dentro de contenedores con las terminales hacia arriba con el fin de prevenir derrames. Dentro del contenedor se puede rellenar el espacio libre material absorbente como aserrín. El contenedor debe ser sellado, etiquetado y registrado.

Los desechos sólidos contaminados también se deben envolver en bolsas de plástico grueso. Las bolsas deben ser selladas y colocadas dentro de cajas de acero, tal como se hizo con el equipo eléctrico.

Los capacitores de mayor tamaño que no quepan dentro de este tipo de caja, deben por igual ser envueltos en plástico de alto calibre y sellados. A los transformadores de mayor dimensión se les deben drenar el PCB. Estos últimos deben ser ubicados dentro de cajas de acero.

1.1.1 Precauciones contra filtración o derramamiento para reducir al máximo los riesgos ligados a los PCB

Actualmente ya no se fabrican los Bifenilos Policlorados. Por lo tanto, evitar y reducir al mínimo los desechos de PCB implica soluciones en cierta medida, distintas y en general limitadas a la cuidadosa supervisión del equipo eléctrico aún en servicio, como los que están que contiene productos con PCB. Estos son fundamentalmente transformadores eléctricos y condensadores, como ya hemos mencionado, ya que pocos son los productos ajenos a estos que podrían incluirse a escala importante o significativa (tal es el caso de los balastos de luz, papel carbón, etc.).

Evitar y reducir al mínimo los desechos debe centrarse en la evitación de fugas y vertidos de esos equipos. Es esencial contener, recoger y almacenar adecuadamente cualquier pequeño vertido o fuga que se produzca. Así mismo es importante tomar en cuenta las precauciones al mantener el equipo. Los encargados del mantenimiento del equipo deben tener la formación especial para los procedimientos de limpieza.

Cuando el equipo finalmente deja de prestar servicio, hay que adoptar medidas para manipularlo y almacenarlo con seguridad antes de tomar cualquier decisión. Deben tomarse precauciones para evitar pérdidas y especialmente para evitar la contaminación del lugar de almacenamiento y de otros materiales allí almacenados, incluido cualquier tipo de desecho que no necesariamente posea PCB, para que no aumente la cantidad de materiales que haya de clasificar como PCB y que por tanto requieran de una eliminación especial.

Los desechos con PCB almacenados deben estar claramente etiquetados como tales. El almacenamiento a largo plazo de desechos con PCB es admisible siempre que se tomen medidas para su tratamiento y eliminación adecuados.

En todo lugar donde se encuentran equipos que contengan o hayan contenido PCB se deben cumplir los siguientes requerimientos:

- Avisos de advertencia deben ser colocados cerca de las válvulas de drenaje en los transformadores
- Las válvulas de drenaje deben estar aseguradas y vigiladas de manera que no se tenga fuga de aceite Askarel a través de ellas
- La inspección regular de los equipos se debe llevar a cabo para identificar las señales de deterioro de los materiales y los posibles puntos de riesgo en el aparato
- Se deben adoptar medidas de contención de derrames tales como la creación de canales de contención y la colocación de bandejas de goteo debajo del equipo
- Los drenajes en el suelo se deben poder controlar en el caso de un derrame para evitar que los PCB alcancen los sistemas de alcantarillado. Una opción consiste en la instalación de trampas especiales para la interceptación de los PCB
- De debe disponer de facilidades para la recuperación y el trabajo de limpieza de áreas contaminadas
- De debe preparar un plan de contingencia el cual se hará del conocimiento de cualquier empleado que de una u otra manera tenga relación con el equipo en Askarel y las instalaciones

Cualquier filtración o derramamiento de PCB se debe contener con prontitud y el PCB líquido solamente se deberá reubicar dentro de contenedores metálicos de acero sellados. Estos contenedores no deberán ser utilizados con ningún otro propósito.

1.1.2 Operaciones de mantenimiento

1.1.2.1 Vigilancia de los transformadores en Askarel

Actualmente existe equipo eléctrico que, conteniendo en su interior PCB, ya no esta siendo explotado sino por lo contrario, está estacionado esperando por una apropiada decisión en cuanto a su destino o usos finales. Sin embargo, en el caso del equipo en servicio instalado en las redes eléctricas que está siendo utilizado para su explotación es necesario un seguimiento especial por el contenido de Bifenilo Policlorado en su interior.

El concepto de mantenimiento implica realizar revisiones y pruebas periódicas y constantes para detectar posibles ineficiencias en cualquier aspecto del funcionamiento del transformador y remediar las fallas observadas.

La prueba mas sencilla es la inspección la que se complementara con pruebas periódicas del funcionamiento eléctrico y con el análisis químico del fluido dieléctrico en cuestión. El seguimiento debe ser aplicado tanto al equipo eléctrico como al Askarel.

Vigilancia del nivel

Hemos revisado en el aspecto sobre la contaminación del Askarel por absorción de humedad que el agua puede condensarse en el transformador creando una capa superficial de rigidez dieléctrica.

A pesar de las precauciones que han tenido los distintos constructores, si el nivel es demasiado bajo se corre el riesgo de un cortocircuito entre las partes no aisladas de los bornes, incluso entre las partes altas de los bobinados de alta tensión.

La vigilancia del nivel y la de la eficiencia de las uniones constituye, por lo tanto, el primer control a efectuar en los transformadores en Askarel.

La vigilancia del nivel se relaciona también a la vigilancia en cuanto a las fugas en el transformador las cuales pueden deberse a un desperfecto mecánico o accidental en la cuba del equipo transformador. Se debe tener en cuenta que aunque no haya fuga, un desperfecto así puede exponer a la cuba a la acidez del aceite pues la hace más frágil, aumentando así las posibilidades de corrosión y por consiguiente de filtraciones.

Resistencia del aislamiento

Medir la resistencia de aislamiento de los transformadores es una medida preventiva normal y acostumbrada, que varía en el mismo sentido que la resistividad del líquido. En el caso de los transformadores en aceite, esta medida, fácil de realizar, indica directamente el envejecimiento del aceite, lo cual constituye peligro para el transformador y permite determinar con bastante exactitud el momento en que será necesario un tratamiento de regeneración;

pero en el caso del Askarel no tiene significación alguna puesto que el mismo no se altera por envejecimiento.

La disminución de su resistividad se debe únicamente a la disolución de cantidades muy débiles de los materiales utilizados. Por otra parte, prácticamente la resistencia de aislamiento de los transformadores en Askarel siempre es muy débil comparada a la de un transformador en aceite.

1.1.2.2 Pruebas físicas y químicas

Toma de muestras

Cómo saber que un líquido puede estar contaminado con PCB?, o que un líquido dieléctrico es en realidad un Askarel? Las conclusiones a las que se llegar en cuanto a un equipo eléctrico o un fluido dieléctrico, incluso la misma agua y otras componentes del medio ambiente, pueden ser tomadas en base al análisis de muestras tomadas del material o elemento que se quiere analizar. Como veremos, la toma de muestras es un procedimiento indispensable para la creación de un inventario de PCB. La muestra debe representar lo mas fielmente posible al dieléctrico por lo que será necesario tener algunos cuidados especiales.

En primera instancia, los recipientes destinados a contener la muestra han de estar perfectamente limpios y secos. Podría cometerse el error de colocar muestras en recipientes de recuperación mal lavados y a penas escurridos, igualmente mal tapados.

También pueden utilizarse frascos con tapón de rosca, pero en este caso será necesario proteger la junta con un disco recortado de una hoja de aluminio fina. De no poseer estos artículos, un tapón de corcho es también apropiado.

Se debe evitar realizar la toma de muestras en tiempo muy húmedo y en todos los casos en los cuales el líquido se encuentre a una temperatura inferior a la del ambiente. Por lo mismo sólo se abrirán los frascos cuando su temperatura sea por lo menos igual a la del laboratorio. Todo esto con el fin de evitar condensaciones de humedad.

La toma de muestras no necesariamente se limita al equipo que contenga Askareles. Recordemos que el medio ambiente puede llegar a estar contaminado, y aunque es un tema de carácter altamente técnico, es necesario tener conocimiento de las principales características y cuidados para la realización de cada una. En vista que los PCB pueden alcanzar a contaminar el medio ambiente, la toma de muestras puede comprender varios campos de acción:

- En superficies sólidas permeables tomamos como ejemplo el concreto sin pintar, y se tomará una muestra a lo largo de la superficie de contaminación, sea cual sea la causa que el líquido haya alcanzado dicha superficie
- En superficies impermeables tales como el concreto o el metal con pintura epóxica
- Muestras ambientales por ejemplo tierra, agua, aire, tratándose de detectar concentraciones que presenten una cierta tendencia
- Aceite superficial: en sitios que se sospeche que contienen PCB

- Suelo superficial: la cual se practicará a una profundidad razonable de no mas de 4 metros tomando las muestras con una retroexcavadora
- Agua superficial: en la cual se debe tener presente que el Askarel es más pesado que el agua y los aceites minerales más livianos. Los métodos de muestreo resultarán relativamente sencillos en este caso
- Aguas subterráneas la cual es una labor complicada que pudiera necesitar la colaboración de un hidrogeólogo experimentado en la toma de muestras de corrientes subterráneas. La situación exige una verdadera capacidad profesional de trabajo así como conciencia de las posibles complicaciones al tener en cuenta que la toma de muestras de aguas freáticas pudiera conllevar a una contaminación cruzada ya que la contaminación encontrada a un nivel acuífero pudiera expandirse a otro que se encuentra a distinta profundidad
- Del aire en el ambiente: la cual requiere de planeación, equipo especializado y personal altamente técnico. Sin embargo, un mal manejo de los PCB o un accidente que conlleve a un incendio, pudiera crear la necesidad de una toma de muestras de este tipo ya que los PCB y los PCDD y los PCDF estarán presentes en el aire.

Aspectos de la toma de muestras

La contaminación entre muestras puede ocurrir cuando accidentalmente se transfiere la contaminación entre muestras, o puede resultar de la utilización de equipo que ya fue utilizado, quedando la segunda muestra como una imagen que no representa fielmente a la fuente original. Por consiguiente el equipo idealmente debe ser desechable o en caso contrario, deberá ser objeto de limpieza una vez que se ha tomado una muestra. Por lo tanto aplique las siguientes instrucciones:

- Lave físicamente el equipo con detergente sin fosfato
- Enjuague el equipo con agua ionizada destilada
- Enjuague triple con solvente de grado reactivo con solvente orgánico grado reactivo (por ejemplo acetona, metanol o pentano)
- Utilice guantes en cada operación.
- Tenga muy presente que la toma de muestras dependiendo del lugar donde se encuentre, podrá requerir de un nivel de equipo personal distinto.

Entre menos sea el porcentaje esperado de PCB, más cuidadosa debiera ser la toma de muestras para evitar una contaminación entre muestras. Este podría ser el caso de una toma de muestra de agua para determinar si satisface el estándar de 3 ppb, lo cual puede verse de manera errónea en caso de existir contaminación en la muestra por causa de no estar apropiadamente limpio el recipiente donde se deposite la muestra o los mismos guantes.

La operación específica de la toma de muestras es un aspecto de la gestión que puede implicar grandes decisiones y gran responsabilidad. Por ello es también necesario llevar una documentación escrita de aspectos que formarán parte de un historial del equipo o de un material lo cual servirá, en caso que alguna entidad del medio ambiente así lo requiera, para dar cuenta de las acciones tomadas. Por lo tanto documente la operación con los siguientes datos:

- Nombre de la persona que tomó la muestra
- Equipo eléctrico sometido a muestra
- Fecha de toma de la muestra

- Localización del equipo

Transformadores en aceite mineral

Normalmente este equipo tiene grifos de fondo por lo que podrá tomarse la muestra desde el grifo teniendo cuidado de usar guantes y evitar cualquier derrame. En vista que el aceite es más ligero que el agua, se debe tener especial cuidado al purgar el grifo de cualquier agua que se haya depositado en el fondo. En el caso de no poseer grifo de fondo, podrá removerse la parte superior y utilizar un tubo apropiado para la toma de la muestra. Puede tomarse una cantidad de 2 a 5 ml del aceite en un recipiente limpio cuya tapadera esté garantizada de no poseer fugas y podrá colocarse teflón o papel aluminio limpios para asegurar que nada del líquido pueda derramarse. La toma de muestras de transformadores en aceite mineral es necesaria, ya que dependiendo de la fecha en que el equipo haya sido manufacturado, el mismo podría estar contaminado con PCB.

Transformadores en Askarel

En el caso particular de la toma de muestra de equipo en Askarel, tenga presente las recomendaciones las recomendaciones de salud y seguridad además del equipo apropiado para esta operación, teniendo como objetivo que se garantice la seguridad del operario y del medio ambiente por igual. La muestra podrá tomarse del grifo de fondo del transformador depositando de 2 a 5ml en un en un recipiente limpio cuya tapadera este garantizada de no poseer fugas y podrá colocarse teflón o papel aluminio limpios para asegurar que nada del líquido pueda derramarse. Ningún equipo que se haya usado para operaciones similares podrá utilizarse a menos que haya sido limpiado apropiadamente.

Muestra compuesta

Este concepto de muestra puede también aplicarse, pero por igual debe tenerse el cuidado pertinente. Se basa en la toma de porciones (10 como máximo) de igual peso a fin de lograr una sola muestra compuesta. El parámetro base de 50 ppm será lógicamente reducido a este valor dividido por el número de muestras. En el caso de tener 10 muestras, entonces se tratará de determinar una concentración no máxima de 5 ppm. Si en caso se determina este nuevo parámetro de interés, entonces cada muestras deberá analizarse por individual. En este caso, el equipo de análisis también debe tenerse en cuenta, debido a que se pueda contar con un equipo que de prueba negativa o positiva en función de una concentración de 50 ppm de PCB. Recuerde que el nuevo parámetro en este caso será 5 ppm.

Muestreo de cilindro líquido

Podría darse el caso que el líquido no haya sido perturbado aunque esto es de por si un tanto difícil. Por lo que el mismo podría haberse en cierta manera estratificado en diferentes capas de densidad. Un método sencillo para recoger una muestra es insertando un tubo largo de vidrio en la parte total del recipiente y luego colocar el dedo en la parte superior a manera de tapón para poder extraer la muestra. De nuevo, mencionamos que es determinante utilizar equipo limpio.

Muestras de superficie sólidas

Esta operación es igualmente importante cuando hemos tenido fuga o derrame de Askarel, en lugares donde se hayan producido incendios o incluso en el caso que se haya descontaminado un transformador u otro equipo para

verificar que las superficies hayan sido descontaminadas efectivamente. Las superficies pueden ser permeables o impermeables.

- En el caso de las *superficies sólidas permeables* se debe tener en cuenta que entre más tiempo haya transcurrido después del derrame más habrá sido la profundidad de penetración del líquido y por lo tanto, la contaminación será mayor. Para ello se deberá tomar una muestra del núcleo o centro de la superficie. La operación mecánica se podrá hacer con un taladro y la muestra se colocará en un recipiente limpio.
- Las *superficies sólida impermeables* podrán ser el metal, la cerámica, concreto pintado, etc. donde el aceite no puede penetrar con facilidad. Prepare el siguiente material: a) recipiente limpio de vidrio (250 ml.) para colocación de muestras, b) plantillas desechables, las cuales podrán ser de cartón, c) guantes desechables, d) pinzas metálicas y e) una botella de hexano con grado de pesticida. Previo a la toma de muestra prepare lo siguiente: en el recipiente prepare una almohadilla de gasa estéril que tenga los lados de 10 X 10 cm. colocando unas cuantas capas de gasa, una encima de la otra, para formar la almohadilla. El recipiente deberá ser tapado con teflón o laminas de aluminio limpiado con hexano. La plantilla se prepara a manera que posea un área interior mínima de 100 cm². Proceda de la siguiente manera: a) marque con una tiza el área interior de la plantilla sobre la superficie a limpiar, deseche los guantes que utilizó, b) utilizando nuevos guantes, remueva una almohadilla y adicione a la misma 4 ml. de hexano, c) limpie por filas el área marcada iniciando desde una esquina asegurando que la superficie completa sea limpiada aplicando una presión uniforme y moderada, d) abra la almohadilla permitiendo una superficie fresca en esta y repita la misma limpieza pero en líneas perpendiculares a las anteriores, e) coloque la almohadilla en el recipiente de vidrio tapando nuevamente el mismo y

rotule el recipiente. Tenga presente que el área que va a ser limpiada en de 10 X 10 cm².

Muestreo de suelos superficiales

Esta operación resulta interesante y deberá contarse con el siguiente equipo: a) una pala pequeña de acero inoxidable o cromo o una espátula de acero inoxidable, b) recipiente limpio y transparente para depositar la muestra con su tapadera revestida de teflón o papel aluminio limpio, c) agua destilada, acetona o hexano para descontaminar superficies, d) cinta de medición para marcar el área de muestreo y estacas para el marcado, e) guantes adecuado y equipo de protección personal.

En el caso de un suelo superficial tenga en cuenta las siguientes consideraciones:

- Un suelo superficial se considera a una profundidad de 15 cm. por lo que al recogerse la muestra deberá incluirse 15 cm. de la capa de suelo de arriba.
- Limpie la pala con agua destilada y acetona o hexano.
- Rotule el recipiente
- La muestra deberá almacenarse a 10C⁰ o menos hasta que se analice.

Muestreo de subsuelo

En este caso puede procederse de una manera sencilla y económica para el muestreo en profundidad mediante una retroexcavadora neumática. Se podrá excavar a discreción un solo pozo o varios dependiendo de lo extensa del

área. A medida que el operario avance en profundidad, la persona encargada de tomar la muestra removerá de las paredes del pozo capas de muestra mediante una pala limpia pequeña. Tenga especial cuidado que la retroexcavadora no haya sido utilizada con anterioridad para una operación de esta naturaleza.

MUESTREO DE AGUA

Recordemos que entre algunas de las características de los PCB es que por lo general son más pesados que el agua. Además los PCB pueden permanecer en el agua a manera de burbujas, la máxima solubilidad de los PCB en agua es baja variando entre 1.2 ppt y 1.5 ppm dependiendo del congénere en cuestión y finalmente, los PCB al liberarse en sistemas acuáticos tienden a almacenarse en los sedimentos.

Proceda de la siguiente manera:

- Utilice un balde limpio transparente para una toma de muestra superficial.
- Guarde la muestra (1 Litro) dentro de la botella apropiadamente cerrada con tapa de teflón.
- Guarda las muestras a una temperatura máxima de 10C°.

Muestreo de aguas freáticas

Este muestreo es un tanto complejo pero necesario en el caso que se sospeche de la existencia de PCB en mantos freáticos. Para la construcción de un pozo se deberá consultar a un geólogo quien diseñe y dirija la labor en

función del suelo. Al final la muestra deberá almacenarse en una botella limpia tapada adecuadamente con tapadera de teflón.

Muestreo del aire exterior

El muestreo del aire podría abarcar toda una investigación en vista del campo tan extenso. Sin embargo, podemos centrarnos en el área que más podría preocuparnos que es el aire que ocupa el ambiente donde respiramos. El muestreo de PCB, PCDD y PCDF es útil para determinar si el almacenamiento del material es seguro, para determinar si la concentración es preocupante para una población o para monitorear una zona específica para propósitos de seguridad e higiene.

Básicamente, el equipo para el muestreo del aire consiste en un filtro, un absorbente, una bomba para la extracción del aire a través del filtro y un dispositivo de medida del desplazamiento volumétrico determinándose la concentración total de químicos en el aire por la cantidad encontrada en el filtro y en el absorbente. Los muestreadores se clasifican en función del desplazamiento volumétrico pudiéndose adquirir cualquiera de los tres tipos de equipo: a) muestreador de alto nivel de volumen tipo Hi-Vol, b) muestreador de volumen medio y c) muestreador personal (dosímetro)

Aunque los métodos de muestreo puedan ser un tanto tediosos, recordemos que el aire es un medio de transporte de los PCB. El transporte atmosférico es una vía de transporte global de este químico, así como de los subproductos no deseados de este problemático químico, los PCB.

En general los métodos de muestreo de aire consisten en la recolección de muestras de aire en un medio para concentrar el químico en cuestión en un

volumen menor y analizar la muestra utilizando una bomba para extraer el aire a través de un filtro absorbente. (Ver Anexo 6)

Pruebas

Las distintas pruebas que se pueden aplicar a un equipo en Askarel tienen como propósito llevar un seguimiento del equipo a fin de determinar las medidas operativas que suponen la utilización del equipo o del líquido dieléctrico en el caso de equipo de transformación en servicio. Las características de un transformador varían entre los distintos equipos de acuerdo a los distintos fabricantes. La estructura interna del equipo es un tanto compleja. Sin embargo todos los transformadores tienen un sistema de enfriamiento compuesto de aletas disipadoras las cuales tienen varios puntos de soldadura. Dicho sistema de enfriamiento tiene el propósito de disipar el calor generado en el interior del transformador durante su operación a través de las aletas disipadoras. En este sistema se pueden generar diversas causas de deterioro:

- *Fugas por fisuras en las soldaduras*, que hacen que penetre humedad y aire
- *Variaciones excesivas en la temperatura del aceite* debido a los cambios de temperatura ambiental, circulación insuficiente que provoca calentamiento, etc.
- *Penetración de aire y humedad* a través de sellos y juntas, etc.

El resultado de estos incidentes es la interacción del aire (oxígeno) y el agua con el aceite de PCB, lo que lógicamente provoca su deterioro químico.

- a) La *acidez* del aceite indicara si ha habido oxidación por el contacto con el aire. La acidez se puede medir por el número de miligramos de hidróxido de potasio necesario para neutralizar un gramo de aceite. Un aceite nuevo tiene un índice de acidez inferior a los 0.05mg. El aceite del transformador puede considerarse inservible cuando supera los 4mg. Obviamente la acidez favorecerá la corrosión de las partes metálicas del transformador sobre todo las aletas de enfriamiento del transformador las cuales son delgadas y por ende mas susceptibles de verse afectadas por la corrosión que la cuba del transformador.
- b) La prueba de *interfase* mide la tensión superficial entre el aceite y el agua. Cuando el aceite del transformador, que es orgánico e hidrofóbico, comienza a degradarse por efecto del oxigeno o el agua, se hace menos hidrofóbico. Por lo tanto el ángulo de humectación con el agua se modifica. Con esta prueba se puede anticipar posibles disminuciones del rendimiento eléctrico del aceite.

La medida de resistencia de aislamiento del transformador no es de mucha importancia en cuanto al estado del PCB. Por lo que será necesario un examen directamente del dieléctrico con el fin de apreciar su alteración y determinar las posibles causas que hayan podido provocar dicha evolución.

Si en el equipo no se presentan fugas de dieléctrico, las siguientes pruebas pueden ser practicadas al aceite como parte del mantenimiento del equipo para prever el deterioro del aceite con PCB.

Examen visual

Este examen permite poner en evidencia la contaminación por los materiales la cual es más fuerte cuanto mas oscuro sea el color. Si la coloración es negruzca, se sospechará de la presencia de perforaciones que

habrán formado carbono coloidal. Si la muestra simplemente es turbia puede ocurrir que esta turbidez no sea debida a la humedad sino a la disolución de ciertos productos poco solubles. Se podrá reconocer la turbidez debida a la humedad agitando una pequeña muestra con una pequeña cantidad de sulfato de cobre anhídrido. Si la turbidez se debe a humedad el líquido se aclarará rápidamente y el sulfato de cobre se tornara de color azul.

Tensión de perforación

La tensión de perforación será el segundo examen a tomar en consideración. La tensión de perforación se ve afectada tanto por la humedad como por la presencia de impurezas mecánicas en suspensión. Cuando el valor de la tensión de perforación es bajo y varía de manera errónea de un ensayo a otro, se recomienda repetir el ensayo previo filtrado de la muestra para eliminar posibles impurezas mecánicas. Si la tensión de perforación sube a un valor, esto quiere decir que una simple filtración puede restaurar la buena calidad del PCB. De lo contrario se deberán llevar a cabo las consideraciones necesarias para sacar de operación la unidad o un método alternativo para la reutilización del equipo, probablemente rellenado del transformador siempre y cuando el equipo este en buenas condiciones.

Determinación del contenido de agua

Esta es una operación delicada y requiere la intervención de un laboratorio especializado. Generalmente esta determinación es poco útil ya que cuando se rebasa la saturación un simple examen visual de la muestra basta para apreciar la presencia de agua. Por otro lado, cuando la presencia de agua es elevada sin alcanzar la saturación, el valor que se obtiene para la tensión de

perforación es bajo, incluso después del filtrado, lo que permite sospechar la presencia de agua con bastante certeza.

Si se observa una tensión de perforación muy baja, esto justifica por sí mismo la sustitución del equipo junto con su dieléctrico.

ESTIMACIÓN DE LA VARIACIÓN DE COMPOSICIÓN POR PÉRDIDAS POR EVAPORACIÓN

La estimación de la variación de composición del Askarel por pérdida de partes volátiles puede realizarse mediante la medida del índice de refracción la cual es un tanto complicada pues se deben tener las curvas de índice de refracción del Askarel o PCB en cuestión. Se mide por medio de un refractómetro bastando algunas gotas del Askarel.

Por ejemplo, en el caso del Pyraleno, un PCB muy utilizado en transformadores, el índice de refracción aumenta a medida que se evaporan los triclorobencenos, aunque esto, sin embargo es un evento poco usual. El Pyraleno 1467, por ejemplo, tiene un índice de refracción muy próximo a 1,614 a 25° C, correspondiente a un contenido en triclorobencenos de aproximadamente 44% en volumen. Este índice de refracción varía de manera lineal con el contenido en triclorobencenos y aumenta en 0.0037 cuando el contenido en volumen de triclorobencenos en la mezcla decrece. El resultado de este evento, es que el líquido, como resultado de la pérdida de triclorobencenos, se espesa. Es necesario realizar un control al líquido dieléctrico de los transformadores en operación ya que ello permitirá descubrir la eventual presencia de materiales no apropiados o condiciones no deseadas. En el caso más general, un control cada dos años es suficiente cuando el aparato no se halla expuesto a la humedad. En el caso de equipo expuesto a la

intemperie los controles deberán ser mucho más frecuentes debido a que el peligro de condensación de humedad es más alto.

1.1.2.3 Vaciado de equipo

Para esta operación se deberán seguir las siguientes precauciones:

- Todo elemento manchado de Askarel que no pueda limpiarse perfectamente, deberá ser acondicionado para su posterior eliminación
- El desencubado de transformadores deberá realizarse en locales provistos de buena ventilación y un sistema seguro de extracción mediante bombeo el cual deberá utilizarse exclusivamente para Askareles de manera que no pueda existir posibilidad de mezclar aceite PCB con cualquier aceite mineral
- En el caso de transformadores se debe procurar que el mismo este a temperatura ambiente a fin de evitar la salida de gases
- Deberá evitarse el contacto del Askarel con la piel lo cual puede dar lugar a una exposición a PCB. Con tal fin se deben proteger las manos con guantes impermeables, de preferencia constituidos a base de Neopreno o sustancias similares. También pueden protegerse las manos y brazos con la aplicación de una capa de vaselina o pomadas siliconas. Vigile que el equipo de protección personal sea el apropiado

1.1.3 Almacenamiento y transporte

El principal objetivo de un adecuado almacenamiento de PCB es evitar que el líquido pueda encontrar algún medio de transporte para llegar a formar

parte del medio ambiente y prevenir el contacto con los seres humano mientras que se dispone de una gestión final para su eliminación.

Las principales características de una instalación de almacenamiento incluyen:

- Estar situada lejos de área de tráfico, zonas peatonales y llanuras donde eventualmente pueda ocurrir una inundación.
- Situadas a por lo menos 100 mt de lugares claves como almacenamiento de agua o de cualquier tipo de alimento, escuela, hospitales, etc.
- Deberá estar construida sobre un piso impermeable y techo que asegure que no pueda filtrarse agua en el interior.
- Las instalaciones deberán estar cercadas a manera de garantizar la seguridad de las mismas impidiendo que cualquier persona pueda entrar
- El almacén deberá estar diseñado a manera que una contención secundaria pueda contener el 125% del líquido almacenado en caso de derramamiento. Un piso impermeable con contención a manera de canales a su alrededor podrá retener el líquido derramado

Recipientes de almacenamiento

El PCB líquido se debe almacenar dentro de cajas de esta manera:

- Se deben utilizar toneles de acero de doble orificio los cuales deberán etiquetarse. Los líquidos deben tener contención secundaria lo que bien

puede ser una bandeja adicional de derrame, almacenamiento en tonel doble, o como ya hemos mencionado, un piso impermeable capaz de contener el líquido almacenado

- Las válvulas del todo equipo almacenado no serán manipuladas por ningún personal no autorizado para tal operación y las mismas deberán ser verificadas regularmente a fin de identificar fuga en ellas
- Todo equipo y toneles de almacenaje deben ser etiquetado apropiadamente. Se debe aplicar pintura sobre cualquier señal irrelevante en la superficie de los mismos a fin de evitar confusiones
- Los aparatos eléctricos grandes deben estar colocados sobre bandejas de derrame a fin de poder contener el 125% del líquido almacenado dentro del equipo
- Cualquier equipo que haya contenido en su interior PCB o este contaminado con PCB deberá estar etiquetado
- Cualquier sustancia sólida contaminada con PCB, tales como tierras, aserrín, trapos, etc., podrán ser depositadas en toneles con tapadera, depósitos impermeables, o en caso de grandes cantidades, ser apiladas con cubiertas a prueba de lluvia en la parte superior y separadas por material impermeable en la parte inferior. Tales materiales constituyen desechos de PCB

Es necesario tener especial cuidado una vez que ha sido drenado el equipo para que todas las aperturas queden selladas y que el mismo sea almacenado en un área protegida de los elementos climáticos junto con material absorbente para recoger cualquier cantidad de líquido que pueda derramarse.

El almacenamiento adecuado es imprescindible en el manejo de una variedad de material contaminado con PCB tales como

- Capacitores y transformadores retirados de operación
- Líquido de PCB drenado
- Materiales contaminados con PCB tales como tierra, material absorbente, vestimenta, trapos y equipo de bombeo y recolección

Almacenamiento a corto plazo

Es probable que el almacenamiento se lleve a cabo de manera temporal, lo cual es lo más prudente. Podemos pensar en un parámetro de tiempo de 30 días máximo para que el almacenamiento transitorio pueda en realidad ser temporal o a corto plazo sin restar cuidado a los detalles. El almacenamiento temporal deberá ser inequívocamente bajo techo lo cual bien pudiera ser bodegas o almacenes que no estén en uso y que puedan ser cerradas bajo llave. El piso debe ser totalmente impermeable y deberá estar asegurarse que la ventilación del lugar no llegue a otros donde se localice personal. Deberá verificarse el cierre de cualquier drenaje por el cual los PCB puedan ser transportados al exterior ante la eventualidad de un derrame.

Los *Contenedores de Embarque marítimo* figuran entre las instalaciones apropiadas para el almacenamiento temporal, siempre y cuando posean un medio de cierre seguro y bajo llave.

Almacenamiento a mediano y largo plazo

Debe tenerse especial cuidado que las instalaciones para el almacenamiento se encuentren ubicadas lejos de los centros de cualquier tipo de producción. Si la cantidad de Bifenilo Policlorado a almacenar no supera un

máximo de dos barriles de 200 litros ocupados no será necesaria la construcción de una instalación especializada para almacenar desechos peligrosos. Será suficiente con verificar que los barriles sean almacenados en un sitio seguro bajo techo, asegurar una buena ventilación y que los barriles estén montados sobre una parrilla de madera. Así mismo, el área de almacenamiento debe ser una que no este siendo utilizada para ninguna otra actividad. Es importante estar preparado ante la inminencia de un movimiento telúrico. Por lo tanto, los barriles deben estar asegurados de tal manera que se prevea un derrame accidental en caso de un terremoto. Las parrillas deben estar montadas sobre una bandeja de acero para almacenar un 125% del volumen total del líquido. Una muy buena alternativa de almacenamiento es el uso de contenedores para transporte internacional con una bandeja de acero como piso. El uso de parrillas facilitara el transporte de los barriles mediante montacargas.

El almacenamiento es un elemento necesario en el manejo de PCB, lo cual no debería ser una opción a largo plazo. Los desechos con PCB, el equipo contaminado con PCB y el mismo líquido deben almacenarse en condiciones adecuadas antes de su disposición final. Siempre y cuando el líquido a almacenar no sobrepase los 200 lts, puede pensarse en una instalación de almacenamiento reducida, la cual deberá constar de a) un barril o caja con suficiente material absorbente, b) candado con su llave, la cual servirá para evitar que cualquier persona abra la caja que contiene material de desecho o Askarel, c) amarre para prevenir accidente o derrame en caso de terremoto, d) parrilla de madera para la colocación de la caja que almacene desechos, e) bandeja metálica con bordes elevados y f) armario con vestimenta de protección y equipo.

En el caso de disponer de una cantidad mayor debemos pensar en una instalación especializada para el almacenamiento la cual deberá contar con a) materiales de limpieza sin contaminar, b) barriles vacíos de reserva, c) bandejas de metal para la colocación de equipo de uso continuo, d) equipo de primeros auxilios y de protección personal, e) puerta asegurada con candado, f) cerca de seguridad que impida la aproximación hasta el almacén, g) buen sistema de ventilación natural, h) barriles y materiales contaminados debidamente etiquetados.

La bodega debe estar ubicada lejos de cualquier instalación frecuentada. La bodega debe contar con un suelo perfectamente sellado, sin grietas ni hendiduras, En el caso de un derrame, se debe impedir el paso del contaminante hasta cualquier sistema de drenaje que pueda permitir su escape. El piso debe facilitar una limpieza rápida y sencilla.

Es necesario estar al tanto que dentro del almacén no se almacene ningún tipo de combustible o material que sea inflamable. Los barriles no se deben apilar para evitar su caída, sino que deben estar asegurados contra el riesgo de un terremoto.

Todo el material en la bodega deberá estar claramente etiquetado y se deberá contar con un aviso claro y grande ubicado en algún espacio visible que contenga información sobre la ubicación de la documentación relacionada. Puesto que la instalación permanecerá por algún espacio de tiempo almacenando desechos tóxicos, la bodega debe ser inspeccionada regularmente llevando registro o historial de estas.

Las bandejas metálicas debajo de todo el material almacenado servirán para que en el caso de goteo o fugas, el líquido no pueda hallar ninguna ruta de

transporte. De ser posible, las manijas en todas las válvulas de los equipos se deben remover antes del almacenamiento. El equipo de emergencia debe permanecer cerca del depósito, no dentro.

Transporte

El objetivo de un transporte apropiado de material de desecho, equipo contaminado o del propio PCB líquido es prevenir que el PCB se libere al medio ambiente y entre en contacto con los seres vivos de este. Los siguientes son requisitos para el transporte seguro del material:

- La compañía transportista deberá tener licencia expedida por la autoridad ambiental competente.
- Los desechos de PCB se deben mantener de tal manera que no exista la posibilidad de derrame, escape o cualquier otra condición insegura que pueda existir durante el transporte normal. Los contenedores de desechos o equipos de PCB se deben anclar, amarrar o atar al vehículo a fin de prevenir que caigan durante el transporte.
- Todos los contenedores o equipo que contengan líquido deben tener contención secundaria tal como las bandejas de contención. Con objeto de evitar que el líquido alcance el exterior, se colocara en el piso del camión un plástico hermético de grueso calibre que evite la salida del producto ante posibles fugas.
- El equipo deberá estar a debidamente etiquetado.
- El vehículo debe estar en excelentes condiciones mecánicas. Así mismo, el vehículo de transporte no debe dejarse solo.
- El piloto a realizar el manejo del vehículo deberá tener conocimiento del material que transporta y los riesgos implicados.

- Los barriles de líquido deberán ser introducidos en un segundo barril ligeramente mayor, al que podemos llamar barril de recuperación.
- Los aparatos eléctricos pequeños deberán colocarse en barriles. En el caso que el equipo presente posibilidad de fuga, el barril debe contener material absorbente.
- El equipo grande debe colocarse sobre bandejas de derrame y se deberá añadir material absorbente en el caso de detectarse alguna fuga. Si el equipo no se encuentra en buenas condiciones físicas deberá drenarse el PCB a barriles apropiados. Antes del transporte, deberá taparse o sellarse todas las aperturas del equipo drenado.

Los sólidos contaminados con PCB, como podría ser alguna cantidad de tierra o escombros, no necesitan de ninguna contención secundaria. Sin embargo sí necesitan contenerse del viento y la lluvia por lo que deberán transportarse en barriles con tapa.

El transporte de PCB es una de las actividades con más riesgo de derrames o fugas. Los problemas podrían suscitarse ante todo durante la carga o descarga del vehículo. Las áreas de carga deben estar equipadas con el material adecuado para atender derrames.

Todo movimiento transfronterizo de PCB o de residuos contaminados deberá efectuarse en apego estricto a las disposiciones del Convenio de Basilea sobre movimientos de desechos peligrosos en colaboración con la autoridad vigente del medio ambiente.

Transporte local de un equipo averiado

Si un transformador o capacitor presenta fugas de Askarel, éstas deben reducirse de la forma más adecuada, a base de trapos, tapones de madera o tacos, etc., envolviendo si ello es posible, el equipo con un plástico hermético.

Si la rotura es notable y existe peligro de derrame en el viaje, el transformador debe ser drenado antes de ser transportado. El transformador averiado y el Askarel recogido, deben ser apropiadamente almacenados para una posterior decisión en cuanto al destino final del equipo y del producto químico.

Si durante la operación se ha vertido Askarel en el suelo, las medidas a adoptar están en función de la naturaleza del suelo.

- Si el suelo es impermeable: limpiar y secar de acuerdo con las instrucciones indicadas en “limpieza en caso de derrame”
- Si el suelo es permeable: Retirar la capa contaminada mediante el raspado de la misma recogéndola en contenedores herméticos para su posterior eliminación. Este material para ser un desecho.

1.1.4 Formatos para etiquetado

Marcar adecuadamente el equipo que haya contenido o contenga PCB, los aceites extraídos de los mismos y cualquier elemento que haya entrado en contacto directo con el contaminante es un aspecto importante en la gestión de almacenamiento, transporte y eliminación de Bifenilos Policlorados. La misma

debe ser clara y legible de manera que no exista duda en cuanto al contenido del material que se maneja. Por lo tanto, se podrán seguir las siguientes lineamientos:

- Los formatos presentados a continuación son reconocidos a nivel mundial. Los mismos serán pegados en forma de calcomanías al equipo o elemento a ser identificado

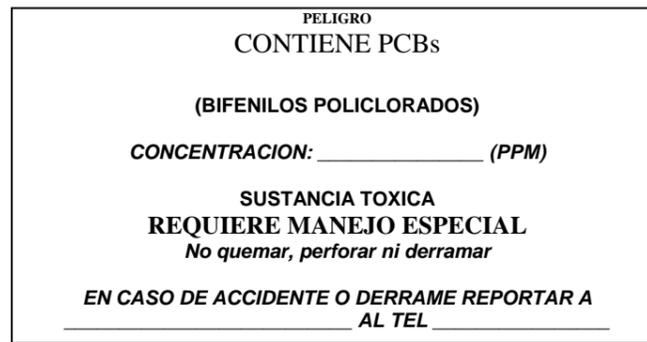
Figura 2. Etiquetado de equipo



Fuente: tratamiento Revalorización y Eliminación de Desechos Industriales TREDI

- Con el fin de reconocer los equipos y las sustancias contaminadas con PCB que se encuentren en uso o almacenados, se deberán marcar con etiquetas (100mm X 100mm) o rótulos (250mm X 250mm) que no se indelebles que no se desprendan con facilidad que posean la siguiente información

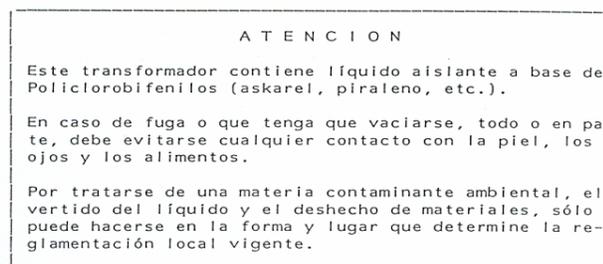
Figura 3. Etiquetado de equipo



Fuente: Manual de manejo de PCBs para Colombia, 1999, 36pp

- En el caso de los transformadores en servicio con PCB el equipo deberá tener colocada una etiqueta en la que las letras irán escritas en negro en un fondo amarillo con la siguiente leyenda

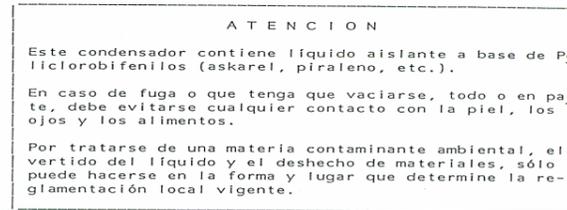
Figura 4. Señalización de equipo en uso de transformación en PCB



Fuente: Señalización de equipos y recipientes que contengan PCB (Piraleno), Normalización IBERDUERO 1992, hoja No. 4

- Para condensadores en servicio se incluirá una etiqueta como la que figura a continuación

Figura 5. Rotulación de capacitores en uso en PCB



Fuente: Señalización de equipos y recipientes que contengan PCB (Piraleno), Normalización IBERDUERO 1992, hoja No. 4

- El equipo fuera de operación que contenga o haya contenido PCB llevara la además la siguiente etiqueta de una manera claramente visible:

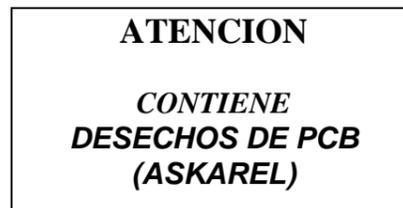
Figura 6. Rotulación de equipo fuera de operación y recipientes que contengan PCB



Fuente: Señalización de equipos y recipientes que contengan PCB (Piraleno), Normalización IBERDUERO 1992, hoja No. 5

- En el caso de equipo o recipientes que contengan desechos de PCB se incluirá una etiqueta como la siguiente:

Figura 7. Rotulación de recipientes que contengan desechos PCB



Fuente: Señalización de equipos y recipientes que contengan PCB (Pyraleno),
Normalización IBERDUERO 1992, hoja No. 5

La etiqueta debe ser firmemente fijada sobre el equipo o recipiente, debiendo ser eliminadas etiquetas anteriores que pudieran introducir error o desconocimiento en el personal que manipulara el material.

1.1.5 Detección y cuantificación

Hemos visto que la familia de compuestos de los PCB cuenta con una gran diversidad de congéneres (209), por lo que lógicamente la cuantificación o identificación de los mismos puede ser un tanto complicado. Sin embargo, la detección del químico es una *labor indispensable* para coordinar actividades y acciones a fin de gestionar su correcto uso, manipulación, transporte, almacenamiento y finalmente destrucción.

Se puede hacer una detección preliminar para estar anuentes ante la presencia de PCB. Para obtener resultados concluyentes es necesario utilizar métodos analíticos comprobables mas profundos que también se describen, aunque los mismos suelen hacerse en laboratorios utilizando distintos tipos de cromatografía.

Detección Preliminar

Existen formas *a priori* de detección de PCB. Ninguno de los métodos es totalmente infalible por lo que se recomienda llevar un inventario de las sustancias. Pero en general los PCB se pueden detectar:

- *Mediante su olor característico a solvente.* El Askarel puede diferenciarse del aceite mineral por el fuerte olor de los clorobencenos, el cual normalmente se describe como un olor ácido. Sin embargo, con esto no se esta proponiendo a los propietarios de equipo en Askarel o a cualquier interesado que proceda a respirar deliberadamente el olor de los aceites para identificar cual es PCB. La identificación mediante el olor debe haber ocurrido de manera casual y al mismo tiempo debe ser evitada. Aunque de por sí, el olor es útil como señal de advertencia, no se recomienda esta prueba ya que los vapores producidos por los PCB son tóxicos siendo necesario realizar pruebas mas concluyentes. Sin embargo, este hecho ya es un indicativo desde el inicio
- Es útil determinar la densidad del fluido desconocido. Si este es mayor que la del agua, es muy posible que el líquido en cuestión sea un Askarel o un Bifenilo Policlorado. El aceite mineral generalmente es menos denso que el agua.

En general los PCB varían en apariencia desde líquidos aceitosos incoloros o líquidos mas oscuros y viscosos hasta resinas amarillas y luego negras, dependiendo del contenido de cloro. Los PCB usados en líquidos dieléctricos usualmente se mezclan con solventes orgánicos como los bencenos clorinados que cambian las propiedades químicas y físicas de los

líquidos. Adicionalmente pueden ser contaminados con tierra, humedad, partículas de carbón y material aislante del interior del equipo.

A continuación se detallan algunas pruebas y procedimientos mas concluyentes para la detección.

Prueba simple de densidad

Los PCB son más pesados que el agua mientras que los aceites minerales son más ligeros que ella. Este se debe a que el átomo de cloro es bastante pesado. Este hecho puede ser utilizado como una prueba sencilla para ayudar en la identificación de PCB sobre todos los aceites minerales que por lo regular son más ligeros que el agua. Por lo mismo, puede procederse de la siguiente manera en un lugar ventilado:

- Limpie la válvula de drenaje en la base del transformador con un trapo nuevo
- Drene unas pocas gotas del líquido en un recipiente de cristal limpio y añádale en un tubo de ensayo con agua
- Si el líquido se sumerge al fondo, puede ser un fluido de PCB
- Si el líquido es aceite sintético o mineral, flotará. Si el líquido no se sumerge ni flota, está contaminado.

El líquido que se esta examinando no debe ser devuelto al equipo en operación.

Prueba sencilla de cloro

Como primera instancia, tenga presente que es indispensable el uso de filtro para la respiración para la realización de esta prueba. Proceda de la siguiente manera:

- caliente una punta limpia de un cable grueso de cobre (preferiblemente de diámetro de 2 a 3 milímetros.) en una llama azul pálida
- Si el alambre está inicialmente limpio, no habrá coloración de la llama hasta que el cobre alcance el rojo vivo, momento en el cual aparecerá un tono anaranjado
- Permita que el cable se enfríe por debajo del rojo vivo; luego sumérjalo en la sustancia química desconocido y vuelva a calentarlo
- Puede haber una llama amarilla brillante y humeante, pero en tanto el cobre se aproxima al rojo vivo, la presencia del cloro será indicada por una coloración verde brillante (el amarillo debe haber desaparecido). Si esta prueba resulta positiva, el material debe ser tratado como PCB

Este sencillo análisis químico permite identificar la presencia de cloro ya que al encender un compuesto que contiene cloro en presencia de cobre se producirá una llama verde ya que el cloro forma pequeñas cantidades de cloruro de cobre en la superficie del cobre y esta sustancia al volatilizarse, produce una característica llama verde.

En cuanto a estas pruebas, detallamos las más prácticas y sencillas de realizar. Sin embargo, es digno de mención que los primeros transformadores que eran llenados PCB fueron construidos de forma muy parecida a los que usaban aceite. Pero los modelos posteriores fueron fabricados como unidades herméticamente selladas sin válvulas de drenaje o dispositivos de acceso. Esto es fácil de comprender pues el PCB era un material muy estable, que no se

degradaría como los aceites normales permitiendo entonces sellar el equipo para siempre. Por supuesto, los hechos no lo demostraron así. Lamentablemente, no existe método alguno para identificar por fuera a los transformadores sellados que contienen PCB. Sin embargo, además de la placa original con el nombre del fabricante, si la misma existe y es legible, algunos detalles de la construcción del equipo podrán ser de gran utilidad para la identificación.

Placa original de identificación del fabricante

Normalmente los fabricantes de transformadores colocan una placa de identificación la cual por lo general indica si el transformador contiene Pyroclor, Askarel, Aroclor, etc. Además de esta placa, también figura el nombre del fabricante. El transformador suele contener un fluido dieléctrico que solo en parte es PCB ya que el mismo Bifenilo Policlorado en si puede ser viscoso. La mezcla puede comprender un aceite mineral o un fluido organoclorado que no contenga PCB como el triclorobenceno y el tetracloroetileno. Estos compuestos son líquidos y por ello reducen la viscosidad del aceite del transformador facilitando la circulación del líquido a través de los conductos de enfriamiento del transformador y elevando la eficiencia del enfriamiento.

Así que los fluidos dieléctricos de PCB pueden ser una combinación de Bifenilos Policlorados y, por ejemplo, Triclorobenceno (TCB) cuya función es reducir la viscosidad del PCB para que este pueda circular fácilmente por los conductos de enfriamiento de las bobinas. Los nombres comerciales que se dan a los fluidos dieléctricos con PCB para transformadores son conocidos. Detallamos los mas conocidos comercialmente en la siguiente tabla:

Tabla III. Nombres comerciales más comunes para mezclas de PCB

Aceclor	Duconol	Geksol	P-53
Arubren	Clophen	Hivar	PCB
ALC	Chlorinol	Hydol	P-296
Apirolio	Clorphen	Hyvol	Phenoclor
Arochlor	Chlorophen	Inclor	Pyfraul
Asbeltol	Disconon	Inerteen	Pyralene
ASK	Diaclor	Kanechlor	Pyranl
Askarel	DK	Kennechlor	Pyroclor
Adkarel	Dykanol	Magvar	Polychlorinated Biphenil
Capacitor 21	EEC-18	MCS 1489	Santotherm
Bakola	Dialor	Montar	Saf-T-Kuhl
Biclор	Delor	Monter	Santovac 1 y 2
Chlorinated Biphenyl	Eucarel	Nepolin	Sovtol
Chorobiphenyl	Elemex	Nitrosovol	Solvlol
Chlorextol	Fenchlor	No-Flamol	S-42
Chlorinted	Galovacs	Líquido inflamable	Solvol
Diphenil			

Fuente: Manual de manejo de PCBs para Colombia, 1999, pp 19

En el caso de los equipos eléctricos, el nombre genérico Askarel ha resultado ser la denominación genérica más común. Por lo tanto es necesario examinar detenidamente las especificaciones técnicas que figuran en la placa de identificación del equipo a fin de identificar si el mismo fue manufacturado

con PCB. En el caso de los transformadores es conveniente revisar dos aspectos:

- Tipo de enfriamiento
- Tipo de construcción

Tipo de enfriamiento

Cualquiera de las siguientes descripciones o siglas indican la presencia de un compuesto distinto al aceite del transformador:

- Liquid Natural Cooling (LN) (*enfriamiento líquido natural*)
- Liquid Natural Air Natural Cooling (*enfriamiento líquido natural aire natural*)
- Synthetic Natural Cooling (SN) (*enfriamiento natural sintético*).

En principio, estos transformadores no contienen aceites con PCB.

Si en la placa figuran las siglas “ON” u “ONAN” estas significan enfriamiento natural por aceite (OIL Natural) y natural por aceite-aire (OIL Natural Air Natural), respectivamente. Podemos estar seguros que el equipo no contiene PCB.

TIPO DE CONSTRUCCION

El tipo de construcción de un transformador también puede ser un buen indicativo de la presencia de PCB. Como mencionamos, muchos

transformadores se solían sellar herméticamente. Aunque existen diferencias entre estos equipos dependiendo del fabricante, existen detalles en común:

- Los más recientes, tienen la tapadera soldada a la cuba
- Por lo regular, no tienen válvula de drenaje ni de muestreo
- Suelen tener válvulas para despresurizar
- Tienen cajas de distribución que se pueden desconectar para poder realizar pruebas de cableado sin necesidad de tener que acceder a la unidad del transformador

El caso del equipo de transformación en aceite mineral requiere un trato especial, pues los métodos descritos no son útiles para determinar si el aceite está contaminado o no. El equipo pudo haberse contaminado con PCB durante su fabricación, si este fue fabricado antes de 1,983, año en que todos los fabricantes en general cambiaron los métodos y conceptos de fabricación. El equipo podría haberse contaminado después de su instalación en alguna operación de mantenimiento de rutina. Por ello, se debe implementar un plan de muestreo de esta manera:

- En el caso de poseer equipo nuevo, aunque no este todavía en operación, incluso equipo usado, fabricado hasta 1,983 inclusive, el 100% de este equipo deberá ser sometido a una prueba para verificar si no hay contaminación por PCB.
- Equipo usado fabricado después de 1,983 deberá ser por igual sometido a prueba de contaminación.
- Equipo nuevo fabricado después de 1,983 será necesario una certificación del fabricante que el mismo no contiene PCB. En caso de no poder poseer dicha certificación, podrá determinarse si el propietario o

el proveedor del equipo realiza somete a prueba el dieléctrico escogiendo como campo de prueba, un 25% del equipo. Esto puede ser determinado a discreción del dueño del equipo y si así se considera mas relevante, al 100% del equipo. En caso de detectar un solo equipo en particular con una concentración de 50ppm o más, la prueba debe realizarse sin excepción a todo el equipo.

El propietario podrá decidir entre la adquisición de un equipo de prueba especial para determinar la concentración de PCB en los distintos equipos de transformación o condensadores. Así mismo, debe estar muy al tanto que la solución no será sencillamente la adquisición y trabajo de campo. Esto requerirá de ser necesario, una capacitación para el adecuado uso del equipo ya que la interpretación, que es el objetivo primordial de la prueba, debe ser la correcta. En vista que el resultado de la prueba es la concentración de cloro, el resultado debe ser calibrado en función del tipo de PCB en vista que entre las los Bifenilos Policlorados se cuentan con distintas concentraciones de cloro. (Ver Anexo 6 y 7).

Sin embargo, para tal fin, solamente los resultados en laboratorios con el equipo sofisticado para ello, pueden dar una conclusión del 100% absoluta. Mencionamos algunos de estos métodos y sus principales características.

Cromatografía de Gases Acoplada a Espectrometría de Masas

Esta técnica es confiable. Se utiliza un cromatógrafo de gases como separador de la muestra desconocida en sus componentes. El espectrómetro de masas ioniza los componentes separados y realiza un barrido electrónico de todos los iones para ubicar iones de PCB comparando sus masas teóricas. Esta es una técnica absoluta y muy confiable ya que se realiza el barrido de

todos los congéneres basándose en el hecho que la muestra es una familia de isómeros. Este es el medio mas seguro para detectar y cuantificar PCB.

Cromatografía Capilar de Alta Resolución

Este procedimiento tiene dos objetivos: obtener mejores estimaciones de la cantidad total de PCB en una muestra y estimar la concentración de los congéneres individuales. El método es moderno y produce un resultado absoluto, aunque no es más adecuado que el descrito anteriormente.

En la práctica ninguna fase estacionaria tiene la suficiente capacidad de separación o resolución para separar todos los congéneres presentes como contaminación. La presencia en las muestras de todos los compuestos que no son fácilmente aislados produce picos adicionales en los cromatogramas que pueden provocar algún tipo de incertidumbre en este tipo de cuantificación.

Condensadores

El caso de los condensadores es también de interés ya que representan también una fuente de riesgos en este aspecto de la gestión de material toxico.

En vista que los condensadores son unidades selladas, la obtención de líquido dieléctrico para muestreo es muy difícil. Sin embargo las fechas ya mencionadas en cuanto a los transformadores son guías útiles. Los condensadores producidos en Norte América antes de 1,979 por lo general, contienen Askarel o PCB en concentraciones de 75 a 100%. Los que fueron fabricados en Europa Occidental hasta 1,983 generalmente contienen PCB. Los condensadores en cuya placa aparezca la descripción "*no contiene PCB*" o

que contiene líquidos dieléctricos como WEMCOL, FARADOL 100, DIELECTRO II o DPO, no contienen PCB.

De no ser posible identificar la naturaleza del líquido dieléctrico, el propietario deberá solicitar información al respecto al fabricante para obtener una certificación de ausencia o presencia de PCB.

3.4 Prevenciones concernientes a la utilización de Askareles

3.4.1 Medidas preventivas

La forma de evitar que situaciones de emergencia ocurran es mediante la aplicación de medidas preventivas, lo cual es la más recomendable. Es necesario recordar algunos inconvenientes de este producto químico entre los cuales figuran que es no biodegradable, tóxico y bioacumulable. Además, a elevadas temperaturas a partir de los 300° C empiezan a producirse de manera leve y de manera mas acentuada a partir de los 650° C dioxinas y furanos (ver Anexo 1). Por lo mismo son necesarias las siguientes medidas

- Tener conocimiento del número, ubicación y volumen de los equipos en funcionamiento que contengan en su interior líquido dieléctrico o cualquier tipo de Bifenilo Policlorado o PCB
- Realizar un reconocimiento detallado del equipo que contiene PCB mediante una placa de identificación del equipo etiquetando el mismo
- Realizar una clara señalización en el acceso al local en el que se encuentren equipos conteniendo PCB
- Llevar un historial del personal que ingrese a algún local, cerrado o abierto, que contenga equipo con PCB

- El suelo de hormigón en el que se encuentre el equipo eléctrico se debe tratar con una pintura impermeable y cualquier agujeros o pasos de cable deberán ser sellados para evitar la posible ruta de líquido dieléctrico
- La estanqueidad de aparatos y dispositivos de retención deberán verificarse una o dos veces al año
- Listado periódico del régimen de carga a que están sometidos todos y cada uno de los transformadores con dieléctricos en PCB
- Establecimiento de un listado mediante muestreo para un inventario de los centros de transformación y equipo que precisen de cualquier tipo de operación los cuales contengan en su interior PCB

3.4.2 Vigilancia ambiental

Técnicamente es posible medir los PCB en el aire ambiente, pero es un proceso un tanto complicado y tiene que llevarse a cabo en dos etapas: toma de muestras seguida de análisis en un laboratorio que tenga el equipo adecuado para el análisis. El lector podrá revisar el apartado de la toma de muestras para el aire ambiental.

Sin embargo, es útil tener un parámetro estándar de referencia para asegurar que el personal que realice cualquier tipo de operación en un ambiente que contenga PCB, ya sea equipo PCB, líquido PCB o desechos PCB, puedan trabajar bajo condiciones de seguridad. Este parámetro es también aplicable en las instalaciones de almacenamiento de PCB ya que la misma es frecuentada por recurso humano. En estados Unidos la norma de calidad permitida de exposición a aire ambiental es de 1.0 µg/m³. Si se llega a sospechar que este límite puede sobrepasarse, se recomienda utilizar la

vestimenta de protección adecuada y muestrear el aire para la comprobación del límite permitido.

Los criterios de límites máximos permitidos de exposición a los PCB pueden variar de país en país y estos han sido el resultado de complejos análisis de riesgos tóxicos. Frecuentemente, los resultados se derivan de estudios realizados en animales para después aplicar un factor de seguridad para llegar a un límite de exposición tolerable. En el Anexo 5 se pueden consultar los límites máximos permitidos de exposición a los PCB tomando como aceptables los estándares usados en Canadá y en los Estados Unidos.

3.4.3 Sanidad y seguridad

Este aspecto es de suma importancia en la manipulación de equipo que contenga PCB. Las siguientes son indicaciones que podrán variar de acuerdo al país o la región donde se este trabajando. Pero podemos tomar como medidas aplicables en cualquier país las siguientes, que el operador o personal deben saber y aplicar.

- Asegurar que el área de trabajo tenga *suficiente ventilación*. En subestaciones cerradas se deben utilizar ventiladores portátiles a nivel del suelo
- Usar vestimenta de protección completa.

No se debe permitir en ningún caso que el personal o cualquier observador fume en el recinto en la que se esté manipulando equipo o material con PCB. El personal que entre en contacto con equipo PCB, líquido PCB o desechos de PCB deben contar con un programa de vigilancia medica el cual

podrá ser aplicado dependiendo del tipo de operación o trabajo. Por ejemplo, si se empezara un proyecto particular, podría hacerse un examen al inicio y al final del proyecto.

Los exámenes médicos mínimos que deberán aplicarse serán los siguientes

- Pruebas de visión y audición
- Examen de orina
- Examen de sangre incluyendo el nivel de PCB
- Examen de pulmones
- Examen funcional de enzimas hepáticas
- De los distintos exámenes realizados y fechas, se deberá llevar un historial completo.

3.4.4 Seguridad contra incendios

Igualmente dentro de las medidas preventivas deberá tenerse en cuenta la posibilidad de un incendio como una posible causa externa mediante:

- Asegurarse de la no existencia de materiales de potencial calorífico así como de la no acumulación de materiales inflamables en la proximidad del aparato
- En caso de proximidad inmediata de un aparato de aceite mineral, debe ser interpuesta una pared contra fuego. Si es posible el retiro del equipo con aceite mineral deberá ser tomado en consideración

- Los servicios contra incendios y de socorro en caso de existir uno deberán ser informados de la presencia de tal material y se tendrá en cuenta en su plan de intervención

1.1.1 Ventilación

- Es indispensable que los humos que puedan ser emitidos no accedan a otros lugares vecinos tales como oficinas, talleres, viviendas etc.
- Los mismos no deben alcanzar los conductos de aire y conducciones eléctricas ya que mediante estas pueden los humos hallar un medio de propagación rápida. En el caso de las instalaciones construidas especialmente para estos fines, la ventilación es una parte integral del diseño
- En los demás casos, o en las instalaciones temporales, una buena ventilación general será suficiente, siempre y cuando la cantidad de aire que entre sea mayor a la cantidad que se extrae, para que se propicie una corriente descendiente. Los vapores y aerosoles de PCB suelen ser más pesados que el aire, y con este procedimiento serán controlados más fácilmente. Si se requiere ventilación mecánica, convendrá asegurarse de que el aire sea extraído con un equipo de tratamiento de aire que tenga un sistema de filtración apropiado
- Para prevenir la contaminación ambiental, deberán colocarse filtros en dos fases: un filtro de tela para eliminar el aerosol y un filtro de carbono activo para eliminar vapores.

3.4.6 Mantenimiento de las instalaciones que contienen PCB

El personal que intervenga en actividades diversas con equipo que contenga PCB deberá estar informado de los riesgos relacionados con los PCB y tener presente las siguientes recomendaciones

- Evitar cualquier derramamiento de dieléctrico. De existir riesgo de derrame, será necesario mantener productos absorbentes (aserrín, arena, trapos, etc.) o depósitos que deberán estar en disposición en cualquier momento para su uso. Los mismos deben estar previamente evaluados para evitar cualquier fuga
- Evitar un sobre calentamiento del equipo, lo que directamente incide en el dieléctrico. El control de carga es un aspecto importante a fin de no someter a altas temperaturas el PCB
- Debido al riesgo de descomposición, prohibir el empleo de soplete o de cualquier equipo que produzca de arco eléctrico en las cercanías del equipo con PCB. Esto también disminuirá la posibilidad de incendio y la generación de gases nocivos
- Todos los objetos manchados de PCB (trapos, guantes, etc.) se considerarán desechos y se almacenarán en recipientes para desechos para posteriormente darles un final apropiado que evite la contaminación del medio ambiente.

La explotación normal del equipo en PCB no plantea problemas particulares. Sin embargo, deben tomarse estas medidas preventivas a fin de evitar futuros problemas de carácter persistente.

4. Clasificación de transformadores y tecnologías de eliminación de desechos de PCB

Hasta el momento hemos considerado diversos aspectos en cuanto a las cualidades e inconvenientes de los Askareles, así mismo aspectos de operación de rutina o preventivos, transporte, detalles concernientes al almacenamiento y respuesta ante emergencias. Tales actividades debieran estar coordinadas en cooperación con la autoridad del medio ambiente en función. En el caso de Guatemala, dicha autoridad es el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Aunque actualmente no existe en el país una normativa absoluta con carácter legal y técnica para la gestión de PCB, dicho ministerio ya ve la necesidad de emprender acciones decididas y razonables para velar por un medio ambiente seguro. Independientemente de las acciones que dicho ministerio tome, es posible que un propietario de equipo PCB se halle ante una situación que ambientalmente para dicho ministerio no sea racional. Por lo tanto es necesario considerar otras opciones de solución con el fin de poder reclasificar el equipo. Describiremos algunas técnicas aceptables para la reutilización de un equipo en Askarel y los cuidados pertinentes en cada caso. En el apéndice No. 1 se detallan algunas empresas autorizadas por la EPA para la gestión de destrucción o reutilización de equipo y PCB así como los medios para ser contactadas.

Tenemos dos razones para clasificar un transformador:

- Una vez que se haya detectado que un transformador tenga un contenido de PCB que rebasa los niveles aceptables según la normativa mundialmente aceptada (>50 ppm) y sin embargo, *el equipo todavía se encuentra en buenas condiciones eléctricas y mecánicas para seguir*

operando, lo que justificaría su utilización. Para estos casos, es útil considerar que existen varios métodos para descontaminar un transformador para poder permitir la explotación eléctrica del equipo hasta que su vida útil verdaderamente llegue a su fin

- Cuando un transformador ya no cumple con los requisitos de operación para su uso porque, por ejemplo, su rendimiento eléctrico es deficiente, está en mal estado mecánico, tiene filtraciones, etc. En estos casos el transformador debe ser *reemplazado* por una unidad nueva, y debe también ser *eliminado* teniendo muy presente todos los procedimientos y cuidados pertinentes. Como hemos mencionado, disponer inconscientemente de un equipo con PCB con el fin de eliminar responsabilidad no es viable ni mucho menos ambientalmente aceptable. Las disposiciones autorizadas por la legislación del medio ambiente en función será también un aspecto muy importante a tener en cuenta para la toma de decisiones

Un transformador puede contener PCB debido a que este diseñado y fabricado para utilizarse con un aceite PCB, o como genéricamente se les ha llamado, Askareles. Sin embargo, puede existir el caso en el que un transformador vendido o etiquetado como equipo sin PCB en realidad pueda contenerlo estando el mismo contaminado. Ello se debe a que el transformador que utiliza aceite convencional haya sido contaminado indirectamente con PCB en algún momento, probablemente en alguna operación de mantenimiento. Esta situación puede deberse a que se haya utilizado tiempo atrás los mismos equipos para llenar transformadores con aceites de PCB y con los otros aceites convencionales. Por ello, se generó una contaminación cruzada y un transformador marcado como transformador con aceite convencional puede contener incluso más del 0.005% (50 ppm) de PCB, valor límite especificado en

el anexo 2 Convenio de Estocolmo. En estos casos el rellenado es un método para reducir los niveles de PCB a menos de 0.005%. En el anexo 2 se adjunta este extracto del Convenio de Estocolmo sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes, COP.

4.1 Descontaminación mediante rellenado

Un transformador puede ser rellenado lo que significa drenar el fluido dieléctrico del equipo y reemplazarlo con un nuevo aceite libre de PCB lo cual puede ser un tanto complejo debido al diseño y construcción interior del equipo. El transformador suele estar construido con piezas que tienen componentes de madera y papel, lo que obviamente representa un problema ya que estos materiales son porosos por lo que van a conservar aceite contaminado. Por ello eliminar en un tiempo relativamente corto el aceite de PCB no es posible. En el caso de los transformadores de distribución el método sería relativamente rápido. La práctica de esto resultaría en que al verter un aceite nuevo y limpio en el transformador, los PCB residuales saldrían filtrándose por los componentes porosos elevando poco a poco el nivel de PCB y nuevamente podríamos llegar a niveles no recomendados. Dicha acción de filtrado y liberación de PCB en el aceite nuevo del transformador, proceso conocido como lixiviado, dependerá del tamaño y la estructura del equipo. A veces se puede rellenar un transformador mientras se encuentra en carga lo cual es una decisión altamente técnica. Se trata por igual el costo de la operación de rellenado, incluidos costos de eliminación de materiales contaminados, que hay que comparar con el costo de un transformador nuevo en caso de que se retire el anterior. Igualmente, las normas de seguridad de la autoridad del medio ambiente local podrían variar de país en país. También se considerará la legislación vigente en cuanto al nivel permisible de PCB en transformadores, que por ahora es de 0.005% (50 ppm) en la mayoría de los países. Para el año

2025, las Partes del Convenio de Estocolmo deberán haber eliminado el uso de PCB en equipos eléctricos como transformadores y condensadores. También se obligan a realizar esfuerzos decididos para lograr una gestión de desechos ambientalmente razonable respecto a los líquidos con PCB y equipos contaminados con PCB (contenido de PCB superior a 50 ppm) tan pronto como sea posible y a más tardar en el 2028. Si el transformador logra estabilizarse en una concentración menor de 50 ppm, podrá reclasificarse como equipo libre de PCB.

4.1.1 Aspectos a considerar para el rellenado

Antes de efectuar una operación de rellenado, es necesario documentar la decisión con los siguientes aspectos técnicos y económicos:

- *Edad del equipo.* Generalmente los transformadores tienen una vida útil de aproximadamente 30 años. Por lo que se debe analizar si el tiempo de vida útil restante del equipo justifica económicamente el rellenado. Así mismo, tome en cuenta los objetivos de eliminación gradual estipulados en el Convenio de Estocolmo
- *Condición del equipo.* ¿Es todavía satisfactorio el rendimiento eléctrico del transformador? ¿Hay indicios de filtración, oxidación? ¿En qué condiciones se encuentran los sellos?, etc.
- *¿Cuál será el momento oportuno para dejar de utilizar el equipo?* Si se deja de utilizar el transformador, ¿qué consecuencias tendrá el consiguiente cese de suministro eléctrico? ¿Cuál será el impacto en los usuarios finales si se detiene la operación?
- *¿Será positiva la reacción de la población si el transformador es descontaminado?* Interesa saber si el hecho de que ya no se utilicen

PCB tendrá un efecto positivo en las personas o poblaciones que vivan cerca del lugar donde se encuentre el equipo. Podría este hecho provocar el movimiento eventual de la población cercana al lugar? Es de esperar que los accidentes ocurridos en el siglo pasado ya no se recuerden con tanta frecuencia, sino por el contrario, estén pasando poco a poco al olvido. Sin embargo, mientras el PCB exista en cualquier equipo, este sigue siendo un foco de problemas de carácter persistente, capaz de volver a repetir los mismos accidentes ya ocurridos en otros países.

- *¿Se dispone de la tecnología apropiada para la operación de rellenado?*
¿Se encuentra cerca del transformador dicha tecnología o habrá que transportar la unidad a una planta de rellenado? En el caso de Guatemala, dicha tecnología se encuentra fuera de las fronteras del país.
- *¿Hay otros fluidos que se puedan usar, tomando en cuenta las características del transformador?* Los aceites eléctricos no se pueden usar indistintamente. Quizás el transformador ha sido concebido para que se utilice con determinado aceite, y entonces debe elegirse un aceite sin PCB similar.
- *¿Se reducirá el contenido de PCB del aceite gracias al rellenado?* Esta es una cuestión necesaria de considerarse pues recordemos el hecho que existen dentro del transformador elementos porosos que van a provocar retrodifusión o un retro lixiviado de PCB hacia el nuevo aceite. Como ya se explicó, la eliminación total de PCB del interior de un transformador puede ser un proceso largo y complicado. La cuestión del tiempo puede ser un factor importante que tendrá que tomarse en consideración.
- *¿Cómo será eliminado el aceite desechado del transformador?* El rellenado implica la eliminación del aceite de PCB y su

descontaminación. Puede que la tecnología para la descontaminación no se encuentre cerca del equipo de transformación. Por lo que el aceite deberá ser transportado hasta el lugar de eliminación. El transporte de este líquido, así como el equipo, deberá realizarse internamente dentro del país y de ser exportado fuera, de debe seguir las disposiciones del Convenio de Basilea sobre el movimiento transfronterizo de desechos químicos peligrosos.

- *¿Cómo se eliminarán los desechos generados por la operación de rellenado (ropa, aserrín, trapos, etc.)?* Es posible que los desechos no representen grandes cantidades, sin embargo deben ser eliminados. Para este tipo de casos, la incineración es la única tecnología existente.
- *¿Cuál será el costo económico total, tomando en cuenta los factores antes mencionados?* La decisión a tomar debe ir económicamente justificada.
- *¿Cuál será el resultado del estudio de Impacto Ambiental de la autoridad del medio ambiente local?* La conclusión a la que se llegue para determinar el destino final de un equipo debe también estar documentada por un estudio de Impacto Ambiental, necesario para justificar legalmente ante las autoridades competentes las medidas operativas a llevar a cabo.

4.1.2 Características necesarias del aceite sustituto

El rellenado de un transformador no es sencillamente un asunto de nada mas drenar el Askarel y volver a llenar el equipo con aceite limpio de PCB. Debemos tener presente aspectos eléctricos en cuanto al equipo lo que nos indicará el tipo de aceite a usar. Un aceite puede ser usado tanto para rellenar tanto transformadores nuevos como usados.

- En el caso de un *equipo nuevo*, el transformador estará diseñado tomando en cuenta las características principales del aceite: gravedad específica, viscosidad y coeficiente de expansión térmica en particular.
- En el caso de un *transformador usado*, antes de seleccionar el aceite, es necesario tener en cuenta el diseño del transformador para asegurar que este podrá operar apropiadamente con las propiedades físicas del nuevo aceite.

Una vez que conocemos las características del transformador, debemos tomar en cuenta los siguientes parámetros del aceite sustituto antes de seleccionarlo:

- *Características eléctricas*. En principio, éstas no representan en ningún problema. La constante dieléctrica, punto de ruptura, etc., se eligen en función de las condiciones de uso del transformador.
- *Propiedades de resistencia al fuego*. Este es un factor muy importante pues recordemos que los aceites de PCB fueron introducidos en el siglo pasado cuando una de las preocupaciones en las instalaciones eléctricas era el riesgo de incendios.
- *Densidad*. Si la densidad de un aceite sustituto es mucho mayor que la de original, esto podría representar problemas mecánicos al transformador pues su circulación dentro del equipo va a dificultarse. Sin embargo, los PCB tienen una gravedad específica mas alta que la del aceite convencional. Sin embargo, no debemos dar por sentado esto sino asegurar que seleccionaremos el aceite apropiado verificando estos datos.

- *Coeficiente de expansión térmica.* Las condiciones climáticas varían acuerdo al lugar o región donde se encuentre el equipo de transformación en operación. Sin embargo, la operación en si genera pérdidas de energía en forma de calor por lo que pueden presentarse notables cambios de temperatura. Por eso es fundamental que el transformador esté diseñado para aceptar cambios de volumen debidos a las variaciones de temperatura.
- *Viscosidad.* Un transformador está diseñado para permitir cambios en el campo eléctrico con la menor pérdida energética y para enfriar el aceite que esté absorbiendo las pérdidas de energía y produciendo calor. Este calor se elimina cuando el aceite circula por las aletas de enfriamiento las cuales son parte fundamental del transformador. El movimiento del líquido a lo largo de los pequeños canales es más eficiente cuanto menos viscosidad tengan los aceites. La dependencia entre temperatura y viscosidad del aceite es, por igual, importante.
- *Punto de inflamación e inflamabilidad.* Estos deberán ser lo mas bajo posible. Claro esta, que los puntos de inflamación y de ignición de los aceites sustitutos nunca podrán igualarse a los que tienen los PCB.
- *Subproductos de combustión.* Puede que no sea un factor determinante para la selección del aceite, pero debe conocerse el comportamiento del aceite en caso de combustión.
- *Consideraciones ambientales.* Por supuesto, el aceite sustituto no debe ser tóxico, presentando las mismas desventajas ya descritas que los aceites en PCB. La principal característica que debe tener es la biodegradabilidad. Así en caso de derrame, el aceite podrá descomponerse lentamente en el medio ambiente de manera natural, es decir, por efecto de los microorganismos y la luz del sol. Además, los

productos de la combustión no deben representar un peligro especial en cuanto a toxicidad.

Debemos mencionar que el aceite podría no ser adecuados para un uso en particular, por ejemplo, para un transformador que se utilice en condiciones especiales. Existe variedad de diseños de transformadores, por lo que el aceite puede requerir un aceite con las características adecuadas debido al diseño del transformador.

El transformador puede estar sellado herméticamente, o puede tener un respiradero, lo que significa que no está completamente sellado y que puede tener una cámara de expansión para absorber las variaciones de densidad y, por lo tanto, de volumen, en función de la temperatura. Si se trata de un transformador que puede absorber los cambios de temperatura el cual una cámara de expansión colocada encima de la cuba, se puede utilizar un aceite con un coeficiente de expansión térmica relativamente alto. En estos casos, los cambios de temperatura serán absorbidos gracias al diseño del transformador.

En cambio, si se trata de un transformador sellado, es imperativo que el aceite sustituto tenga el mismo coeficiente de expansión térmica que el aceite original, para evitar que se generen altas presiones internas con el aumento de temperatura lo que obviamente provocara serios daños mecánicos.

4.1.3 Medidas de control para el rellenado

Hemos mencionado los lineamientos indispensables para la correcta y, ante todo, segura manipulación del equipo con aceite dieléctrico en PCB y del mismo líquido dieléctrico. El personal que realice la operación del rellenado de

un transformador debe estar totalmente anuente a estos lineamientos y su estricta ejecución así como el equipo de protección personal que debe utilizar.

Sin duda alguna que el vaciado y el rellenado del equipo es una operación delicada y tenemos que destacar el hecho que aun cuando se actúe con mucho cuidado para sacar todo el aceite original posible del tanque del transformador o del capacitor, y aunque durante un periodo aproximado de dos horas se haya dejado que el transformador escurra el aceite que haya quedado entre las vueltas del cable, todavía habrá quedado aceite contaminado dentro del núcleo y las bobinas. En el caso de los transformadores, la experiencia muestra que suele existir un 10% de retención de aceite en el núcleo y en las bobinas, y que la contaminación por PCB alcanza el equilibrio con el aceite nuevo después de un periodo de 90 días sobre periodos normales de carga. Por eso, si se ha observado que el aceite original está contaminado con un índice por ejemplo de 500 ppm, el rellenado con aceite nuevo lo estabilizará a 50 ppm de PCB al cabo de 90 días. *Esta prueba se conoce como "la prueba de los noventa días"* a fin de reclasificar un transformador como equipo no contaminado por PCB.

Para transformadores con altas concentraciones de PCB una operación de rellenado podrá ser suficiente, o de lo contrario, podría estimarse mas de una operación para lograr una concentración inferior o igual a 50 ppm.

Mencionamos para la operación específica del rellenado las siguientes recomendaciones:

Manipulación del transformador

- Es conveniente vaciar los transformadores en el sitio mismo antes de llevarlos a la instalación de rellenado especializada
- El líquido que contiene PCB tiene que ser almacenado y transportado en barriles de acero apropiados para el transporte al lugar de almacenamiento y posteriormente su futura destrucción. Se recomienda tener material absorbente y además efectuar el bombeo mecánico de los líquidos
- Usar vestimenta de protección del nivel apropiado.

Manipulación de condensadores con PCB

El capacitor deberá ser retirado completo del sitio de instalación origen y colocándolo en un contenedor metálicos que pueden sellarse hasta que sean llevados a un sitio de almacenamiento esperando por una decisión de eliminación. En caso de filtraciones se requiere de un manejo muy cuidadoso y especializado. Las filtraciones deberán ser absorbidas con aserrín, arena o tierra y el material absorbente contaminado, o desechos, será almacenado en contenedores metálicos para su eliminación.

Es probable que la decisión en cuanto a operaciones de reutilización de equipo no sean factibles en un país como Guatemala pues no se cuenta con una tecnología de punta autorizada para la gestión de PCB. Como hemos dicho, dicha tecnología se encuentra en el extranjero. Sin embargo, en caso de disponer de instalaciones existentes que puedan ser remodeladas para dichas operaciones, mencionamos las principales precauciones para el desmantelamiento del equipo:

- Divida la instalación en dos áreas de trabajo: área limpia y área sucia, separadas por un área para cambiarse. El área para cambiarse y el área limpia deberían tener superficies lisas e impermeables. Los transformadores y condensadores sólo se deberán dismantelar en el área sucia. Las mesas de trabajo del área sucia deben cubrirse con un material liso e impermeable y tener bordes que detengan posibles derrames. Los pisos del área sucia deben construirse con un material liso e impermeable, y tener rebordes para retener los derrames
- El área no deberá estar conectada a ningún sistema de drenaje
- El acceso al área sucia sea lo bastante grande para poder ingresar por ella los transformadores y condensadores
- El suelo del área sucia puede contaminarse con PCB, sobre todo si el hormigón se daña. La vida útil del piso se puede prolongar utilizando recubrimientos de madera o de fibra al dismantelar transformadores o capacitores los cuales además de proteger físicamente el piso, también absorberán pequeños derrames o gotas de PCB
- Tratar el piso y los recubrimientos contaminados como desechos de PCB

El área de dismantelamiento debe contar con los siguientes elementos:

- entrada a la parte limpia
- área de regaderas y sanitarios
- una parte sucia, en que el personal puede ponerse el EPP;
- una salida hacia el área de trabajo

4.1.4 Apertura de equipo que contiene PCB

Transformadores

Desmantelar un transformador sellado puede generarse vapor, humo o aerosoles de PCB. Por lo tanto, desde un inicio, se debe evitar todo proceso de corte o soldadura con flama. El calor de la flama no sólo vaporizará PCB sobre la superficie de la pieza que se está cortando, sino que también se esparcirá por las partes adyacentes e incrementará la volatilización de los PCB que estén cerca. Debemos tener presente que a medida que la temperatura aumenta, también aumentará la presión de vapor de los PCB y su capacidad para formar vapor. Este efecto puede ser muy pronunciado a temperaturas más altas. También hay indicios de que en determinadas condiciones las temperaturas entre 200C° y 450C° pueden producir una formación lenta de PCDD, y que a temperaturas más elevadas, entre 450° C y 700° C, se empiezan a generar PCDF.

Capacitores

A diferencia de los transformadores, los capacitores son siempre unidades selladas las cuales para perforarlas y vaciarlas hay que procurar reducir, al igual que con los transformadores, la generación de aerosoles o vapor. Si el proceso se realiza manualmente, puede que un sistema de ventilación local sea necesario.

La mejor opción es el corte mecánico del equipo, pero hay que recordar que este proceso puede generar calor o la formación de aerosoles, efectos que son más pronunciados cuando las velocidades de corte son altas, siendo por lo

tanto mas recomendable el corte mecánico a velocidades de corte lo más bajas posible.

4.1.5 Alternativas de aceites para el relleno

La elección del producto dependerá no sólo de las características del aceite, sino también de prácticas locales y regionales del país. Y tal como hemos mencionado, del equipo mismo.

Mencionamos algunos de los mas conocidos:

- Aceites minerales
- Fluidos de Silicona
- Aceites de Ester Sintético
- Aceites de Ester Natural

1.1 Descontaminación en línea

Mediante este método se puede llegar a descontaminar un transformador usualmente con cantidades considerables de aceite (>10,000 lts) para destruir químicamente las moléculas de PCB del aceite teniendo como ventaja inmediata que el transformador puede permanecer en operación, por lo que en el caso de instalaciones donde el suministro del fluido eléctrico es indispensable, esta alternativa de descontaminación es atractiva. Un equipo móvil de descontaminación es llevado hasta el lugar donde se encuentra el transformador y mediante mangueras conectadas a ambos equipos, el aceite es bombeado por el equipo descontaminante que básicamente no es mas que un filtrado del aceite para retirar las moléculas de cloro con el objetivo de lograr que el aceite quede con no mas de una concentración de 2 ppm de PCB.

Es importante tener en cuenta que después de noventa días, será necesario verificar que el equipo no contenga mas de 50 ppm de PCB. Si esto es verificado, el equipo podrá reclasificarse como libre de PCB.

1.2 Descontaminación in situ

Puede resultar totalmente imposible el transporte de un equipo de transformación que se ubica dentro de un inmueble, como podría ser el caso de un transformador dentro de una bóveda en un sótano, o mas aun, en un nivel cualquiera dentro de un edificio. Este proceso consiste en lo siguiente:

- Retiro de servicio del transformador durante 24 horas durante las cuales el equipo es drenado
- El líquido PCB es apropiadamente almacenado
- El transformador se llena con un disolvente dieléctrico (percloroetileno) el cual se hace circular dentro del equipo para destilar los PCB mediante una unidad destiladora.
- El equipo se vuelve a poner en servicio y el proceso continua in situ y luego de un periodo de 18 a 36 meses dependiendo de la cantidad inicial de PCB.
- Una vez retirado el destilador, se hace la prueba de los tres meses.

Es importante volver a recalcar que los transformadores tienen una construcción un tanto compleja derivado de lo cual, las concentraciones de PCB que de una u otra manera quedan en piezas dentro del transformador como madera, papel, bobinas etc., pueden con el tiempo volver a dar resultados de concentraciones de mas de 50 ppm de PCB por lo que probablemente sean

necesarios muestreos con intervalos promedios de 3 a 5 años para estar confirmando que el equipo puede seguir siendo clasificado como libre de PCB.

1.3 Descontaminación del aceite PCB

El aceite almacenado podrá ser tratado para descontaminarlo con la misma unidad de tratamiento químico para desclorinar el aceite. Esto podría realizarse en un lugar debidamente ventilado y cercano al lugar de almacenamiento del líquido. El parámetro mundialmente aceptado para reclasificar que un aceite este libre de PCB es no más de 2 ppm de PCB.

1.4 Descontaminación de condensadores

Los condensadores normalmente pueden descontaminarse con los mismos métodos descritos. Sin embargo esto puede ser más difícil pues los condensadores normalmente utilizan 100 % de PCB o por lo menos, concentraciones más altas que los transformadores.

El diseño interior de un condensador es igualmente un tanto complicada consistiendo en un contenedor metálico sellado con un núcleo activo el cual está constituido por unas láminas continuas de una hoja metálica fina de aluminio separadas con una película aislante de polipropileno y/o papel impregnado con PCB. Este núcleo está introducido en la caja del capacitor y el espacio que queda libre esta lleno con el líquido dieléctrico.

Por lo mismo, la estructura interna es relativamente difícil de descontaminar. En general, los capacitores se destruyen por incineración después de haber retirado todo el aceite de PCB que puede hallarse presente, y de separar la caja del núcleo. Nunca es fácil extraer los PCB existentes en el interior de la lámina

enrollada. Sin embargo, para el tratamiento de los capacitores existen tecnologías que permiten descontaminarlos y recuperar los materiales útiles únicamente para su reciclado y recuperar algún valor económico.

1.5 Descontaminación de equipo y desecho PCB para reciclaje y eliminación

La reclasificación del equipo eléctrico tiene como objetivo determinar si un equipo puede ser reutilizable o no. En el caso de uno que no es reclasificado como utilizable, las distintas piezas metálicas del mismo deberán ser recicladas como chatarra lo cual debe también realizarse de una manera profesional y ambientalmente segura. Recuerde que las distintas partes internas almacenan PCB. Existe una alternativa de solución para estos materiales denominada “relleno sanitario” o “terraplenado”, pero esta no es del 100% segura y requiere de todos modos una descontaminación del material. No es una cuestión tan sencilla como la de lanzar o depositar los materiales en un vertedero. La previa descontaminación del equipo de transformación fuera de uso o de material de desecho PCB debe ser efectiva antes de disponer de la misma como material de chatarra. Para ello se podrá llevar a cabo un proceso conocido como “descontaminación con disolvente” mediante el cual se lleva a cabo lo siguiente:

- Se drena el fluido y se almacena, en espera de su eliminación
- El transformador se desengrasa con disolvente para eliminar cualquier residuo de PCB
- El equipo se desarma en todas sus piezas sacando del mismo el núcleo. Es importante tener en cuenta que cualquier corte deber ser realizado de manera que no se produzcan vapores los cuales podrían contener PCDD y PCDF debido al calentamiento. Por lo tanto no use soplete.

- Toda pieza metálica es sometida a un lavado intenso con disolvente para lograr concentraciones mínimas de PCB. El parámetro aceptado para reutilización o para incineración es de 10 µg/cm²
- El solvente utilizado que de esto resulta contaminado con PCB se puede almacenar para ser destruido.
- Los materiales no metálicos, madera, papel etc., deben ser guardados para su futura destrucción siendo considerados como desechos PCB.

La cantidad de lavados que se deba aplicar a las partes metálicas dependerá de la cantidad de concentración de PCB del líquido que contenga el equipo. En el caso de un capacitor, su descontaminación debido a su construcción interna no es tan sencilla ni rápida. Así también, las distintas partes de un transformador en Askarel serán mas difíciles de descontaminar que las de un transformador con aceite contaminado.

4.7 Tecnologías de eliminación de PCB

La eliminación del material PCB podrá depender de diversos aspectos, incluso económicos. Decidir entre una alternativa de eliminación y otra es una cuestión un tanto relativa. Mundialmente la incineración es la más atractiva. Pero los costos por ejemplo de transporte, pudieran inclinar la visión hacia otro método probablemente en otro país. Sin embargo, si ésta no es profesional y bajo todo punto de vista controlada, el proceso puede ser mucho más peligroso por la generación de PCDD y PCDF, los cuales al parecer, son los agentes que tienen la mayor responsabilidad por la contaminación del medio ambiente y mas aun, problemas de salud en el ser humano. Esto último, no hace de menos de ninguna manera los riesgos implicados con el PCB.

Los productos relacionados a los PCB que deben tenerse inventariados para su futura eliminación son los siguientes:

- transformadores eléctricos
- capacitores
- aceites de transformadores y capacitores
- aceites de desecho
- desechos PCB

Tecnologías actuales

La destrucción de los PCB requiere básicamente el rompimiento de los enlaces moleculares mediante una aportación de energía térmica o química. En el siguiente cuadro se resumen las principales características de los procesos establecidos. Se describe la solución del terraplenado aunque esta constituye fundamentalmente un procedimiento de almacenamiento a largo plazo, no de destrucción.

TABLA IV. Características de los procesos de destrucción de PCB

PROCESO	TIPOS DE DESECHOS ACEPTADOS	VENTAJAS	INCONVENIENTES
Ejemplos de incineración – hornos rotativos, hornos de cemento	Aceites, residuos del proceso de separación. Equipo con desechos que contiene PCB	Se obtienen una elevada eficiencia de destrucción, cumple los requisitos legales, vale para toda la serie de PCB y aportes de desechos haciendo inocuos los productos. Las instalaciones pueden tratar toda una serie de desechos tanto clorados como no clorados.	Contenido de PCB sólo como combustible. Costoso sobretodo si los desechos han de ser enviados fuera. La incineración puede despertar oposición pública.
Decloración química e hidrot ratamiento	PCB líquidos	Los aceites desclorados se pueden utilizar con otros fines, por ejemplo como lubricantes.	Es necesario determinar las condiciones del tratamiento para los componentes individuales.
Sistema de arco plasmático	PCB líquidos y sólidos bombeables	Escaso inventario de procesos	La experiencia operativa en cuanto al tratamiento de desechos con sistemas de plasma es limitada.

Fuente: Inventario de la Capacidad Mundial destrucción de Bifenilos Policlorados, 1998, pp 7

4.7.1 INCINERACION

La incineración es un método usual en Estados Unidos y Canadá para destruir PCB en la actualidad. En general, la incineración implica la degradación de los desechos por energía térmica en presencia de oxígeno. Debido a que en muchos países industrializados la incineración a alta temperatura es una tecnología bien establecida y fácilmente disponible aunque no siempre las instalaciones han sido construidas con fines de eliminación de PCB y sus desechos. Una tecnología similar a la incineración es la que utilizan los hornos de cemento que destruyen sobre todo desechos líquidos que contienen PCB. Los líquidos que contienen PCB se introducen en un horno de cemento junto con el combustible, de manera que el desecho líquido reemplaza en parte al combustible convencional aprovechando que el líquido o desechos tienen un valor calórico elevado por lo que representan una fuente de energía más barata. El inconveniente en este tipo de método es la generación de concentraciones de dioxinas y furanos que puedan hallarse en los gases de salida lo cual debe ser objeto de un estricto control por parte de las autoridades competentes. Normalmente la destrucción del líquido en hornos de cemento no debe ser de líquido o desechos con concentración mayor a 50 ppm para evitar la aparición de PCDD y PCDF. Este proceso es bastante aceptado también para la destrucción de desechos PCB.

Los tipos de incineradores más populares son:

- Incinerador de horno rotativo
- Incinerador de inyección líquida
- Incinerador de horno fijo
- Incinerador de cama fluidizada

- Incinerador de cemento

4.7.2 PROCESOS DE DECLORACION

Decloración química

Este proceso trata básicamente de reutilizar o reciclar el aceite libre de cloro. Los procesos químicos están sistematizados y se utilizan para el tratamiento de PCB líquido y de aceites contaminados con PCB convirtiendo el contenido de cloro en sales inorgánicas que pueden extraerse de la fracción orgánica por filtración o centrifugación. El proceso de decloración con catalizador básico sirve para tratar desechos que contengan hasta un 10% de PCB y reduce los cuerpos orgánicos clorados a menos de 2 ppm. El proceso se trata de un sistema fundamentalmente cerrado y el volumen de emisiones gaseosas es bajo en comparación con el de los procesos de combustión.

El resultado de este proceso es la búsqueda de un líquido con concentración inferior a 2 ppm de PCB.

4.7.3 Sistema de arco plasmático

El sistema de arco plasmático crea un campo de plasma térmico dirigiendo una corriente de gas a baja presión para el tratamiento de materias orgánicas cloradas y otros desechos en átomos inyectando los desechos en la alta temperatura (5.000 a 15.000C°) del arco plasmático.

4.7.4 Relleno sanitario

Un relleno sanitario o cementerio de PCB no es una solución mas satisfactoria que los diversos métodos mencionados de eliminación ya que los PCB siguen en si constituyendo una amenaza para el medio ambiente debido a que estos no se descomponen ni se degradan. Si el relleno puede ser controlado y construido con las medidas de seguridad del caso, podríamos tener una alternativa adecuada. Los rellenos, también llamados terraplenes para desechos peligrosos deben estar diseñados como obras de contención o enterramiento. Aunque es preferible su destrucción, algunos PCB tienen mucha probabilidad de llegar a terraplenes que acepten desechos municipales. Tal podría ser el caso de equipo que haya llegado a dichos sumideros mientras que los problemas de carácter persistente de los Askareles no eran todavía un tema de interés y preocupación mundial. Hay muy poca probabilidad de una acción microbiológica que degrade el PCB sobre todo si este tiene alta concentración de cloro. Por consiguiente los PCB depositados en rellenos sanitarios pueden contaminar corrientes de aguas subterráneas y de superficie. En caso de movimientos telúricos, terremotos, el químico puede llegar a formar parte de suelo contaminándolo. Podría tenerse también una contaminación del medio ambiente en caso de inundación o huracanes que causen desbordamientos de ríos.

Mencionamos algunos requisitos indispensables para que los PCB puedan ser eliminados en un relleno sanitario:

- El material depositado debe ser únicamente sólidos. No podrán depositarse líquidos o lodos que floten

- Para un depósito municipal sin control no se podrán depositar sólidos con una concentración mayor de 5 ppm de PCB
- Para un depósito con la infraestructura profesional podrán depositarse sólidos con concentraciones no mayores a 50 ppm de PCB
- Si el sólido depositado es un equipo eléctrico, el mismo deberá estar bien drenado y asegurado que las superficies metálicas no posean una concentración mayor de 10 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ de PCB.

4.8 Directrices técnicas que comprenden desechos PCB

Hemos considerado varios aspectos en cuanto a los Bifenilos Policlorados, los cuales en su inicio presentaron cualidades tan sobresalientes, que podían fabricarse transformadores totalmente sellados, con la seguridad que aquel dispositivo nunca presentaría problemas. Hemos visto que la historia demostró resultados diferentes. Tanto es así, que los PCB están incluidos entre los doce contaminantes orgánicos persistentes, COP, que a nivel mundial son causa de interés y así mismo, de preocupación.

Las siguientes, son un grupo de directrices técnicas que resumen la información considerada y asesoran al lector de los cuidados que de manera muy especial se deben tener presentes en cuanto a la tenencia y manipulación de aceite diseñado con PCB.

- Los PCB, sustancias manufacturadas que no existen naturalmente, se caracterizan por su excelente estabilidad térmica y su resistencia al fuego, por lo que se les ha aplicado a situaciones donde el riesgo de incendio o la sensibilidad térmica podían de otra forma haber planteado problemas. Los PCB tienen también buenas características dieléctricas

lo que los hace apropiados para su utilización en equipo eléctrico como transformadores y condensadores.

- Los PCB empezaron a fabricarse comercialmente alrededor de 1930 y su producción finalizó definitivamente alrededor de la década de decenio de 1980. Durante ese periodo se produjo más de un millón de toneladas, parte de la cual, aun se encuentra en servicio. Al generarse los problemas ambientales asociados con los PCB, su utilización se restringió progresivamente
- Teniendo en cuenta la cantidad de PCB existente y la reducida capacidad mundial de destrucción, conviene permitir que el equipo que contenga PCB, mientras siga funcionando satisfactoriamente, esté etiquetado y sea objeto de inspecciones periódicas para confirmar que este en buenas condiciones y no tenga fugas utilizándose hasta el final de su vida útil. Llegado este momento el equipo habrá de ser reciclado y el PCB deberá ser eliminado como desecho PCB
- La práctica del *rellenado* puede originar problemas cuando el diseño interno del equipo dificulta la extracción de los PCB aunque se utilicen disolventes adecuados por lo que el equipo podría resultar, para efectos de eliminación, como contaminado con PCB
- Los PCB son lipofílicos, de modo que tienden a acumularse en los tejidos grasos y lípidos. Por consiguiente, se encuentran con más frecuencia en animales que en plantas, y más en algunas especies de animales que en otras. Los PCB se acumulan en los sedimentos acuáticos por lo que pueden ser consumidos en cantidades importantes por especies que se alimentan en el lecho marino y por larvas de insectos
- En cuanto al efecto en el ser humano, mencionamos entre los efectos tóxicos de los PCB la pérdida de peso corporal, el menoscabo de la función inmunológica, problemas teratogénicos y reproductivos, efectos

cutáneos, influencia en la modulación de la incidencia de cáncer y efectos hepáticos, efectos comparables a los producidos por las dioxinas y los furanos policlorados (PCDD y PCDF). Al parecer, tales efectos se deben a su capacidad, derivada de analogías estructurales moleculares, de actuar en forma parecida dentro del cuerpo

- Mencionamos como efectos no cancerígenos de los PCB el cloracné, un trastorno dermatológico reversible y trastornos del sistema nervioso central que causan dolores de cabeza, mareos, depresión, nerviosismo y fatiga y cambios en la actividades hepáticas y enzimáticas
- *Desde una perspectiva toxicológica* los efectos carcinogénicos de los PCB son los que más preocupación en relación con los seres humanos, aunque los estudios epidemiológicos no han podido demostrar ninguna relación casual entre la exposición humana a los PCB y un aumento del riesgo de cáncer. Los estudios realizados con ratas han podido demostrar un efecto carcinogénico, lo que ha llevado a que todas las formulaciones comerciales de PCB se consideren probables carcinógenos humanos
- Evitar y reducir la utilización de PCB al mínimo implican soluciones distintas dependiendo de la aplicación y el lugar donde se encuentren. Al mismo tiempo, los PCB en uso deberán estar limitados a una cuidadosa supervisión del equipo eléctrico aun en servicio que los contiene
- Evite y reduzca al mínimo desechos de PCB centrándose en la eliminación de fugas y vertidos del material. Es esencial contener, recoger y almacenar cualquier vertido o fuga que se produzca así como tomar precauciones al mantener el equipo teniendo en cuenta los procedimientos de limpieza mencionados. Cuando el equipo deje de prestar servicio, se deberán adoptar las medidas necesarias para la manipulación, transporte y almacenamiento seguro antes de disponer su

eliminación. Cuando los PCB, los materiales contaminados con PCB y los aceites contaminados con PCB no puedan tratarse o eliminarse al dejar de prestar servicio han de almacenarse de manera que reduzca al mínimo los riesgos para el medio ambiente evitando fugas o vertidos garantizando la contención de todos los desechos hasta el momento de su tratamiento y eliminación. El material almacenado debe estar apropiadamente etiquetado

- El uso de aceites de desecho y disolventes como combustibles puede considerarse una medida útil y atractiva en el sentido que se aprovecha el contenido de energía de un desecho. Sin embargo, la misma sin una supervisión controlada no es una práctica ambientalmente racional ni segura. Los aceites de desecho y los materiales de desechos que contengan concentraciones sustanciales de PCB solamente podrán utilizarse como combustibles cuando se quemen en instalaciones diseñadas, gestionadas y reguladas de forma que garantice una destrucción segura y adecuada
- Las prácticas y métodos de tratamiento y eliminación son de dos tipos: las que tratan de destruir los PCB, y las que los introducen en un depósito para su almacenamiento a largo plazo con el objetivo de que permanezcan contenidos. El almacenamiento debe practicarse únicamente en almacenes y bóvedas especiales para ese fin mientras que se dispone su eliminación final dependiendo del plazo de tiempo para su eliminación
- Cualquier líquido, sólido o material que contenga mas de 50 ppm de PCB debe considerarse contaminado con PCB y por lo tanto deberá dársele el manejo apropiado y supervisado
- Los diversos equipos en Askarel, transformadores y capacitores, fueron diseñados para trabajar con líquido dieléctrico con alta concentración de

PCB, usualmente hasta un 80% en el caso de los transformadores y hasta un 100% para condensadores. La fabricación de PCB se suspendió en 1,979 en Norte América y en 1,983 en Europa Occidental

- Un transformador en aceite mineral puede estar inadvertidamente contaminado con PCB durante su fabricación o durante alguna operación de mantenimiento. Gran parte de esta contaminación puede ocurrir por mantener transformadores en aceite mineral en área cercana a equipo contaminado con PCB
- Un transformador en Askarel puede ser identificado por lo general por los datos en su placa. El tipo de uso de un transformador, cuando empieza con la sigla "L", por ejemplo LNaN, LNAF y LNWF, significa que estamos frente a un transformador en aceite no inflamable, y si además de esto fue fabricado antes de 1,979 en los Estados Unidos o antes de 1983 en Europa Occidental, es posible que el equipo contenga PCB. Los transformadores en Askarel se les utilizó mucho en edificios debido a las propiedades retardantes de fuego en el PCB
- Los transformadores en aceite mineral tiene por lo general su descripción de uso comenzando por la "O", por ejemplo ONS, ONAN y ONWF.

5. GESTION DE PCB EN GUATEMALA

5.1 Necesidad de eliminación de los PCB en Guatemala

Hemos considerado detalles acerca de los problemas que pueden ocasionar los PCB, aspectos relacionados en cuanto al manejo y mantenimiento de equipo, seguridad, transporte y almacenamiento. Esto con el fin de evitar los daños de carácter persistente que pueden ocasionar los PCB. Esto en si, ya es motivo para la creación de un plan de gestión de eliminación de este material en Guatemala con el fin de asegurar el bienestar del medio ambiente y los seres vivos en el y además, contar con que ningún ente de carácter particular o gubernamental pueda tener responsabilidad, sea esta ética o legal, por el mal manejo de este material químico. Podemos decir que estas son razones de carácter local para la creación de un plan de acción. Debemos por igual, considerar normas y documentos que también son motivo para documentar y organizar apropiadamente un plan que empiece a figurarse como la correcta gestión de los Bifenilos Policlorados en Guatemala, lo que nos compromete a iniciar acciones para emprender una labor de gestión que, bien pueda tomar años.

Convenio de Basilea de marzo 22 de 1,989. Este convenio entro en vigor el 5 de mayo de 1,992 y establece los procedimientos para el control de los movimientos transfronterizos de los desechos peligrosos y su eliminación. En el artículo 4º numeral 2c sobre obligaciones generales, establece que cada país miembro debe velar porque las personas que participen en el manejo de los desechos peligrosos entre otros, adopten las medidas necesarias para impedir que el manejo de lugar a la contaminación del medio ambiente.

Opciones de exportación

Dicho convenio establece parámetros o directrices para el movimiento de desechos peligrosos entre las distintas partes los cuales deben ser tenidos en cuenta para la gestión de PCB en Guatemala. Entre estos citamos los siguientes:

- No se pueden exportar desechos a países donde la importación de dicho desecho esta prohibida
- No se pueden exportar desechos a un país extranjero que no los haya aceptado claramente por escrito
- No se pueden exportar desechos a un país extranjero que no pueda eliminarlos de una manera ambientalmente segura}
- No se podrá exportar desechos a un país que no sea miembro de la Convención de Basilea
- El país exportador se compromete a aceptar los desechos que, por cualquier razón, sean rechazados por el país importador

Convenio de Estocolmo. Este Convenio, auspiciado por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), en medio de cierta presión internacional a la cual cedieron países como Estados Unidos, fue firmado por 90 países el 23 de Mayo del 2,001. Dicho Convenio Internacional dirige la atención de las partes que en él firmaron hacia la eliminación de todos los contaminantes orgánicos de carácter persistente (COP) haciendo un claro énfasis para emprender acciones de manera prioritaria en una docena de compuestos conocida como "docena sucia", que incluye a los PCB y subproductos no deseados de estos, las dioxinas y los furanos.

En dicho documento se establece que en el caso de los Bifenilos Policlorados cada parte tendrá que haber finalizado a más tardar para el 2025 la etiquetación e identificación de todo equipo que contenga más del 0.005% (50 ppm) de PCB y volúmenes superiores a 5 litros. Así mismo, se establece en cuanto a los PCB que cada parte deberá haber realizado esfuerzos decididos para lograr una gestión ambientalmente racional de PCB a más tardar para el 2028. Guatemala firmó dicho documento el 29 de enero de 2002, aunque hasta el día de hoy, todavía no se ha ratificado dicha firma.

La Comisión Nacional de Energía Eléctrica (CNEE), creada por medio del decreto No. 93-96 del Congreso de la República de Guatemala, tiene entre otras funciones la emisión de normas técnicas que establezcan especificaciones y parámetros relacionados con la prevención y protección ambiental para los proyectos de Generación, Transmisión y Distribución de Energía Eléctrica en Guatemala. Actualmente la CNEE cuenta con un compendio de normas que están siendo sometidas a comentarios y aportes a la misma, lo que será analizado por un comité técnico para su implementación para el proyecto final de dicha norma técnica. Cabe destacar los principales objetivos que de manera directa se relacionan con la gestión de PCB en el país: a) la protección de la salud de la población, b) la protección de los ecosistemas potencialmente afectados por los proyectos relacionados con la actividad eléctrica y c) la reducción de la carga de contaminantes a niveles aceptables en comparación con normas internacionales aplicadas sin afectar la capacidad de carga de los ecosistemas receptores.

En el Anexo 4 se presenta un extracto de dicha propuesta, la cual, aunque de manera muy breve, muestra desde ya, el especial interés por dirigir la atención hacia la protección de un medio ambiente libre de Bifenilos Policlorados.

El Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales de Guatemala tiene dentro de su programa de labores la creación de reglamentos relacionados por la vigilancia porque el medio ambiente sea uno seguro protegiéndolo de todos aquellos elementos que puedan deteriorarlo (Ver Anexo 10).

COSTOS DE DESCONTAMINACION

Los costos de descontaminación constituyen en si, una razón para elaborar un plan de eliminación, lo que va a resultar en una actividad más económica que costear los gastos de descontaminación. Cuando los PCB, o sus subproductos, contaminan el medio ambiente, el suelo, el agua o edificaciones, el uso de estas es, por lo tanto, no apto para los seres humanos. La limpieza puede ser un proceso muy costoso y largo. Cuando los PCB alcanzan corrientes de agua subterránea el problema es aun mayor pues los PCB son más pesados que el agua. Podemos mencionar que los costos han resultado ser tan altos, que, alrededor del mundo, en algunos países en lugar de decidir a descontaminar un edificio, ha sido mas viable abandonarlo y finalmente derrumbarlo.

5.2 Inventario de PCB

Sin duda alguna, para iniciar las acciones de la gestión de PCB en Guatemala, se debe empezar la realización de un inventario de Bifenilos Policlorados. Podemos mencionar las siguientes razones para ello:

- Con el objetivo de manejar de una manera apropiada la gestión, un inventario nos da una idea completa de la magnitud y naturaleza del problema.

- Mediante un inventario se puede identificar el peligro para que el personal que pueda entrar en contacto con el material químico sea advertido de la presencia de equipo contaminado o material de desecho tomando las precauciones correspondientes.
- Es necesario conocer la magnitud de equipo y su naturaleza que se describirán en el inventario de manera que puedan evaluarse las alternativas de transporte, almacenamiento, análisis y finalmente eliminación de una manera profesional y segura. Dicho trabajo, adicional a mostrar datos en números concretos, podrá revelar a las autoridades del medio ambiente y a los propietarios de materiales PCB la magnitud de los esfuerzos a iniciar para la apropiada gestión del químico tóxico.
- Finalmente, los documentos locales e internacionales ya citados, exigen que el material contaminante sea manejado apropiadamente con el objetivo de eliminarlos de una manera ambientalmente segura.

El inventario para el reporte de la existencia de PCB podrá ser entregado al Ministerio del Medio Ambiente y Recursos Naturales según las disposiciones o normas que dicha entidad realice y publique. El parámetro internacional que se debe tener en cuenta para determinar si un material puede clasificarse como PCB a fin de reunir la información requerida para un Inventario de PCB es de 50 ppm. Esto último no quiere decir que con una concentración menor de 50 ppm se podrá disponer indiscriminadamente del material no clasificado como PCB. En el Anexo 3 se propone un formato sencillo para la declaración del material contaminante en existencia según el “Manual de manejo de PCB para Colombia”. En general, hemos visto que la fecha de 1,983 es clave en la determinación de los pasos a dar para la detección y muestreo del equipo de transformación. En el caso de los capacitores podemos afirmar que cualquier equipo norteamericano fabricado antes de 1,979 o europeo fabricado antes de 1,983 contiene Askarel a no ser que exista una certificación que indique lo

contrario. El inventario debe llevarse de manera ordenada y organizada de tal manera que este disponible y resulte útil para el propietario y la autoridad del Medio Ambiente vigente para que entre ambos se unifiquen esfuerzos.

5.3 Análisis económico del uso VS. la eliminación de PCB

El valor económico que debemos evaluar es el que podríamos afrontar si en Guatemala no se inician acciones decididas para una gestión apropiada en cuanto a la eliminación de los Bifenilos Policlorados.

Dejar un equipo PCB estacionado en un lugar sin vigilancia, guardado en un almacén sin conocimiento de los daños de carácter persistente o incluso en servicio hasta que la vida útil del equipo termine podría convertirse en cuestión de minutos en un foco de contaminación y problemas graves de salud en los seres vivos vecinos al lugar del siniestro incluso, hasta en partes geográfica relativamente lejanas.

Guatemala es un país sujeto a desordenes de carácter climatológico. Vale la pena mencionar que estos eventos climatológicos han tenido su epicentro en otras áreas geográficas, llegando hasta Guatemala únicamente una parte de los mismos. Consideremos el caso de los huracanes. Dichos eventos causan el desbordamiento de ríos los que a su vez, pueden inundar grandes extensión de suelo. Hemos revisado que el agua en un medio de transporte para los PCB lo que se se traduce, para el caso de una inundación, en que el incidente provocara una contaminación de carácter persistente del suelo que el agua inunde. Hemos citado medidas preventivas para evitar que dentro de un lugar previsto para el almacenamiento no ocurran derrames. Sin embargo en Guatemala se vivió la experiencia del Huracán Mitch, y aunque sus más fuertes efectos destructivos se vivieron en otros países vecinos, en

Guatemala todavía se recuerdan los daños que causo entre los cuales citamos el desbordamiento de cuencas de ríos. No podemos concebir que un almacén para PCB este construido en áreas cercanas a ríos. Sin embargo, la parte sur del país favorece las inundaciones pues es relativamente plana, es decir, sin muchos accidentes geográficos. Si un almacén que guarde PCB no esta construido lo suficientemente robusto para resistir la fuerza de una inundación, podemos pensar en un derramamiento que con seguridad abarcará grandes extensiones de suelo. El costo económico de dicho incidente seria verdaderamente alto el cual no solo se traduce en un suelo contaminado, sino en problemas de salud para el ser humano, valor que es imposible asignarle un precio.

No podemos dejar de pensar en los movimientos telúricos, los cuales son también causa de destrucción y en el caso de los Askareles que estén depositados en espera de su eliminación, un terremoto podría ser un motivo de contaminación al lograr que una construcción de desplome. En el caso de edificios, la situación puede ser todavía un poco mas complicada por el volumen de materiales que quedan después del desplome del inmueble.

La situación de un incendio pareciera ser la que mas preocupación puede causar debido a la aparición de subproductos de los PCB, las dioxinas y los furanos y el transporte de estos a traves del aire del medio ambiente. La contaminación del inmueble en el que se encuentra el equipo puede constituirse en un motivo de suficiente peso para que el edificio sea abandonado. El costo económico de este hecho tendría como efecto una baja en el costo estimado de las propiedades vecinas y con más razón, en el lugar del siniestro. Es de esperarse que esto también tenga un costo económico social, pues la población vecina podría emigrar cuando empiecen a salir a luz problemas en la salud de las persona. Los costos económicos en este caso, son por igual,

verdaderamente altos, y en el caso de la salud de los seres humanos son muy altos como para pensar que sea más rentable poseer un artículo peligroso bajo una atención y seguimiento muy cuidadoso que gestionar su eliminación. Un incendio es un evento con probabilidades mas altas de ocurrir que una inundación por huracán o un terremoto.

El evento de un incendio también nos obliga a pensar en que las acciones para atacar tal siniestro resultan en un costo realmente alto al pensar en que una persona que porte un traje común y corriente de protección para apagar un incendio cualquiera resulta poco útil para que esta misma persona no llegue a ser involuntariamente contaminada. La adquisición y mantenimiento del equipo de protección personal indispensable que en este trabajo se expone no ha de tener un costo bajo. Igualmente, no bastaría con solo poseer un equipo. Se ha dicho que ante eventos, como por ejemplo de un derrame de PCB, se debe notificar a una persona encargada quien a su vez debiera actuar mediante un grupo de personas preparadas para dar una pronta respuesta de acciones ambientalmente razonables, grupo al cual hemos llamado “una brigada”. Una logística tal y equipamiento necesario tiene un costo que tarde o temprano se tendría que costear. Indiscutiblemente que gestionar la eliminación de los PCB en el país, tendrá un costo menos alto, incluso menos lamentable, que el permanecer de brazos cruzados utilizando equipo eléctrico que en potencia, puede desencadenar una serie de eventos que a largo o quizás a mediano plazo, resulten económicamente más caros. La comparación es innecesaria.

Por decirlo así, es más económico invertir en acciones coordinadas para transportar, desarmar y reciclar los materiales de una bomba, que tomar el riesgo a que ésta continúe existiendo sin causar un aparente daño, hasta que la misma en algún tiempo futuro al fin y al cabo termine realizando el objetivo por el cual fue construida, es decir, que estalle.

Vale la pena mencionar que en Guatemala ya han ocurrido los tres eventos que acabamos de citar: inundaciones, terremotos e incendios.

1.1 Condiciones de eliminación en Guatemala y en el extranjero

Acercas de los Bifenilos Policlorados hemos considerado hasta este punto información básica sobre el origen, la comercialización, requisitos que deben observarse sobre el mantenimiento de equipo en PCB, los riesgos derivados de su mala manipulación para el medio ambiente y para la salud humana, cómo actuar en caso de emergencia, cuidados para el transporte y almacenamiento de PCB o equipos contaminados, alternativas de recuperación y finalmente necesidades de carácter internacional y recientemente local para dar atención a una pronta toma de acciones para la gestión de eliminación de PCB en Guatemala. Los costos económicos que pueden causar el esparcimiento de los PCB o sus subproductos tóxicos en el medio ambiente y sus repercusiones en la salud, justifican una toma de decisiones para iniciar la gestión de los PCB en cuanto a su destrucción.

En realidad la información que hemos considerado nos mueve a dar inicio a una cadena de acciones de carácter operativa e informativa con la actual autoridad del medio ambiente en Guatemala, esto es, el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, la CNEE y todos los entes particulares o gubernamentales que posean PCB en cualquiera de sus formas, de manera que todos se enfoquen hacia la disposición coordinada final de PCB en Guatemala.

Es necesario tener presente ciertos criterios para optar por un método de eliminación de PCB o cualquier otro equipo o desecho PCB.

- *Identificación de tecnologías con el fin de limitar una posible alternativa de destrucción de un área geográfica razonable.* En el caso de Guatemala esto es un aspecto importante, pues en el país no se cuenta con tecnología para la destrucción de PCB o equipo contaminado debidamente certificada. Ante la necesidad de tener que exportar a algún país vecino aceite o material o equipo contaminado, se debe considerar que tal trabajo tenga un costo. En el apéndice A se detallan algunas empresas, y el medio para contactarlas, debidamente autorizadas para realizar operaciones de gestión de PCB y equipo contaminado con PCB.
- *No deben seleccionarse tecnologías que estén basadas en pruebas u opiniones personales.* La tecnología debe estar debidamente aprobada por una entidad del medio ambiente de renombre, tal es el caso de la EPA. Por lo que el enfoque para la disposición final de PCB en Guatemala debe estar dirigido hacia el extranjero, de manera que se consideren métodos ambientalmente seguros y por supuesto, económicos. Las condiciones de eliminación de PCB, equipo y desechos en el extranjero son, por lo tanto, viables.

1.2 Propuesta de plan de acción para la coordinación de actividades ambientalmente seguras en Guatemala

En el presente trabajo se han expuesto los parámetros que deben guiar las acciones profesionales a tomar para que de manera preventiva puedan evitarse las lamentables experiencias de otros países en Guatemala, incluso poder actuar ante siniestros tales como derrames, desastres naturales o incendios. Aunque para iniciar acciones determinantes es necesario determinar

cantidades y ubicación geográfica del material en cuestión es indispensable la realización de un inventario de PCB en el país, sí podemos razonar que dentro del país nos veamos ante la existencia Bifenilo Policlorado.

Las fechas claves mencionadas anteriormente con las que podemos estimar la presencia de PCB en Guatemala para el caso de transformadores es 1983. En el caso de los capacitores cualquier equipo norteamericano fabricado antes de 1,979 o europeo fabricado antes de 1,983. Empresa eléctrica de Guatemala se ha caracterizado por ser una organización pionera en la búsqueda, adquisición y puesta en operación de tecnología de punta para el mejor servicio de suministro de energía eléctrica a sus clientes en Guatemala, Sacatepequez y Escuintla. Para el año de 1983 Empresa Eléctrica de Guatemala contaba con mas de 250,000 usuarios entre consumidores residenciales y comerciales (voltaje no mayor a 13.2 Kv) y 30 usuarios en alta tensión (69 Kv). Es razonable concluir con estos datos que en el área mencionada nos veamos ante la presencia de PCB o Askarel. Por el promedio de vida de los equipos de transformación y de corrección de factor de potencia se estima que se cuenta entre un 5 y un 10% de equipo con PCB, lo cual solamente podría cuantificarse realizando un inventario responsable y objetivo.

En Guatemala no se cuenta con una documentación formalmente autorizada para la realización de gestiones y actividades coordinadas para un plan de eliminación de Bifenilos Policlorados dentro del país. Por lo mismo, y tomando en cuenta la información presentada en el actual trabajo de Tesis, se propone un plan guía modelo así como algunos lineamientos útiles presentados en el anexo No. 10.

Plan de acciones

La clave de una adecuada gestión de PCB está en la correcta

manipulación, sea del aceite, equipo en Askarel, materiales o equipos contaminados, trabajos de mantenimiento de equipo eléctrico que lo contienen, lo cual nos garantiza que las actividades serán ambientalmente seguras. Para lograr una correcta manipulación es indispensable garantizar los siguientes 6 incisos:

- Conocimiento previo de las características y antecedentes del producto
- Establecer condiciones de trabajo seguras que prevea todos los riesgos, capacitar y entrenar al personal que estará en contacto con el material
- Adecuar las instalaciones y el lugar de trabajo a las tareas a desarrollar
- Señalizar el lugar de trabajo y restringir el acceso
- Emplear los elementos de seguridad, utensilios, vestimenta de protección personal según sea el caso, en el método de trabajo
- Correcto almacenamiento y transporte.

El plan está formado por tres partes importantes:

- PPCB: Cualquier poseedor de PCB en Guatemala
- AMA: La autoridad del medio ambiente en Guatemala
- SCB: El gestor de la Secretaria del Convenio de Basilea en el Salvador.

Nuestro plan de acciones esta comprendido en tres etapas, realización de un inventario, transporte, almacenamiento y finalmente gestiones para eliminación siendo el AMA la entidad mediadora que coordina dicho plan en colaboración con las otras.

Realización de un Inventario

Esta actividad inicia cuando el AMA identifica a todos los PPCB del país con probabilidad de tener Bifenilo Policlorado PCB comprometiendo a todos para llevar a cabo dicha actividad de manera continua.

- EL AMA iniciará la preparación de un inventario de PCB el cual será llevado a cabo en un tiempo razonable por todos los PPCB dependiendo de la magnitud de existencia de equipo eléctrico y ubicación geográfica.
- La realización del inventario será llevado a cabo mediante el seguimiento de un cronograma de actividades realizado por el PPCB. Dicho cronograma será revisado por la AMA quien a su vez asesorará las actividades a fin que estas sean seguras para el medio ambiente y para la salud humana.
- Los PPCB notificarán al AMA los resultados parciales en 5 informes de un 20% de avance cada uno de toda la actividad de inventariado de equipo eléctrico, identificando concentraciones de PCB entre los rangos de 0 a 50 ppm, de 50 a 500 ppm y mayor de 500 ppm de PCB. Esto facilitará la coordinación de acciones posteriores estimando así la dimensión del problema.
- El inventario estará comprendido en tres partes: 1- Equipo en Askarel o PCB, 2- Equipo contaminado con Askarel y 3- Materiales de desecho contaminado con PCB. Cada inciso tendrá información acerca de la ubicación geográfica de material inventariado. Cada uno de estos incisos tendrá subincisos que puedan detallar información adicional del mismo.
- El AMA hará entrega previa de formatos apropiados en medio electrónico a los PPCB en los cuales se reportaran los avances de dicho inventario.

- Todo PPCB mantendrá registro detallado y ordenado de sus existencias a fin de dar manejo apropiado a la información y que la misma pueda ser fácilmente actualizada.
- Dentro de estas actividades los equipos en Askarel inventariados que estén todavía en explotación es un tema especial. El AMA procede ahora a asesorar al PPCB en cuanto a las distintas alternativas de solución a corto o mediano plazo. El AMA asesorará al PPCB teniendo como fundamento o autoridad el Convenio de Basilea ya que el mismo es el tratado internacional sobre desechos peligrosos más amplio y significativo actualmente en vigor. (en el apartado "Eliminación de PCB" de este plan se proporcionan los datos para iniciar las gestiones). El AMA procederá a asesorar al PPCB en cuanto a empresas en el extranjero que estén debidamente autorizadas a nivel internacional ya sea para la descontaminación de equipo o eliminación de PCB. Las actividades de retiro de operación del equipo para la descontaminación o reciclaje estarán por igual coordinadas entre el AMA y el PPCB.

Almacenamiento y transporte de PCB

- El almacenamiento de PCB o desechos de PCB es una parte del plan de mediano plazo y ahora es dirigida por el PPCB siendo esta la misma asesorada por el AMA. Esta actividad también servirá para el correcto control de PCB inventariado mientras se definen las actividades para la disposición final.
- La actividad del almacenamiento tendrá como máximo un periodo de 5 a 10 años antes de su disposición final, sea esta local o en el extranjero.
- El almacenamiento contempla la rotulación sin falta para identificación y control del equipo.

- El AMA dispone de una persona coordinadora que mediará las actividades entre las partes del plan de acción a fin de lograr una coordinación correcta para el transporte al lugar de almacenamiento.

Eliminación de PCB

- La autoridad del medio ambiente en función ahora gestiona la eliminación de los bifenilos policlorados en el país mediante el inicio de pláticas con entidades ambientales internacionales a fin evaluar alternativas de posibles facilidades económicas para el transporte transfronterizo de PCB como material tóxico. Así mismo el AMA solicita a la dependencia que corresponda, la información que documente cualquier evidencia de movimiento en las fronteras de Guatemala de Bifenilos Policlorados. Esto es una actividad de carácter urgente dentro del plan de acciones para evitar cualquier actividad ilegal que esté convirtiendo al país en un sumidero de PCB provenientes de países vecinos.
- El AMA inicia pláticas con el gestor designado por la SCB en el Salvador (El Salvador Regional Center, Luis Armando Trejo Director Interino, CRCB – CAM MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES, Carretera a Santa Tecla, Calle y Colonia Las Mercedes, Edificio MARN San Salvador, El Salvador. Teléfono: (503) 223-0444, Tele-fax: (503) 224-6515 E-mail: ltrejo@marn.gob.sv, <http://www.marn.gob.sv/convenio-basilea/Pagina-conveniosl.htm>). El AMA visitará la página www.basel.int en la cual consultará todas las condiciones estipuladas en el Convenio De Basilea para efectos de consultas sobre el movimiento transfronterizo de PCB.

CONCLUSIONES

1. Guatemala necesita, indiscutiblemente, iniciar los esfuerzos apropiados y coordinados mediante la autoridad actual del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales para llevar a cabo un inventario de PCB en el país, lo cual proyectará la dimensión de los esfuerzos a iniciar. El Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, en vista que es la autoridad en materia de Medio Ambiente en Guatemala, debe implementar un programa coordinado para la solicitud a los distintos participantes del mercado eléctrico de un "Inventario de PCB" para iniciar las actividades controladas de gestión de PCB, es decir, todas las operaciones relacionadas con PCB desde su identificación hasta su eliminación.
2. En vista de que un equipo eléctrico construido en el siglo pasado puede contener de una manera accidental PCB, de manera que el mismo este contaminado con mas de 50 ppm, el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales deberá exigir dentro de la documentación de "Estudio de Impacto Ambiental" del un proyecto cualquiera en cuestión, una o varias, según el caso, certificaciones que garanticen que el equipo eléctrico esté libre de PCB. Si así lo considera necesario, también solicitará el historial de uso y mantenimiento del equipo con el fin de evitar cualquier tipo de vandalismo.
3. La hipótesis propuesta en este trabajo de Tesis se comprueba como afirmativa, en vista de los incidentes que originaron el paro definitivo a la fabricación de PCB, las documentaciones para el manejo cuidadoso y

profesional de los PCB para evitar que el mismo llegue de manera accidental o inconsciente a formar parte del medio ambiente y las actuales reglamentaciones locales y extranjeras fijando el año 2,028 como parámetro de tiempo para la gestión de eliminación de los Bifenilos Policlorados: la gestión de Aceites Dieléctricos PCB realizada sin una adecuada capacitación profesional repercute en problemas físicos en el ser humano y contaminación persistente en el medio ambiente.

4. El método del Relleno Sanitario para la eliminación de sólidos PCB o material contaminado no es una solución al problema de la eliminación de los PCB. Si bien es una alternativa que puede ser muy atractiva, no está del todo libre de riesgos.
5. El almacenamiento del PCB y de material contaminado debe ser a corto o mediano plazo en función de la fecha de 2,028 mencionada en el numeral 3 mientras que se dispone de una gestión de eliminación definitiva y segura para el medio ambiente.
6. Cualquier aparente avance tecnológico debe ser puesto a prueba antes de formalizar su comercialización y venta en el mundo. No siempre la mejor propuesta es la mejor solución a un problema, por lo que de manera particular muestra la experiencia de los PCB. La misma debe ser cuestionada antes de crear una patente o un permiso legal para su distribución de manera que se garantice al 100% la seguridad del medio ambiente y los seres vivos en el.
7. Los PCB son químicos causantes de desordenes en el funcionamiento hepático del ser humano, lo cual es sí en un hecho preocupante. Pero

más preocupante es el aspecto de los dos subproductos resultantes de someter a los PCB a altas temperaturas, los PCDD y PCDF.

8. Independientemente del tipo de equipo y nivel de voltaje, el parámetro a usar para determinar si un dispositivo o líquido dieléctrico es o no PCB, es una concentración mayor o igual a 50 ppm de Bifenilo Policlorado. Un líquido contaminado por PCB podrá ser reclasificado como libre de PCB con una concentración no mayor de 2 ppm.

RECOMENDACIONES

1. El Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, deberá fijar una fecha razonable, pero, al mismo tiempo, determinante para eliminar del país cualquier desecho PCB de una manera ambientalmente segura.
2. Los métodos para la detección y cuantificación de PCB han sido detallados de manera que se pueda contar con suficientes criterios de evaluación para la creación de un inventario de PCB en Guatemala. Sin embargo, se recomienda observar como punto de partida las fechas de fabricación a fin de documentar la información, teniendo en cuenta que si el equipo de transformación, capacitores u otros fue fabricado en Canadá o Estados Unidos después de 1979, el equipo podrá estar con mucha seguridad libre de PCB y si el país fabricante perteneciera a Europa Occidental, la fecha clave será 1,984.
3. Es necesario la adquisición de un equipo de prueba para identificar la presencia de PCB. Este es un método sencillo, pero determinante, para dar los primeros pasos de la gestión de PCB. El equipo se denomina "CLOR-N-OIL PCB SCREENING KIT". En el anexo 7 se menciona cómo efectuar la prueba y el medio electrónico para la adquisición del equipo.
4. Se recomienda que el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales de Guatemala designe una persona o puesto clave, quien puede funcionar como mediador y coordinador entre el Ministerio en mención y el propietario de PCB. Dicha persona del Ministerio debiera estar,

constantemente, actualizando sus datos e información del tema. Asimismo, la manera para localizar a dicha persona debe ser de fácil y rápido acceso, incluyendo un número de teléfono de emergencia y estar todos los datos actualizados y disponibles en algún medio Website. Los datos de esta persona debieran figurar en la etiqueta de alerta que debe ser pegada al equipo que contenga PCB desechos; a fin de prevenir situaciones de emergencia, se recomienda que dicha persona identifique a los propietarios de PCB con el objeto de distribuir información de carácter preventivo para evitar situaciones de emergencia. Por ejemplo, los propietarios debieran saber, entre otras cosas, cómo apagar un incendio donde están implicados Askareles o PCB, entre otros.

5. Una vez identificadas las empresas o particulares que posean PCB, se recomienda que el ente coordinador del Ministerio de Ambiente de seguimiento solicitando informes a dichas empresas que demuestren cómo se realiza el manejo del material a fin de asegurar que el mismo se lleve a cabo de manera responsable y segura, desde su identificación hasta el mismo almacenamiento y vigilancia, mientras se define su disposición final.

6. Se recomienda que el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales en Guatemala identifique en el país alguna empresa que recicle material metálico, de manera que dicha entidad obtenga un beneficio-compromiso derivado del reciclaje metálico de ese equipo, a manera que dicha empresa: a) gestione dentro de sus transacciones el drenado profesional y calificado del equipo para exportar el PCB a una entidad autorizada en el extranjero que acepte el líquido para su destrucción y que, al mismo tiempo, disponga de la tecnología para tal propósito y b) descontamine el equipo drenado para posteriormente reciclarlo en Guatemala obteniendo

beneficio económico de ello. En el apéndice B se resumen los costos promedio de la chatarra en Guatemala.

7. Se recomienda que el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales y Recursos Naturales en Guatemala identifique entidades en el extranjero que estén interesadas en la reforestación del país a fin de establecer un compromiso de reforestación a cambio de la aceptación de PCB y desechos como una alternativa de solución. Asimismo que dicho Ministerio solicite asesoramiento a nivel internacional a fin de poder sugerir medidas económicas y seguras para la gestión de PCB.

8. Se recomienda que la Comisión Nacional de Energía Eléctrica, CNEE, integre un equipo de trabajo cuya programación de labores incluya la búsqueda de soluciones a la gestión de PCB en Guatemala en coordinación con el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. Así mismo, que dicha entidad determine normas que reflejen la realidad y seriedad del asunto dejando claro la urgencia de determinar pasos claramente definidos y coordinados para la gestión de PCB en Guatemala.

BIBLIOGRAFIA

1. Larrea José Luis. **Documentación relacionada con el Piraleno Manual Técnico (informe)**. España, Junio de 1983.
2. Milán, Pedro Medellín. **¿Qué son los COPS? Sustancias Tóxicas vs. Sostenibilidad**. Diario Pulso. San Luis Potosí, México. 9 de Mayo de 2002. 4pp
3. Philip Michael, Jeffrey Buckingham y Evans C. **Gestión de Residuos Tóxicos. Tratamiento, eliminación y recuperación de Suelos**. Madrid. (Volumen I y II). Editorial McGraw-Hill, 1997
4. TREDI. **Eliminación de PCBs**. TREDI Colombia Ltda. Revista, Colombia. 1986. 20pp
5. White Douglas y Asociados, Proyecto CERI-ACDI-COLOMBIA, Ministerio del Medio Ambiente, Bogota, Colombia. **Manual de Manejo de PCBs para Colombia**. Informe Final, Julio 1999

Bibliografía electrónica

6. National Center for Environmental Assessment Office of Research and Development U.S. Environmental Protection Agency EPA Washington, D.C. **PCBs: Cancers Dose-Response Assessment and Application to**

- Environmental Mixtures.** Septiembre de 1996. Disponible en Web: www.cqs.com/epa/pcb/pcb_cdra.htm. [Consulta: 20 marzo de 2004]
7. Operations Branch Chemical Management Division Office of Pollution Prevention and Toxics. **PCB Q & A MANUAL.** 1994. United States Environmental Protection Agency PCB Q & A MANUAL 1994. Disponible en Web: www.epa.gov/pcb/manual.pdf. [Consulta: 02 enero de 2003]
 8. Productos Químicos PNUMA y Secretaria del Convenio de Basilea (SCB). **Inventario de la capacidad mundial de destrucción de bifenilos policlorados.** Primer número, Diciembre 1998. Disponible en Web: www.chem.unep.ch/pops/pdf/Pcbdestsp.PDF. [Consulta: 15 febrero de 2003]
 9. Ramos, Luis Daniel *et. al.* **Determinación de Bifenilos Policlorados (BPC'S) residual y plaguicidas organoclorados en peces comestibles de la Bahía de Utila.** Tegucigalpa (Honduras). Noviembre, 1994. Disponible en Web: <http://www.cescco.gob.hn/informes/Determinacion%20de%20Bifenilos%20Policlorados.pdf>. [Consulta 03 marzo 2004]
 10. United Nations Environment Programme Chemicals UNEP. **Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants.** Stockholm 22 May 2001. Disponible en Web www.pops.int/documents/signature/signstatus.htm. [Consulta: 10 de mayo de 2004]

APENDICE A

Empresas calificadas para el tratamiento de Bifenilos Policlorados PCB

1. www.ehso.com/pcb.htm. En esta dirección electrónica se pueden ubicar empresas calificadas por la EPA para realizar transacciones comerciales para la disposición final de PCB así como de desechos y equipo eléctrico contaminado que deba dársele una disposición final ambientalmente segura. En dicha página electrónica se despliegan dirección de inmueble y número telefónico. Entre las distintas tecnologías están la Incineración de PCB, dechloración química, desmantelado y fundición de equipo eléctrico y descontaminación en línea.
2. La empresa "*Eli Ecologic Inc*", adquirida recientemente en noviembre del 2003 por "Bennett Environmental Inc", está enfocada a la descontaminación de suelo que contiene PCB, Furanos y Dioxinas mediante un tratamiento térmico para separar los contaminantes y destruirlos. Puede ser contactada a la dirección info@bennettenv.com, en la pagina www.bennettenv.com, o directamente con John Bennett en la oficina de Vancouver (604) 681-8828.
3. "*ENRS Operations*" trabaja la dechloración móvil de transformadores en Askarel para su reutilización y dechloración de aceite mineral contaminado. Contactar con William S. Beese, Regional Sales Manager, 1700 Gateway Blvd. S.E. Canton, OH. 44707, USA. Tel. 330 452-0837, Fax 330 430-4486. Dirección info@steelmillrfq.com
4. "*PPM Canada Inc.*" Esta empresa cuenta con pequeñas unidades móviles para incineración. Así mismo unidades de gran tamaño. Así mismo posee incineradores para la destrucción de PCB mediante hornos de cemento rotativos con una eficiencia de 99.9999%. El aceite provee

una porción de combustible que ya no es necesaria en el horno. Para mayor información puede contactar a la "Office of Waste Management Conservation and Protection Environmente Canada Ottawa, Ontario KIA OH3". También a "Enquiry Centre Environment Canada (819) 997-2800".

5. "Sanexen Environmental Services Inc.". Dicha empresa trabaja la descontaminación de suelo terrestre así como suelo marítimo, transporte y destrucción de PCB, descontaminación para reutilización de equipo de transformación con PCB. Su campo de negociación incluye Latino América. Contactos: Mr. Jacques Dion, Business Development, Sanexen Environmental Services Inc. 579, Le Breton Street, Longueuil (Quebec) Canada J4G 1R9 Tel: (450) 646-7878, Fax: (450) 646-5127, E-mail: info@sanexen.com, Web Site: www.sanexen.com
6. "S.D. Myers". Entre los servicios que esta empresa brinda están la descontaminación de ambientes, relleno de transformadores, Disposición final de Equipo Eléctrico, cables, desechos y capacitores, Pruebas de contenido de PCB en equipo eléctrico, sin sacarlo de servicio, materiales sólidos, líquidos y superficies. 180 South Avenue, Tallmadge, OH 44278 (330) Tel: 630-7000 Fax: (216) 633-6458.

El lector podrá visitar la página principal de la EPA www.epa.gov para realizar más consultas en cuanto a empresas calificadas o actualizar la información.

APENDICE B

COSTOS PROMEDIO DE CHATARRA EN GUATEMALA AL 2003

- Aluminio mezclado Q 1.90 la libra
- Aluminio puro Q 2.10 la libra
- Cable acerado Q 0.51 la libra
- Cobre Q 2.50 la libra
- Chatarra de luminaria Q 650.00 la tonelada
- Transformador Q 1,250.00 la tonelada
- Cobre Q 2.50 la libra

ANEXO 1

Dioxinas y Furanos

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

Fuente: Manual de Manejo de PCBs para Colombia, 1999, 23pp

Propiedades de las impurezas y los productos de pirólisis de PCB Furanos y Dioxinas

La presencia de impurezas en ciertos PCB tales como los policlorodibenzofuranos (PCDF) descubierta especialmente en aceite contaminado con PCB en Japón ha hecho que se sospeche de ellos como los verdaderos responsables de la toxicidad de los PCB. Pero es, sobre todo, en circunstancias accidentales, como los incendios, cuando se debe tener de manera sistemática la formación de toda una serie de isómeros sobre todo los policloronezofuranos y en una proporción menor de policlorodibenzodioxinas. Estos son productos para ciertos isómeros muy tóxicos, especialmente para algunas especies animales.

Las dioxinas y furanos se presentan esencialmente en forma cristalizada a temperatura ambiente. Son absorbidos fuertemente por los materiales lo que hace difícil la descontaminación de los lugares u objetos contaminados.

Insolubles en el agua estos productos son solubles en las grasas lo que explica su absorción en la piel, de aquí las precauciones necesarias por los agentes llamados para descontaminar un lugar contaminado. Su resistencia o remanencia es relativamente larga.

No son absorbidos por las raíces de las plantas pero, evidentemente pueden tener una acción sobre estas cuando las contaminan en un derrame accidental. Existen posibilidades de bio-concentración para las cadenas alimentarias y como se trata de venenos acumulativos esto explica las recomendaciones que fijan niveles extremadamente bajos para su presencia en el ambiente con el fin de evitar efectos a largo plazo.

Fuente: Documentación relacionada con el Pyraleno, IBERDUERO S.A., 1983, 35pp

ANEXO 2

EXTRACTO DEL CONVENIO DE ESTOCOLMO RELATIVO A LOS BIFENILOS POLICLORADOS PCB

Parte II

Bifenilos policlorados

Cada Parte deberá:

- a) Con respecto a la eliminación del uso de los bifenilos policlorados en equipos, por ejemplo, transformadores, condensadores u otros receptáculos que contengan existencias de líquidos residuales, a más tardar en 2025, con sujeción al examen que haga la Conferencia de las Partes, adoptar medidas de conformidad con las siguientes prioridades.
 - i) Realizar esfuerzos decididos por identificar, etiquetar y retirar de uso todo equipo que contenga más de un 10% de bifenilos policlorados y volúmenes superiores a 5 litros;
 - ii) Realizar esfuerzos decididos por identificar, etiquetar y retirar de uso todo equipo que contenga de más de un 0,05% de bifenilos policlorados y volúmenes superiores a los 5 litros;
 - iii) Esforzarse por identificar y retirar de uso todo equipo que contenga más de un 0,005% de bifenilos policlorados y volúmenes superiores a 0,05 litros;

b) Conforme a las prioridades mencionadas en el apartado a), promover las siguientes medidas de reducción de la exposición y el riesgo a fin de controlar el uso de los bifenilos policlorados.

- i) Utilización solamente en equipos intactos y estancos y solamente en zonas en que el riesgo de liberación en el medio ambiente pueda reducirse a un mínimo y la zona de liberación pueda descontaminarse rápidamente;
- ii) Eliminación del uso en equipos situados en zonas donde se produzcan o elaboren de alimentos para seres humanos o para animales;
- iii) Cuando se utilicen en zonas densamente pobladas, incluidas escuelas y hospitales, adopción de todas las medidas razonables de protección contra cortes de electricidad que pudiesen dar lugar a incendios e inspección periódica de dichos equipos para detectar toda fuga;

c) Sin perjuicio de lo dispuesto en el párrafo 2 del artículo 3, velar por que los equipos que contengan bifenilos policlorados, descritos en el apartado a) no se exporten ni importen salvo para fines de gestión ambientalmente racional de desechos;

d) Excepto para las operaciones de mantenimiento o reparación, no permitir la recuperación para su reutilización en otros equipos que contengan líquidos con una concentración de bifenilos policlorados superior al 0,005%.

e) Realizar esfuerzos decididos para lograr una gestión ambientalmente racional de desechos de los líquidos que contengan bifenilos policlorados y de los equipos contaminados con bifenilos policlorados con un contenido de bifenilos policlorados superior al 0,005%, de conformidad con el párrafo 1 del

artículo 6, tan pronto como sea posible pero a más tardar en 2028, con sujeción al examen que haga la Conferencia de las Partes;

f) En lugar de lo señalado en la nota ii) de la parte I del presente anexo, esforzarse por identificar otros artículos que contengan más de un 0,005% de bifenilos policlorados, por ejemplo, revestimientos de cables, calafateado curado y objetos pintados, y gestionarlos de conformidad con lo dispuesto en el párrafo 1 del artículo 6;

g) Preparar un informe cada cinco años sobre los progresos alcanzados en la eliminación de los bifenilos policlorados y presentarlo a la Conferencia de las Partes con arreglo al artículo 15;

h) Los informes descritos en el apartado g) serán estudiados, cuando corresponda, por la Conferencia de las Partes en el examen que efectúe respecto de los bifenilos policlorados. La Conferencia de las Partes estudiará los progresos alcanzados en la eliminación de los bifenilos policlorados cada cinco años o a intervalos diferentes, según sea conveniente, teniendo en cuenta dichos informes.

Fuente: Convenio de Estocolmo, 2001, 28, 29pp

Nota: este convenio sobre contaminantes orgánicos persistentes COP puede ser obtenido en el sitio Web: www.pops.int/documents/convtext/convtext_sp.pdf. Asimismo, el Convenio de Basilea sobre el control de los movimientos transfronterizos de los desechos peligrosos y su eliminación puede ser obtenido en el sitio Web: www.msal.gov.ar/htm/site/pdf/Convenio_Basilea.

ANEXO 3

FORMATO PARA REPORTE DE INVENTARIO DE PCB

A- En cuanto al equipo que contenga materiales dieléctricos a base de Bifenilos Policlorados PCB y este en operación, se deberá contar con la siguiente información:

TRANSFORMADORES, CONDENSADORES, OTRO EQUIPO

- Tipo de equipo _____
- Nombre del fabricante _____
- País de fabricación _____
- Fecha de fabricación _____
- Modelo _____
- # de serie _____
- KVA y voltaje _____
- Peso total (kg) _____
- Nombre del líquido _____
- Volumen litros _____
- Concentración de PCB (ppm) _____
- Tipo de análisis _____
- Fecha de instalación _____
- Ubicación _____
- Ha sido drenado el equipo? _____
- Quién lo drenó y cuándo? _____

B- La siguiente es información que deberá reunirse a partir del inventario de equipo que contenga PCB

- 1 Transformadores en Askarel
 - 1.1 Cantidad _____
 - 1.2 Peso total _____
 - 1.3 Volumen total de los líquidos _____
- 2 Condensadores en Askarel
 - 2.1 Cantidad _____
 - 2.2 Peso total _____
 - 2.3 Volumen total de los líquidos _____

La información del inciso "B" también debe reunirse para llevar inventario del equipo que se encuentre contaminado por PCB.

A- Información sobre el propietario del equipo:

- Nombre de la compañía _____
- Representante legal _____
- Sector (eléctrico, comercial, hidrocarburos etc) _____
- Dirección, teléfono, Fax _____
- Ciudad _____

B- Sobre la persona que coordinó la escritura de los formatos

- Nombre de la persona _____
- Puesto en la empresa _____
- Lugar y fecha _____

C- Para PCB fuera de operación (almacenados) el inventario deberá presentar la misma información:

- Tipo de equipo _____
- Nombre del fabricante _____
- País de fabricación _____
- Fecha de fabricación _____
- Modelo _____
- # de serie _____
- KVA y voltaje _____
- Peso total (kg) _____
- Nombre del líquido _____
- Volumen litros _____
- Concentración de PCB (ppm) _____
- Tipo de análisis _____
- Fecha de instalación _____
- Ubicación _____
- Ha sido drenado el equipo? _____
- Se ha tratado o dispuesto el líquido? _____
- Si la anterior pregunta es afirmativa, quien lo realizo? _____
- En qué fecha? _____

Se recomienda adjuntar los resultados de la detección y muestreo.

TRANSFORMADORES, CONDENSADORES, OTRO EQUIPO

- Tipo de líquido (Askarel, aceite contaminado) _____
- Cantidad de recipientes _____
- Tipo de recipiente _____
- Volumen _____
- Peso total _____
- Concentración de PCB (ppm) _____

- Tipo de análisis _____

Fuente: Manual de Manejo de PCBs para Colombia, 1999, 126, 127, 128pp

ANEXO 4

EQUIPOS DE TRANSFORMACION

Artículo 23 Prohibición de utilizar BPCs: No se deberán instalar equipos en instalaciones nuevas, rehabilitadas o en funcionamiento que contengan BPCs o aceite contaminado con BPCs.

Artículo 24 Manejo de BPCs: En el caso de centrales generadoras, subestaciones de cualquiera de sus tipos, líneas de transmisión, líneas de distribución y equipos de transformación nuevos, rehabilitados y en funcionamiento, no se deberá bajo ninguna circunstancia, descargar a cuerpos receptores, compuestos que contengan BPCs. Si se detecta por medio de las AA la existencia de equipos que contengan BPCs, estos deberán ser removidos, aislados y tratados de acuerdo a los procedimientos ambientales que se recomienden en éstas.

Fuente: Propuesta de Norma Técnica de Calidad Ambiental para proyectos del Sub-Sector Eléctrico, Comisión Nacional de Energía Eléctrica CNEE, 1996, 18pp

Notas.

- En dicha propuesta, la abreviación “BPCs” se refieren a los Bifenilos Policlorados, que mundialmente son mas bien reconocidos por las siglas PCB, que es la abreviación del termino en inglés “Polichlorinated Biphenyl”
- En dicha propuesta la abreviación “AA” significa “Auditoria Ambiental”.

ANEXO 5

Máxima exposición permitida a los PCB

Calidad del aire	
• Promedio anual permitido	35 $\eta\text{g}/\text{m}^3$
• Promedio permitido en 24 horas	150 $\eta\text{g}/\text{m}^3$
• Promedio permitido en 0.5 horas	450 $\eta\text{g}/\text{m}^3$
Calidad de agua ambiente	
• Concentración permitida para la protección de peces	1 ppt
Calidad de agua potable:	
• Norma EPA	0.5 ppb
Calidad de los sedimentos con respecto a los PCB:	
• Nivel en el que no habrá efectos sobre la vida acuática	0.07 ppm
Calidad del suelo:	
• Uso agrícola de la tierra	0.5 ppm
• Uso industrial y comercial	25 ppm
Superficies sólidas impermeables:	
• Superficies de acceso al público	10 $\mu\text{g}/100 \text{ cm}^2$
• Superficies industriales con acceso	100 $\mu\text{g}/100 \text{ cm}^2$
Niveles permitidos con relación a alimentos:	
• Leche	1.5 ppm
• Pollo	3 ppm
• Pescados	2 ppm
• Niveles recomendados para en la sangre humana	6 ppm
• Promedio general de población	6 ppm

Fuente: Manual de Manejo de PCBs para Colombia, 1999, 93pp

ANEXO 6

Es importante considerar el alcance de las pruebas que se puedan hacer en las distintas muestras. En el mercado se pueden adquirir equipos de muestreo que determinen a partir de una muestra la concentración de PCB. Mencionamos dos tipos de equipos: kit de Dexil, el cual determina un resultado positivo o negativo, tomando como parámetro la norma, mundialmente, aceptada de 50 ppm para clasificar como "PCB" o "no PCB" y equipo para "inmuno ensayos", este ultimo mas sofisticado. En el caso de un incendio, podemos vernos ante la presencia de PCDD/DF, lo cual constituye un reto verdaderamente alto pues el muestreo es más difícil porque los límites de detección son aun mas bajos y los equipos para el muestreo de PCB no son recomendados para estos últimos. La muestra puede enviarse, también, a laboratorios o empresas especializadas en la materia.

Fuente: Manual de Manejo de PCBs para Colombia, 1999, 121pp

ANEXO 7

METODO DEXIL "CLOR-N-OIL" PARA LA IDENTIFICACION DE CONTENIDO DE CLORO



La corporación norteamericana DEXIL, Connecticut, diseñó un equipo de prueba para la identificación de presencia de cloro en aceite dieléctrico el cual tiene la autorización de la "Environmental Protection Agency" de Estados Unidos, EPA, para ser utilizado en la operación de identificación de aceites contaminados en cuatro distintos niveles, 20, 50, 100 y 500 ppm. El parámetro determinante es 50 ppm para determinar si un aceite está contaminado o no. El equipo de prueba Dexil trabaja en el principio de determinación de cloro en vista que los aceites PCB están manufacturados a base de moléculas de cloro. Es necesario tener en cuenta que dicho equipo Dexil no puede hacer distinción entre los distintos componentes del cloro que también puede encontrarse en transformadores. Esto podría llevar a dar un resultado positivo, es decir arriba de 50 ppm, pero al mismo tiempo falso. Por lo que esta prueba, como inicio de la gestión, es útil, más no suficiente. De existir un resultado positivo, es decir arriba de 50 ppm, se sugiere que el siguiente paso a tomar, sea una prueba definitiva mediante alguna prueba específica, por ejemplo cromatografía de gases. El operador que efectuó la prueba debe usar guantes de hule y lentes de seguridad para protección de los ojos.

El equipo contiene:

1. Un tubo #1 de polietileno con tapón dosificados color negro que contiene una ampolla incolora, abajo y una gris, arriba.
2. Un segundo tubo de polietileno, tubo #2, con tapón color blanco que contiene 7 ml de una solución buferada, aquella que al agregarle cualquier solución, no cambia su PH o grado de acidez.
3. Una pipeta de polietileno.

La prueba consiste en lo siguiente.

Primer paso: desenrosque el tapón dosificado del tubo #1, tapón negro. Luego con la pipeta introduzca en el tubo #1 exactamente 5 ml, hasta la línea marcada, del aceite del equipo que esta siendo sometido a prueba. Tape nuevamente el tubo firmemente.

Segundo paso: rompa la ampolla incolora del tubo #1, la que se encuentra abajo, comprimiendo los lados del tubo. Agite el tubo durante 10 segundos. Seguidamente rompa la ampolla color gris, la que se encuentra arriba, y agite nuevamente por 10 segundos la muestra. Asegúrese de romper primero la ampolla incolora y luego la de color gris. A continuación, la reacción requerirá 60 segundos durante los cuales se deberá agitar intermitentemente varias veces. Controle el tiempo con un reloj.

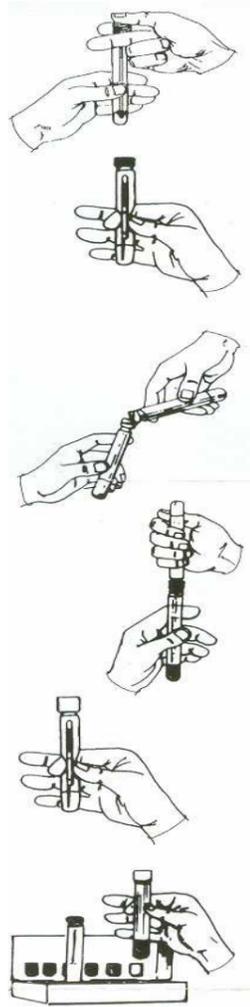
Tercer paso: desenrosque los tapones de ambos tubos y vierta la solución buferada del tubo #2, con tapón blanco, dentro del tubo #1. Vuelva a tapar el tubo #1 y agite fuertemente durante 10 segundos. Afloje ligeramente el tapón para permitir la salida del gas que se forme. Vuelva a cerrar el tubo, firmemente,

y agítelo fuertemente por otros 10 segundos. Vuelva a ventilar el tubo y cierre la tapa firmemente. El aceite ya no debe verse de color gris.

Cuarto paso: coloque el tubo #1 hacia abajo, déle vuelta, apoyado en su tapón y déjelo en reposo por dos minutos. Si la capa de aceite queda por debajo de la solución buferada, suspenda la prueba. El líquido en prueba es un PCB puro. Si la capa de aceite queda por encima de la solución buferada coloque el tubo #1 sobre el tubo #2 abierto y mueva el dosificador del tapón negro. Asegúrese que durante la apertura del dosificador no apunte hacia el operador y que se encuentre, totalmente, abierto antes de presionar el tubo para que salga la solución buferada. A continuación, coloque 5 ml de la solución buferada en el tubo #2, hasta la línea. Coloque el tapón en el tubo #2 y cierre el dosificador del tapón en el tubo #1.

Quinto paso: rompa la ampolla incolora, la de abajo, en el tubo 2 y agite por diez segundos. Seguidamente rompa la ampolla coloreada, la de arriba, agite por 10 segundos y observe el color.

Sexto paso: si la solución aparece de color violeta, la muestra contiene menos de 50 ppm de PCB. Si aparece de color amarillo o incoloro puede contener más de 50 ppm de PCB y la muestra debe ser analizada por algún método específico para la determinación de PCB. No debe atribuirse ningún valor al color que pueda aparecer en la delgada capa de aceite que pueda formarse encima de la solución.



Existen ciertas precauciones importantes que deben ser observadas antes de la prueba.

- Puesto que el equipo trabaja bajo el principio de la determinación de cloro, debe evitarse cualquier contacto con sal (cloruro de sodio), agua de mar, transpiración, etc.

- Debe usarse guantes de hule para evitar contaminación con el equipo y lentes protectores para los ojos. Las ampollas no deben tocarse, ni el soporte de las mismas o al extremo de la pipeta.
- El equipo no está hecho para evaluar muestras que contengan agua.
- De determinar pruebas positivas, los tubos de pruebas deben tratarse como desechos de PCB.

El principio químico de la prueba se detalla en los documentos del equipo y este puede adquirirse a través de la dirección electrónica www.dexil.com.

Fuente: Instrucciones para CLOR-N-OIL 50 PCB TEST KIT, 2002

ANEXO 8

En cuanto al medio ambiente.

Capitulo III

De los Sistemas lítico y edáfico

Artículo 16. El organismo ejecutivo emitirá los reglamentos relacionados con:

- a) Los procesos capaces de producir deterioro en los sistemas lítico, o de las rocas o minerales, y edáfico, o de los suelos, que provengan de actividades industriales, minerales, petroleras, agropecuarias, pesqueras u otras.
- b) La descarga de cualquier tipo de sustancias que puedan alterar física, química o mineralógica del suelo o del subsuelo que le sean nocivas a la salud o a la vida humana, la flora, la fauna y los recursos o bienes.
- c) El deterioro cualitativo y cuantitativo de los suelos.

Fuente: Decreto No. 68-86 Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente, Congreso de la Republica.

Nota.

Dicho artículo consta de 6 incisos. Se mencionan únicamente los que aplican a este trabajo.

ANEXO 9

PRESENCIA DE PCB EN OTROS MATERIALES Y APLICACIONES

Los Bifenilos Policlorados PCB se hayan con mas facilidad en aplicaciones de equipo eléctrico como fluido dieléctrico en transformadores y condensadores en equipo de distribución y transmisión debido a las cantidades que dicho equipo utilizaba. Sin embargo los PCB también pueden encontrarse en condensadores de diversos tamaños, sellados herméticamente, desde los que van integrados a lámparas fluorescentes, que contienen unos cuantos gramos de PCB, hasta unidades de alto voltaje, que pueden contener hasta 60 Kg de líquido con PCB. Citamos a continuación estas otras aplicaciones en las que podemos hallarnos ante la presencia de PCB.

1. Motores eléctricos refrigerados con líquido
2. Cables eléctricos con óleo fluidos aislantes
3. Balastos de lámparas fluorescentes
4. Antiguos electrodomésticos, televisores, heladeras, equipos de aire acondicionado, ventiladores de techo, hornos de microondas, freidoras industriales, equipos electrónicos
5. Sistemas hidráulicos y de transferencia de calor
6. Lubricantes de turbinas de gas y de vapor, compresores de gases y de aire
7. Sistemas hidráulicos y lubricantes en equipos de minas y barcos
8. Sellos de cierre de bombas de vacío
9. Plastificantes en adhesivos, selladores, cauchos clorados, materiales plásticos
10. Solventes clorados de Pinturas, tintas y lacas

11. Revestimientos de papeles, copiadores sin carbónico
12. Masillas para de sellado
13. Plaguicidas, agroquímicos
14. Materiales de construcción: asfaltos, fieltros aislantes de ruido, paneles aislantes de techo, selladores, retardantes de fuego
15. Medios de montaje de microscopios y aceites de inmersión
16. Líquidos para análisis de viscosidad

Fuente: Normativa y Propuestas para la Eliminación de los Bifenilos Policlorados (PCB), 2001,
3, 4pp

ANEXO 10

Manipuleo: cuando se manipula materiales contaminados con PCB's., como en el caso del mantenimiento, reparación o desmontaje de equipos eléctricos que lo contienen será condición indispensable evitar o reducir al mínimo posible su incorporación al medio ambiente tanto sea en estado de sólido, líquido o vapor, evitando, a su vez, su acción sobre el personal afectado a la tarea.

- Todo método de trabajo deberá contemplar las siguientes consideraciones:

Los materiales contaminados con PCB's en estado líquido, solución, a pesar de poseer una baja tensión de vapor a temperatura ambiente, incrementan su evaporación con la elevación de la temperatura y el movimiento del aire. Al cabo de un tiempo de estar expuesto al aire, deja un residuo muy viscoso que puede llegar a ser sólido, no obstante debe tratarse con los mismos cuidados pues su concentración de materiales contaminados con PCB's es aún mayor. Sus vapores son considerablemente más pesados que el aire, por lo tanto tendrán tendencia a descender, pudiendo resultar ineficaces algunos sistemas de ventilación. Los materiales contaminados con PCB's. se mezclan con la mayoría de los solventes e hidrocarburos. Cuando se emplea algún material absorbente deberá ser introducido en el contenedor de desechos tan pronto cumpla su función pues la evaporación puede ser mayor que la que tendría el líquido sólo.

- No deberá abusarse de absorbentes y solventes tratando de emplear lo estrictamente necesario. El uso indiscriminado dará lugar a considerables volúmenes de desecho. En todos los casos y en función de los riesgos emergentes se impone el empleo de elementos de

seguridad personal. No se deberán mantener los contenedores con materiales contaminados con PCB's o sus desechos en el lugar de trabajo, debiendo ser llevados al depósito en forma inmediata cuidando que previamente hayan sido sellados. Las empresas deberán confeccionar normas de procedimiento para trabajos específicos.

1. Depósito de almacenamiento

Características constructivas: la construcción de este depósito se realizará alejado de centros poblados.

- El depósito se construirá totalmente con materiales incombustibles
- Deberá contar con habilitación municipal para depósitos de elementos tóxicos y contaminantes del medio ambiente
- El local será de una sola planta, y contará con pasillos interiores apropiados para transporte
- Contará con un techo adecuado a fin de evitar la incidencia directa de la radiación solar y el ingreso de agua sobre los elementos almacenados
- Tendrá ventilación natural por medio de aberturas en la parte superior e inferior del depósito, contando con ventanas y otros dispositivos con el fin de lograr una mejor ventilación
- La altura de las paredes será tal que impedirá la incidencia del sol y la proyección de agua de lluvia sobre los elementos almacenados
- Las paredes y el piso serán impermeabilizados con pintura epóxica
- El piso del área de almacenamiento propiamente dicho, estará construido de manera tal que no permita que ante un derrame o pérdida del líquido, éste se expanda fuera del depósito

- A tal efecto el piso contará con canaletas colectoras, con pendiente hacia un tanque colector de materiales contaminados con PCB's., con mayor capacidad que la del contenedor más grande, con tapa, a fin de contener posibles derrames o pérdidas de materiales contaminados con PCB's
 - Se contará con una bomba destinada exclusivamente a trasladar del producto entre envases
 - En el exterior y próximo al acceso de este depósito se construirá un vestuario, el que deberá contar con:
 1. instalación sanitaria
 2. ducha, lavaojos y piletas para casos de emergencia.
 3. armarios, conteniendo los elementos de seguridad personal exigidos en esta norma, y ropa desechable destinada a los operarios que realicen tareas, en el lugar.
2. Dispositivos de seguridad:
- señalización óptica y acústica por aumento de nivel del depósito colector, en el lugar de trabajo más cercano, donde se encuentre personal permanente
 - se dispondrá la instalación de pararrayos
 - se contará con instalación eléctrica de seguridad
 - se contará con medios de extinción de incendio
3. Características generales:
- Será señalizado en la entrada con el lema: "Entrada prohibida a personal no autorizado Peligro"

- El depósito estará permanentemente cerrado, con cerraduras de seguridad
- La alimentación eléctrica de iluminación, del área de almacenamiento, se conectará, por medio de una llave que se encontrará en un tablero en el exterior del depósito, solamente en el momento en que se deba realizar tareas dentro del recinto
- El ingreso del personal autorizado se hará con el equipo de seguridad prescripto
- Dentro del depósito estará terminantemente prohibido fumar, comer o beber
- No se permiten fuentes de calor y trabajos en caliente dentro del área de almacenamiento sin autorización del responsable
- La movilización de los equipos y/o envases se hará a través de auto elevadores o medios apropiados, y conducidos por personal capacitado en movimiento de cargas
- Cuando los equipos y/o envases fuesen movidos a través de auto elevadores serán dispuestos sobre superficies seguras y amarrados
- Los equipos y/o envases serán movidos siempre en posición vertical y amarrados, a fin de evitar posibles pérdidas y/o derrames

4. Responsable.

Se designará un responsable, que realizará inspecciones visuales semanales para detectar anomalías y llevará un registro que contará con:

- fecha de entrada del equipo y/o envases;
- si fuese un equipo, constará el tipo, eje. transformador, capacitor, y la cantidad de PCB's que contiene;

- si fuera un envase, constará el contenido y la cantidad;
- registro de inspecciones, con la firma del responsable;
- estadísticas de derrames, pérdidas y otros accidentes;
- envases. Características generales. El almacenamiento de los materiales contaminados con PCB's se realizará en envases y/o contenedores, de forma cilíndrica, que atiendan a las siguientes exigencias.
 - Tendrán una capacidad no mayor de 200 litros y poseerán tapa con cierre hermético
 - Serán construidos en chapa de acero
 - Llevará brida de ¾" y 2" para almacenamiento de desechos sólidos
 - Serán tratados internamente con pintura epóxica, o galvanizados por inmersión en caliente
 - Serán fácilmente identificados a través de rótulos
 - Los envases que hayan contenido materiales contaminados con PCB's. se podrán utilizar para almacenar materiales con PCB's. fuera de uso si cumplen las presentes especificaciones
 - Los equipos y envases serán almacenados siempre en posición vertical, con sus válvulas y tapas cerradas
 - Los equipos que contengan materiales contaminados con PCB's. serán manipulados y movilizados con cuidado a fin de evitar choques mecánicos que puedan ocasionar pérdidas o derrames. Los capacitores serán manipulados a través de asas o agarradores laterales y nunca por los aisladores, los otros equipos serán manipulados de acuerdo con las recomendaciones del fabricante (transformadores, capacitores, intercambiadores de calor, etc.)

- Los envases utilizados para guardar materiales contaminados con PCB's. no deben ser ignorados, ni utilizados para acondicionar otros productos.

5. Transporte.

El transporte de equipos y envases que contengan o hayan contenido materiales contaminados con PCB's. Dentro del ámbito de la empresa, se realizará de la siguiente manera.

- Serán transportados en posición vertical y amarrados
- Deberán ser adecuadamente rotulados
- Los dispositivos utilizados en la carga y descarga, deberán contar con las condiciones de seguridad requeridas para estos fines
- Todo trabajo de carga y descarga será supervisado por personal especializado
- Se prohíbe en todo trabajo de carga y descarga acostar los envases o equipos a fin de evitar pérdidas y derrames
- El transporte de materiales contaminados con PCB's. se realizará en envases individuales herméticamente cerrados, o sellados
- Los equipos y envases que contengan o haya contenido materiales contaminados con PCB's. no podrán ser transportados en un mismo vehículo o compartimiento del vehículo con ninguna otra sustancia
- En caso de que el vehículo utilizado en el transporte de equipos y envases que contengan o hayan contenido PCB's. resulte contaminado por pérdidas o derrames de los equipos y envases, este vehículo no podrá ser utilizado nuevamente hasta su descontaminación

- Se tomarán las medidas necesarias a fin de evitar el daño de los embalajes y de los rótulos.

6. Criterios para determinar la prioridad de la descontaminación de equipos

Se fijan los criterios en base a 2 parámetros:

- Zonas donde se encuentran instalados los equipos
- Concentración de PCB's

ZONAS: se indican las zonas en orden de prioridad decreciente.

- Zona I: Equipos instalados dentro de industrias o empresas comerciales con personal dependiente con actividad habitual. Próximos a escuelas, hospitales, campos deportivos, y zonas densamente pobladas. Definiéndose como radio de influencia 100 metros
- Zona II: Zonas urbanas de mediana densidad poblacional
- Zona III: Zonas periféricas urbanas y rural
- Zona IV: Equipos instalados subestaciones, centrales térmicas, siempre que cuenten con suficiente resguardo, techo, piso impermeable.

CONCENTRACION: Se indican las concentraciones en orden de prioridad decreciente.

- Más de 500 ppm
- Entre 500 a 50 ppm
- Entre 50 a 2 ppm

Se deberán priorizar la eliminación teniendo en cuenta las zonas y los equipos con mayor concentración de PCB's al momento de confeccionar el plan, a continuación se establecen los lineamientos a seguir.

- Prioridad alta: Zonas I y II y concentración mayor a 500 ppm.
- Prioridad media: Zonas II y III y concentraciones de 50 a 500 ppm.
- Prioridad baja: Zona IV y concentraciones de 50 a 500 ppm.

Cartelera según la ONU:

Riesgo de la sustancia: 90 "sustancias peligrosas diversas".

Numero de Naciones Unidas: 2315 "Artículos que contienen bifenilos policlorados"

90
2315

Los diámetros de los círculos de identificación serán de 15 cm. y deberán estar ubicados en una zona visible y cerca del cartel de la ONU.

ROJO	AMARILLO	VERDE	BLANCO
Mayor a 500 ppm	500 a 50 ppm	50 a 2 ppm	libre < 2 ppm

Fuente: Resolución #1118, Secretaria de Buenos Aires, Argentina, 2002 Anexos I, II y III