



**Programa de las  
Naciones Unidas para el  
Medio Ambiente**



# **Transformadores y condensadores con PCB: desde la gestión hasta la reclasificación y eliminación**

Primera edición  
Mayo de 2002



**ELABORADO POR PNUMA PRODUCTOS QUÍMICOS**

**IOMC**

**PROGRAMA INTERINSTITUCIONAL PARA LA GESTIÓN RACIONAL DE LAS SUSTANCIAS QUÍMICAS**  
Acuerdo de cooperación entre el PNUMA, OIT, FAO, OMS, ONUDI, UNITAR Y OCDE





**Programa de las  
Naciones Unidas para el  
Medio Ambiente**



# **Transformadores y condensadores con PCB: desde la gestión hasta la reclasificación y eliminación**

Primera edición

Mayo de 2002

ELABORADO POR PNUMA PRODUCTOS QUÍMICOS

**IOMC**

---

PROGRAMA INTERINSTITUCIONAL PARA LA GESTIÓN RACIONAL DE LAS SUSTANCIAS QUÍMICAS  
Acuerdo de cooperación entre el PNUMA, OIT, FAO, OMS, ONUDI, UNITAR Y OCDE

La presente publicación tiene por objeto servir como guía en el manejo, reclasificación y eliminación de transformadores y condensadores que contienen PCB. Si bien la información aquí proporcionada se considera veraz, el PNUMA se deslinda de toda responsabilidad relacionada con posibles inexactitudes u omisiones así como de cualquier consecuencia derivada de las mismas. El PNUMA no avala ni certifica ninguno de los productos y procedimientos citados en el documento. El PNUMA y las personas que participaron en la elaboración de este estudio declinan toda responsabilidad por lesiones, pérdidas, daños o perjuicios de cualquier tipo que puedan haberse ocasionado por la manera en que se haya entendido la información contenida en esta publicación.

Los términos empleados y la presentación del material de este estudio no implican de parte de las Naciones Unidas ni del PNUMA opinión alguna respecto de la situación jurídica de cualquier país, territorio, ciudad o región, ni de ninguna de sus autoridades, ni respecto de la delimitación de sus fronteras o límites geográficos.

Esta publicación fue preparada mediante contrato con Jacques Ehretsmann. Las opiniones expresadas no reflejan necesariamente las opiniones del PNUMA.

Créditos fotográficos: Approachim (portada y página 9); AGR Spain (página 28).

Primera impresión (Mayo de 2002).

Se autoriza a citar o reproducir el contenido de esta publicación con los debidos créditos y la referencia del número de documento. Deberá enviarse a PNUMA Productos Químicos una separata o ejemplar de la publicación en que conste la cita del presente estudio.

Esta publicación fue elaborada dentro del marco del Programa Interinstitucional para la Gestión Racional de las Sustancias Químicas (IOMC).

El Programa Interinstitucional para la Gestión Racional de las Sustancias Químicas (IOMC) fue creado en 1995 por el PNUMA, la OIT, la FAO, la OMS, la ONUDI y la OCDE (Organizaciones Participantes) siguiendo las recomendaciones formuladas en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo de 1992 para intensificar la cooperación e incrementar la coordinación en materia de seguridad de las sustancias químicas. En enero de 1998, el UNITAR se incorporó oficialmente al IOMC como organización participante. El objetivo del IOMC es promover la coordinación de las políticas y actividades de las organizaciones participantes, realizadas conjuntamente o por separado, con miras a lograr una gestión racional de las sustancias químicas en relación con la salud humana y el medio ambiente.

Puede solicitar un ejemplar del presente informe en:

UNEP Chemicals  
11-13 chemin des Anémones  
CH-1219 Châtelaine (Geneva), Switzerland  
Tel.: +41 22 917 8170  
Fax: +41 22 797 3460  
E-Mail: [chemicals@unep.ch](mailto:chemicals@unep.ch)

**PNUMA**  
**Productos Químicos**

*PNUMA Productos Químicos forma parte de la División de Tecnología, Industria y Economía del PNUMA.*

## INDICE

1	INTRODUCCIÓN.....	7
2	INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA .....	8
3	PROPIEDADES DE LOS PCB .....	9
4	EQUIPOS ELÉCTRICOS Y PCB .....	11
5	DESCRIPCIÓN DE TRANSFORMADORES Y CONDENSADORES .....	12
5.1	TRANSFORMADORES.....	12
5.2	CONDENSADORES .....	13
6	GESTIÓN DE TRANSFORMADORES CON PCB.....	14
6.1	IDENTIFICACIÓN DE TRANSFORMADORES CON PCB .....	14
6.1.1	PLACAS ORIGINALES DE IDENTIFICACIÓN DEL FABRICANTE.....	14
6.1.2	CONSTRUCCIÓN DEL TRASFORMADOR.....	16
6.2	IDENTIFICACIÓN DE ACEITES CON PCB .....	17
6.3	MANTENIMIENTO DE TRANSFORMADORES CON PCB.....	18
6.4	FUGAS EN LOS TRANSFORMADORES.....	18
6.5	EVALUACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO .....	19
6.5.1	PRUEBAS ELÉCTRICAS .....	19
6.5.2	PRUEBAS QUÍMICAS.....	19
7	SANIDAD Y SEGURIDAD .....	21
7.1	MANIPULACIÓN DE LÍQUIDOS Y EQUIPOS CONTAMINADOS CON PCB .....	21
7.1.1	PRECAUCIONES SANITARIAS .....	21
7.1.2	EQUIPO DE PROTECCIÓN PERSONAL (EPP).....	23
7.1.3	VENTILACIÓN.....	23
7.1.4	EQUIPO DE PROTECCIÓN RESPIRATORIA (EPR).....	24
7.2	VIGILANCIA AMBIENTAL .....	25
7.3	FUGAS Y DERRAMES .....	25
7.3.1	CONTINGENCIAS.....	25
7.3.2	FUGAS DE TRANSFORMADORES.....	26
8	RECLASIFICACIÓN DE TRANSFORMADORES .....	28
9	RELLENADO DE TRANSFORMADORES .....	29

9.1 ASPECTOS QUE HAY QUE CONSIDERAR AL TOMAR UNA DECISIÓN SOBRE RELLENADO .....	29
9.2 CARACTERÍSTICAS NECESARIAS DE LOS ACEITES SUSTITUTOS .....	30
9.3 OTRAS CONSIDERACIONES.....	31
9.4 MEDIDAS DE CONTROL PARA EL RELLENADO .....	32
9.4.1 MANIPULACIÓN DE TRANSFORMADORES CON PCB.....	32
9.4.2 ACONDICIONAMIENTO DE LAS INSTALACIONES PARA LA MANIPULACIÓN Y DESMANTELAMIENTO DE EQUIPOS CON PCB.....	32
9.4.3 PRECAUCIONES QUE DEBEN TOMARSE AL CORTAR EQUIPOS QUE CONTIENEN PCB.....	32
9.4.4 VACIADO DE TRANSFORMADORES CON PCB .....	33
9.4.5 PRECAUCIONES EN EL LAVADO DE EQUIPOS PARA ELIMINAR LOS PCB.....	33
9.4.6 MANIPULACIÓN DE CONDENSADORES CON PCB .....	33
10 ALTERNATIVAS DE FLUIDOS PARA EL RELLENADO.....	34
10.1 ACEITES MINERALES.....	34
10.2 FLUIDOS DE SILICONA .....	34
10.3 ACEITES DE ÉSTER SINTÉTICO.....	35
CUADRO 1: PROPIEDADES PRINCIPALES DE LOS ACEITES SUSTITUTOS .....	36
CUADRO 2: ESPECIFICACIONES DE LOS ACEITES SUSTITUTOS ESTABLECIDAS POR TRES COMISIONES DE NORMAS.....	36
11 ELIMINACIÓN Y REEMPLAZO DE TRANSFORMADORES CON PCB .....	38
11.1 ELIMINACIÓN DE TRANSFORMADORES.....	38
11.2 REEMPLAZO DE TRANSFORMADORES .....	38
12 FUENTES DE INFORMACIÓN ADICIONAL .....	40
12.1 MANTENIMIENTO GENERAL.....	40
12.2 RELLENADO .....	40
12.3 PUBLICACIONES.....	40
12.4 INFORMACIÓN GENERAL SOBRE LEGISLACIÓN Y PCB.....	41
ANEXO A : EXTRACTO DEL CONVENIO DE ESTOCOLMO RELATIVO A LOS PCB.....	42
ANEXO B : EJEMPLOS DE ACEITES SUSTITUTOS DE PCB .....	44
ANEXO C : LISTA DE ABREVIATURAS Y SIGLAS .....	63

## PREFACIO

Este estudio sobre gestión, reclasificación y eliminación de transformadores y condensadores con PCB es la cuarta publicación del PNUMA relacionada con los bifenilos policlorados (PCB). Los PCB son contaminantes orgánicos persistentes (COP), es decir, sustancias químicas que son persistentes, se bioacumulan y tienen efectos adversos en la salud humana y el medio ambiente. Pueden recorrer grandes distancias y se han encontrado en los lugares más recónditos del planeta, incluso en lugares muy alejados de donde se produjeron y fueron utilizados.

Aunque en principio ha cesado la producción de PCB, hay y seguirá habiendo emisiones en el medio ambiente debido a las cantidades significativas de PCB que están en uso o almacenadas. Los transformadores y condensadores eléctricos son una de las fuentes más importantes de PCB. El periodo probablemente largo en que continuarán utilizándose así como su persistencia una vez liberados en el medio ambiente significa que los PCB podrían representar una amenaza durante décadas. Casi todos los doce productos químicos incluidos en el Convenio de Estocolmo están sujetos a prohibición inmediata, pero los equipos existentes con PCB podrán ser conservados hasta el año 2025 (mientras se vayan introduciendo equipos sin PCB), con las precauciones debidas contra filtraciones.

El objetivo de la presente publicación es proporcionar asistencia práctica a los responsables de la operación de transformadores y condensadores que contienen PCB en el contexto de los esfuerzos que realizan los países para lograr una gestión de estos equipos libre de riesgos y su futura eliminación. Este documento proporciona orientación sobre los aspectos más importantes de la gestión global de transformadores y aceites con PCB, por ejemplo su reclasificación y su retiro de uso, pero no sustituye los manuales profesionales de manejo que, desde luego, son más exhaustivos y a los que deben remitirse los operadores de estos equipos eléctricos. El PNUMA agradecerá toda información y sugerencia que pudiese incorporarse a las revisiones futuras de ésta y las publicaciones anteriores sobre PCB.



# 1 INTRODUCCIÓN

La mayoría de los transformadores y condensadores utilizan un fluido dieléctrico a base de bifenilos policlorados (PCB). Estos productos poseen las propiedades necesarias para su uso en equipos eléctricos, como la piroresistencia, pero presentan algunas desventajas importantes. Estas desventajas tienen que ver con la naturaleza tóxica de los PCB y el hecho de que pueden contaminarse con dibenzofuranos o transformarse en ellos. Durante muchos años se han detectado efectos biológicos adversos que ahora están perfectamente definidos. Desgraciadamente, durante cuarenta años se han utilizado PCB en transformadores y condensadores de forma irrestricta, y ahora es preciso proponer soluciones prácticas para eliminar los PCB donde sea que se encuentren.

Los PCB, así como algunos plaguicidas como el DDT, y las dioxinas y furanos, subproductos de la incineración industrial, están incluidos en el *Convenio de Estocolmo sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes* (COP). El Convenio trata de la producción, uso, importación, exportación, liberación de subproductos, gestión de existencias y eliminación de una primera lista de doce COP.

Según lo estipulado en el Convenio, las Partes prohibirán y/o adoptarán las medidas jurídicas y administrativas necesarias para eliminar la producción y uso de PCB. Como aún son necesarios los equipos que contienen PCB, sobre todo ciertos transformadores y condensadores eléctricos, se ha establecido una excepción que permite seguir utilizando estos equipos hasta el año 2025, dentro del marco de política establecido en el Convenio (En el Anexo A de esta publicación figura la sección correspondiente del Convenio). Se espera que las Partes realicen esfuerzos decididos para identificar y etiquetar el equipo y eliminar su uso.

El primer problema que enfrentan los países que siguen utilizando transformadores y condensadores con PBC es cómo *localizar e identificar* este equipo. Luego se tendrá que tomar una decisión respecto a cómo y cuando habrá que *gestionar, reclasificar* y, por último, *eliminar* el equipo contaminado. El propósito de esta publicación es ayudar a las personas responsables de estos equipos a adoptar las medidas y las decisiones convenientes que permitan que su país cumpla con las disposiciones del Convenio de Estocolmo.

Esta publicación presenta información de base sobre el uso de PCB en equipos eléctricos, especialmente en transformadores y condensadores. Describe también la forma en que ese equipo debe ser gestionado durante su vida útil y cómo debe eliminarse mediante procedimientos ambientalmente racionales al cabo de su uso autorizado. Trata, en particular, la cuestión de la reclasificación del equipo como equipo que no contiene PCB (mediante la operación de rellenado), lo que permite evitar la destrucción total (y costosa) de transformadores antes de acabada su vida útil.

En las etapas finales del proceso de descontaminación se pueden generar residuos peligrosos de diversos tipos. Es importante recordar que todos estos materiales tendrán que manejarse en apego estricto a la normativa sobre movimientos transfronterizos de desechos peligrosos especificado en el Convenio de Basilea<sup>1</sup> así como a las restricciones de importación/exportación estipuladas en los Convenios de Estocolmo y de Rotterdam.<sup>2</sup>

---

<sup>1</sup> El Convenio de Basilea sobre Control de los Movimientos Transfronterizos de Desechos Peligrosos y su Eliminación fue adoptado en 1989 y entró en vigor en 1992.

<sup>2</sup> El Convenio de Rotterdam sobre Consentimiento Fundamentado Previo para Ciertos Plaguicidas y Productos Químicos Peligrosos objeto de Comercio Internacional fue adoptado en 1998 y entrará en vigor al registrarse la 50ª ratificación.

## 2 INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA

Las publicaciones anteriores de PNUMA Productos Químicos se relacionan, de una u otra manera, con el tema de la presente guía. En estas publicaciones encontrarán una gran cantidad de información complementaria sobre PCB, equipo que contiene PCB y tecnologías para la destrucción de PCB.

Directrices para la identificación de PCB y materiales que contengan PCB

(En inglés y francés, primera edición, agosto de 1999)

Inventario de la capacidad mundial de destrucción de bifenilos policlorados

(Primera edición, diciembre de 1998)

Encuesta sobre tecnologías actualmente disponibles para la destrucción de PCB sin incineración

(Primera edición, agosto de 2000)



Transformador convencional. Obsérvese la placa de identificación del fabricante y las etiquetas de advertencia.

### 3 PROPIEDADES DE LOS PCB

En 1881 se describió por primera vez la síntesis de los PCB, y su producción comercial comenzó a fines de los años 1920. A mediados de 1970 cesaron algunas aplicaciones de PCB en algunos productos, pero siguieron utilizándose en transformadores, condensadores, termopermutadores y equipo hidráulico. Se estima que desde 1930 se ha producido un millón de toneladas de PCB en todo el mundo. Lamentablemente, una cantidad considerable ha penetrado en el medio ambiente, y los efectos a largo plazo de estos compuestos son motivo de preocupación.

Los PCB son una familia de sustancias químicas orgánicas compuestas de dos anillos de benceno unidos por un enlace carbono-carbono. Los átomos de cloro se sustituyen en uno o en los diez lugares disponibles restantes. El número y la posición de los átomos de cloro determinan la clasificación y propiedades de las distintas moléculas. Hay 209 posibles congéneres<sup>3</sup> de los PCB. La volatilidad de las distintas moléculas varía según el grado de cloración. En general, los congéneres con bajo contenido de cloro son líquidos que fluyen libremente y se hacen más viscosos y menos volátiles al aumentar el contenido de cloro. Las preparaciones comerciales generalmente contienen una mezcla de congéneres y se clasifican según su contenido de cloro. Se estima que hay alrededor de 130 congéneres en las mezclas comerciales. Cabe señalar que, además de utilizarse en transformadores y condensadores eléctricos, los PCB están presentes en muchos otros productos: barnices, parafinas, resinas sintéticas, pinturas epóxicas y marinas, recubrimientos, lubricantes para corte, fluidos para intercambiador de calor, fluidos hidráulicos, etc. En estos otros casos, es obvio que los PCB no pueden recuperarse y lo único que puede hacerse es evitar que de ahora en adelante se usen PCB en estos productos.

Los PCB son algunas de las sustancias químicas orgánicas más estables que se conocen. Su constante dieléctrica baja y su punto de ebullición elevado los hacen ideales como fluidos dieléctricos en condensadores y transformadores eléctricos. En resumen, éstas son las características de los PCB:

- constante dieléctrica baja;
- baja volatilidad;
- resistentes al fuego;
- baja solubilidad en agua;
- alta solubilidad en solventes orgánicos;
- alta resistencia al envejecimiento, no se deterioran durante el uso.

Sin embargo, hoy en día las desventajas de los fluidos de PCB se consideran significativas:

- no son biodegradables;
- son persistentes en el medio ambiente;
- pueden acumularse en los tejidos adiposos del cuerpo;
- son posibles carcinógenos.

Los efectos de los PCB en los seres humanos pueden ser graves:

- pueden causar insuficiencia renal y de otros órganos humanos;

---

<sup>3</sup> Dicho de otro modo, existen 209 posibles maneras de colocar de uno a diez átomos de cloro alrededor de una estructura de bifenilo (anillos).

- si son inhalados, pueden producir dolor de cabeza, mareo, etc....;
- si se absorben por la piel pueden causar cloracné.

## 4 EQUIPOS ELÉCTRICOS Y PCB

Originalmente se proponían los aceites con PCB como fluidos dieléctricos para uso en equipo eléctrico, como transformadores, condensadores, disyuntores, reguladores de voltaje, etc., gracias a sus excelentes propiedades dieléctricas y a su muy baja inflamabilidad. Un aceite con PCB puede absorber cambios rápidos en campos eléctricos sin calentarse mucho, es decir, con poca pérdida de energía. Además, los PCB tienen un punto bajo de inflamación y no tienen punto de ignición, lo que significa que permanecen estables ante temperaturas variables. Sólo arden en contacto directo con una llama.

Cuando los PCB arden, por ejemplo, a causa de un incendio en una casa o en una fábrica en la que haya un transformador o condensador, se forman sustancias químicas muy tóxicas, principalmente dibenzofuranos, cuyos efectos nocivos en la salud han sido bien demostrados. Además del peligro de que produzcan furanos en caso de incendio, los PCB son en sí sustancias peligrosas debido a su gran estabilidad y su naturaleza oleofílica, lo que significa que los tejidos adiposos de seres humanos y animales los absorben fácilmente. De este modo, pueden formarse concentraciones de PCB en el organismo, por ejemplo, en la grasa, el hígado, etc., y estas moléculas son muy difíciles de eliminar.

Los transformadores, condensadores y, en menor grado, los termopermutadores y el equipo hidráulico pueden contener PCB o fluidos con niveles distintos de contaminación de PCB. Por ejemplo, los PCB 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 contienen hasta 60 Kg. de líquido con PCB. Los condensadores no requieren mantenimiento, pero pueden tener filtraciones en las soldaduras. Los condensadores contienen los congéneres menos clorados de los PCB, por lo que son más volátiles.

Aunque en fechas distintas según los países, desde principios de 1980 se han ido eliminando los usos de PCB en equipos eléctricos. A menos que se tengan otros datos, puede decirse que todo equipo fabricado antes de 1986 puede contener PCB. Hoy en día aún hay muchos transformadores que contienen PCB. El primer problema consiste en determinar cuáles son, para luego escoger los procedimientos más convenientes de eliminación de los PCB que contengan.

## 5 DESCRIPCIÓN DE TRANSFORMADORES Y CONDENSADORES

El objetivo primordial de esta publicación es ofrecer orientación a las personas que están relacionadas con la gestión de equipo eléctrico. Sin embargo, en este contexto cabe distinguir entre transformadores y condensadores. Ambos equipos contienen PCB, pero sólo los *transformadores* pueden ser tratados para eliminar los PCB que contengan y acondicionados para su reutilización. Los *condensadores* por lo regular deben ser destruidos para eliminar los PCB que contengan, aunque hay tecnologías que permiten recuperar algunos de los metales antes de su destrucción.

### 5.1 TRANSFORMADORES

Los transformadores son aparatos que pueden aumentar o disminuir el nivel de voltaje de una corriente eléctrica. La energía eléctrica se produce en centrales generadoras que queman diversos combustibles (petróleo, carbón, gas, etc.) y los transforman en energía. Esta energía se genera en forma de electricidad de alto voltaje que luego se distribuye a los usuarios finales (fábricas, hogares, minas, vías férreas, escuelas, etc.), que pueden estar cerca o lejos de la planta generadora.

Esta energía eléctrica se transfiere mucho mejor si el voltaje se mantiene alto, porque con los altos voltajes se pierde mucha menos energía durante el transporte por el tendido de cables, sea por aire, de una a otra torre, sea bajo tierra. Los cables de energía eléctrica que solemos ver transportan electricidad a un voltaje de varios miles de kilovoltios.

El voltaje debe disminuir antes de llegar al usuario, para así ajustarse a sus necesidades. Una fábrica puede necesitar quizás unos miles de voltios, mientras que las necesidades domésticas pueden ser de unos cientos de voltios. Esta disminución o reducción del voltaje se logra por medio de transformadores. Cada transformador que vemos en las subestaciones eléctricas, en la vía pública, el campo, en los postes, etc., tiene como misión reducir el voltaje.

Estos transformadores deben estar adaptados a la tarea que se les asigna. Eso quiere decir que pueden ser muy grandes, si se utilizan para grandes voltajes y corrientes, o relativamente pequeños, si se colocan en la última etapa de la cadena de abastecimiento para suministrar energía a un sólo usuario u hogar, que necesite, por ejemplo, unos 400 voltios. Por eso, los transformadores varían mucho en cuanto a tamaño y forma. Con todo, tienen el mismo diseño básico que consiste en un núcleo de metal magnético alrededor del cual se colocan dos juegos de cables conductores (de cobre). La diferencia en número de vueltas entre estos cables, en las dos bobinas, es la que determina la diferencia proporcional entre voltaje de entrada y de salida.

Esta estructura está suspendida dentro de una cuba metálica y sostenida por separadores de madera (que tienen propiedades aislantes). Los dos circuitos eléctricos están equipados con electrodos de entrada que permiten conexiones eléctricas hacia el exterior. Estos electrodos están aislados del depósito metálico por medio de aislantes de cerámica.

Por último, y he aquí lo importante, el espacio vacío dentro de la caja del transformador debe llenarse con un líquido que evite que se generen cortos circuitos y chispazos. Por eso, en su fase final de fabricación, el transformador se rellena con un fluido dieléctrico especial, que generalmente se compone de mezclas de aceite a base de PCB. Luego se sella el transformador, o se le coloca un “respiradero” que permita cambios en el volumen del aceite (por las fluctuaciones de temperatura).

En resumen, un transformador está compuesto de las siguientes partes, que hay que tomar en cuenta al retirarlo de servicio:

- una cuba metálica;
- un núcleo de acero magnético (láminas ensambladas);
- bobinas de cobre, cubiertas con una capa aislante de resina o papel;

- separadores de madera de diversas formas (son porosos y pueden absorber el aceite dieléctrico);
- aceite dieléctrico.

Hay diversos tipos de estructuras de transformadores y en ocasiones también se utilizan otros metales, como el aluminio.

Al diseñar el transformador se toma en cuenta el hecho de que su funcionamiento genera calor y que este calor debe ser expulsado para evitar el calentamiento de todo el equipo, que provocaría una disminución de la eficiencia eléctrica del equipo, aumentaría posiblemente el riesgo de sobrecalentamiento y, con ello, el peligro de incendio.

## 5.2 CONDENSADORES

Al igual que los transformadores, los condensadores pueden contener PCB, pero se distinguen de ellos en que son siempre estructuras selladas. Por eso el mantenimiento no representa gran problema, siempre y cuando el condensador esté en buen estado y no tenga fugas. No obstante, al final de su vida útil presentan el mismo peligro potencial que los transformadores; además, se usan en condiciones similares a las de los transformadores. Por esta razón los condensadores figuran también en algunos capítulos de la presente publicación.

Los condensadores son aparatos que pueden acumular y mantener una carga eléctrica. Un condensador se compone principalmente de placas conductoras de electricidad (láminas metálicas delgadas) separadas por un material dieléctrico, es decir, no conductor. Estas placas son bobinas de láminas metálicas. Hay dos bobinas de láminas metálicas que están separadas eléctricamente, y cada una tiene contactos que salen del condensador. El material dieléctrico suele ser un fluido dieléctrico que puede o no contener PCB.

Existen tres tipos principales de condensadores. Si desea más información, por ejemplo, sobre el funcionamiento de los condensadores, consulte el manual antes citado del PNUMA: [Directrices para la identificación de PCB y materiales que contengan PCB.](#)

## **6 GESTIÓN DE TRANSFORMADORES CON PCB**

### **6.1 IDENTIFICACIÓN DE TRANSFORMADORES CON PCB**

Al elaborar las directrices para la identificación de transformadores con PCB una de las dificultades es que se han fabricado y vendido muchos transformadores de distintos tipos, que ahora se utilizan en todo el mundo. No existe ningún compendio completo de estos equipos (sin embargo, véase Directrices para la identificación de PCB y materiales que contengan PCB del PNUMA). Por lo tanto, sólo podemos dar orientaciones generales de las que el lector podrá extraer información útil para su caso particular, y para los tipos de aparatos que tiene que gestionar.

Los primeros transformadores llenados con PCB se fabricaban de forma muy parecida a los equipos que se llenaban con aceite. Pero los modelos posteriores se fabricaron como unidades completa o herméticamente selladas sin válvulas de drenaje ni dispositivos de acceso. La razón de ello es que como los PCB tenían la reputación de ser fluidos muy estables, no se degradarían como los aceites normales, y por eso los transformadores podrían sellarse para siempre. La experiencia ha demostrado que no es así.

Por desgracia, no existe ningún método absolutamente seguro para identificar por fuera a los transformadores que contienen PCB. Sin embargo, además de la placa original con el nombre del fabricante (si la hay y si es legible), algunos detalles de construcción pueden ser de gran utilidad para la identificación.

#### **6.1.1 PLACAS ORIGINALES DE IDENTIFICACIÓN DEL FABRICANTE**

Además de fijar la placa con su nombre, muchos fabricantes de transformadores colocan una placa de identificación. Éstas, por lo general, indican que el transformador contiene PYROCLOR, ASKAREL, etc., y que por eso hay que usar precauciones especiales para su manejo.

Un transformador suele contener un fluido dieléctrico que sólo en parte es PCB, porque los PCB pueden ser viscosos. La mezcla puede comprender un aceite mineral u otro fluido organoclorado que no sea PCB, como el triclorobenceno y el tetracloroetileno. Estos compuestos son líquidos y por eso reducen la viscosidad del aceite del transformador. Con ello se facilita la circulación del líquido por los conductos de enfriamiento del transformador, y se eleva así la eficiencia de enfriamiento.

Los fluidos dieléctricos de PCB pueden ser una combinación de un bifenilo policlorado y, por ejemplo, triclorobenceno (TCB). La función del TCB es reducir la viscosidad del PCB para que éste pueda circular fácilmente por los conductos de enfriamiento en las bobinas. Los nombres comerciales que se dan a los fluidos dieléctricos con PCB para transformadores son conocidos, pero esta lista de los fluidos más comunes puede resultar útil:

PNUMA PRODUCTOS QUÍMICOS – TRANSFORMADORES Y CONDENSADORES CON PCB:  
DESDE LA GESTIÓN HASTA LA RECLASIFICACIÓN Y ELIMINACIÓN

APIROLIO	(Italia)
AROCLOR	(Reino Unido, EE.UU.)
ASBESTOL	(EE.UU.)
ASKAREL	(Reino Unido, EE.UU.)
BAKOLA 131	(EE.UU.)
CHLOREXTOL	(EE.UU.)
CLOPHEN	(Alemania)
DELOR	(Checoslovaquia)
DK	(Italia)
DIACLOR	(EE.UU.)
DYKANOL	(EE.UU.)
ELEMEX	(EE.UU.)
FENCLOR	(Italia)
HYDOL	(EE.UU.)
INTERTEEN	(EE.UU.)
KANECLOR	(Japón)
NOFLAMOL	(EE.UU.)
PHENOCLOR	(Francia)
PYRALENE	(Francia)
PYRANOL	(EE.UU.)
PYROCLOR	(EE.UU.)
SAFT-KUHL	(EE.UU.)
SOVOL	(U.R.S.S.)
SOVTOL	(U.R.S.S.)

Conviene examinar detenidamente las especificaciones técnicas que figuran en la placa de identificación del transformador o en el esquema original, que pueden ayudar a identificar un transformador con PCB. Hay que fijarse en dos aspectos:

Tipo de enfriamiento

Cualquiera de las siguientes descripciones o siglas indica la presencia de un fluido distinto del aceite de transformador:

- Liquid Natural Cooling (LN) (*Enfriamiento líquido natural*);
- Liquid Natural Air Natural Cooling (LNAN) (*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 significa enfriamiento natural por aceite (*Oil Natural*) y natural por aceite-aire (*Oil Natural Air Natural*), respectivamente.

Densidad del líquido del transformador

Puede realizarse un análisis del peso del líquido refrigerante que indica la placa, y este dato puede compararse con el volumen del transformador en galones o litros. La gravedad específica de los líquidos organoclorados es mucho mayor que la de un hidrocarburo: alrededor de 1.5, mientras que la del aceite es menor a 1.0.

Si tiene una válvula de drenaje o una válvula de muestreo, se puede hacer una prueba sencilla tomando una muestra del fluido para determinar su gravedad específica. Un valor de aproximadamente 1.5 indica que el aceite contiene PCB.

Un método práctico consiste en agregar unas gotas del refrigerante en un tubo de ensayo o matraz lleno de agua. Un refrigerante a base de PCB se hundirá rápidamente al fondo, mientras que un aceite o silicón convencional flotará en la superficie.

## 6.1.2 CONSTRUCCIÓN DEL TRASFORMADOR

La construcción del transformador puede ser un buen indicativo de la presencia de aceites de PCB. Muchos transformadores que contienen PCB se solían sellar herméticamente. Existen muchas diferencias entre transformadores de uno u otro fabricante, pero todos tienen ciertos elementos en común:

Los transformadores más recientes tienen tapas soldadas a la cuba

Por lo regular no tienen válvulas de drenaje y válvulas de muestreo

Suelen tener válvulas para despresurizar

Tienen cajas de distribución desconectables para poder realizar pruebas de cableado sin necesidad de acceder a la unidad del transformador

Además de estos transformadores sellados, que casi siempre contienen aceites con PCB, hay transformadores con dos tipos de conexión con el exterior:

a) *Válvulas de drenaje y de muestreo*. Este tipo de válvulas resultan ser cada vez más útiles incluso en transformadores sellados, para los que se consideraba anteriormente innecesario tomar muestras de fluidos regularmente. Puede también haber válvulas de presión en previsión de algún incremento anormal de la presión.

b) *Cámara de expansión*. Si los transformadores están sujetos a cambios bruscos de temperatura, o si el líquido dieléctrico tiene un coeficiente más bien alto de expansión térmica, es necesario tener una cámara de expansión. Estas estructuras, que tienen el aspecto de un sombrero en la parte superior del transformador, no tienen relación con la presencia o ausencia de PCB.

## 6.2 IDENTIFICACIÓN DE ACEITES CON PCB

Es importante identificar correctamente los líquidos de PCB en condensadores y transformadores. Una vez obtenidas las muestras del transformador en cuestión sería ideal poderlas someter rápidamente a una prueba sencilla.

No existen pruebas rápidas para identificar los PCB. El análisis de estas sustancias se suele hacer en laboratorios, utilizando diversos tipos de cromatografía:

- cromatografía de gas con columna empaquetada;
- cromatografía líquida en capa delgada;
- cromatografía líquida de alta resolución (HPLC).

Estos tipos de análisis son indispensables si se requieren dosificaciones precisas de PCB. Sin embargo, los análisis cuantitativos no suelen ser necesarios en la primera fase de identificación del contenido de un transformador. Afortunadamente, existen dos tipos de métodos rápidos, aunque no necesariamente certeros, que pueden señalar la presencia o contenido de PCB:

a) *Prueba de densidad*. Como contienen cloro, que es un átomo bastante pesado, los aceites de PCB suelen tener una densidad alta. Ello permite distinguirlos sobre todo de los aceites minerales, que por lo regular son más ligeros que el agua. Por otro lado, la gravedad específica de los aceites de PCB puede llegar a 1.5. Dicho de otro modo, un aceite de PCB siempre se irá al fondo de una mezcla con agua, mientras que un aceite mineral tenderá a flotar en la superficie.

b) *Prueba del cloro*. Por fortuna, la presencia de cloro puede detectarse mediante un sencillo análisis químico. Existen “tiras reactivas” sensibles a la presencia del cloro. Además, si se enciende 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.

Después de realizar estas sencillas pruebas, convendría verificar si el cloro existente se debe a la presencia de PCB y no a alguna otra sustancia que contenga cloro. Esta verificación puede hacerse mediante alguna de las pruebas cromatográficas antes mencionadas.

Estas dos pruebas sencillas indicarán, pues, la presencia de cloro<sup>4</sup>, tal como se presenta en los PCB. La prueba arrojará los mismos resultados con aceites minerales clorados; éstos también se utilizan en transformadores (véase apartado anterior) pero no representan el mismo peligro que los PCB. Aún así, se está eliminando su uso en equipos eléctricos. Los aceites para transformador que no contengan cloro no darán positivo en las pruebas antes descritas.

En las Directrices para la identificación de PCB y materiales que contengan PCB del PNUMA se proporciona más información sobre pruebas analíticas y los equipos para realizarlas.

---

<sup>4</sup> Cualquier tipo de cloro, incluso la sal de mesa, dará positivo.

## 6.3 MANTENIMIENTO DE TRANSFORMADORES CON PCB

El mantenimiento general de un transformador se realizará conforme a las prácticas habituales, ya sea descritas por el fabricante o siguiendo los correspondientes manuales de la industria eléctrica. En este apartado daremos una explicación general y orientaciones sobre aspectos clave del mantenimiento de un transformador. Nos interesa en particular señalar los posibles riesgos derivados de la operación de transformadores que contienen aceites de PCB:

- riesgos ocasionados por la fuga de aceites de PCB;
- riesgos por incendio;
- riesgos que surgen al final de la vida útil del equipo, cuando tiene que ser reclasificado.

En este contexto, el mantenimiento implica, en primer lugar, realizar evaluaciones y pruebas periódicas y constantes para detectar posibles ineficiencias en cualquier aspecto del funcionamiento del transformador. En segundo lugar implica tomar las medidas necesarias para poner remedio a las fallas observadas.

La prueba más sencilla y económica que puede aplicarse a un transformador, sea funcionando, sea almacenado, es la inspección visual. Ésta se complementará con pruebas periódicas del funcionamiento eléctrico y con análisis químicos, concretamente: análisis del fluido dieléctrico, cuando sea posible.

## 6.4 FUGAS EN LOS TRANSFORMADORES

Si se ha detectado una fuga o filtración en los transformadores es necesario determinar su causa para preparar medidas correctivas.

Las fugas más comunes se producen en los sellos y juntas. En estos casos cabe la posibilidad de efectuar reparaciones efectivas sin afectar el transformador mismo.

Es más grave cuando la fuga o filtración se debe a algún defecto en la estructura metálica del transformador. Es preciso inspeccionar regularmente la superficie exterior del transformador para poder detectar cualquier problema lo antes posible. Si la fuga se debe a una fractura de la cuba metálica del transformador, las causas pueden ser diversas:

a) En primer lugar, **un desperfecto mecánico y accidental** de la cuba del transformador puede originar una fuga. Aunque no haya fuga, un desperfecto así puede exponer la cuba a la acidez del aceite, pues la hace más frágil, con lo que aumentan las posibilidades de corrosión y, por consiguiente, de filtraciones.

b) En segundo lugar, **una degradación lenta del aceite**, como se describe a continuación, lo hará más corrosivo. La acidez puede a su vez ocasionar corrosión interna en las partes más frágiles del transformador, aun cuando éste parezca estar en condiciones satisfactorias. Las partes más frágiles de un transformador son las aletas de enfriamiento, que se fabrican mediante flexión, moldeo y posiblemente soldeo. Estas operaciones pueden provocar tensiones y el debilitamiento de la estructura, lo que la hace más vulnerable a la corrosión.

Además de reparar la fuga, si es posible, habrá que tomar medidas efectivas respecto al aceite que se haya derramado. Ello implica recoger todos los materiales contaminados, incluidos guantes y ropa utilizada al realizar el trabajo de reparación, y colocar todo en contenedores adecuados para su eliminación.

## 6.5 EVALUACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO

Los transformadores deben examinarse periódicamente para detectar cualquier cambio que pueda constituir un primer signo de deterioro en el funcionamiento del transformador y, por ende, de riesgos latentes. El proceso de verificación comprenderá los siguientes aspectos:

a) *Funcionamiento eléctrico*. Se trata de una evaluación directa del funcionamiento y se realizará siguiendo las instrucciones del fabricante. Por lo regular, un menor rendimiento se considerará relacionado con cambios en las características de entrada/salida. Por eso, esta inspección es sobre todo eléctrica.

b) *Nivel de aceite en el transformador*. Ciertos transformadores tienen dispositivos directos o indirectos que permiten controlar el nivel de aceite. En algunos casos, la reducción del nivel de aceite se compensará agregando un aceite dieléctrico similar.

c) *Cambios en las características del aceite*. Este control implica tener acceso al aceite del transformador. De ser posible, es preciso realizar ciertas mediciones en el aceite para asegurarse de que sus propiedades físicas y eléctricas no hayan sufrido cambios negativos. A continuación se describen las diferentes pruebas (eléctricas y químicas) que deben aplicarse al aceite.

### 6.5.1 PRUEBAS ELÉCTRICAS

La *prueba dieléctrica* es importante para medir la eficiencia constante del aceite. Esta prueba, que se realiza con equipo reconocido y autorizado, mide el voltaje al que se interrumpen las propiedades dieléctricas.

La *prueba del factor de potencia* indica la pérdida de potencia dieléctrica del aceite.

Cualquier deficiencia en estas propiedades será un indicativo de que el aceite ha sufrido algún tipo de deterioro químico. Estos cambios químicos se deben a ciertos factores relacionados con el diseño del transformador así como con la forma en que ha sido utilizado.

### 6.5.2 PRUEBAS QUÍMICAS

Como ya se indicó, un transformador es una estructura compleja cuyas características varían de un fabricante a otro. No obstante, todos los transformadores contienen un sistema de aletas disipadoras cuyas formas son complejas y tienen muchas soldaduras. El sistema de enfriamiento está concebido para que el calor que se genera en el aceite durante su funcionamiento eléctrico sea expulsado por 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 sobrecalentamiento, etc.;
- penetración de aire y humedad a través de sellos y juntas, etc.

El resultado de estos incidentes es, en pocas palabras, que permiten la interacción del aire (oxígeno) y el agua con el aceite de PCB, lo que ocasiona su deterioro químico. Se puede detectar y medir el deterioro químico de la siguiente manera:

a) La *acidez* del aceite indicará si ha habido oxidación por el contacto con el aire (posiblemente por efecto de campos eléctricos y de temperatura). La acidez se mide por el número de miligramos de KOH (hidróxido de potasio) necesario para neutralizar un gramo de aceite. Un aceite nuevo tiene un índice de acidez inferior a los 0.05 mg. Un aceite de transformador se considera inservible cuando se eleva por encima de 4 mg. Es obvio que

la acidez favorecerá la corrosión de las partes metálicas del transformador, sobre todo las aletas de enfriamiento que son más delgadas y, por consiguiente, más vulnerables a la corrosión que la cuba del transformador.

b) La prueba *de interface* mide la tensión superficial entre el aceite y un líquido no miscible como el agua. Cuando el aceite del transformador, que es orgánico e hidrofóbico, comienza a degradarse por efecto del oxígeno o el agua, se hace un poco menos hidrofóbico y, por lo tanto, el ángulo de humectación con agua se modifica. Por eso, esta prueba puede prever posibles disminuciones del rendimiento eléctrico del aceite.

## 7 SANIDAD Y SEGURIDAD

Las precauciones sanitarias y de seguridad al manipular materiales con PCB son de primordial importancia. Este capítulo no es una descripción rigurosa de las medidas que deben tomarse en este contexto; contiene más bien una serie de orientaciones que deberían instar al operador a consultar las instrucciones y recomendaciones preparadas por las autoridades sanitarias de su región, que son más exhaustivas.

### 7.1 MANIPULACIÓN DE LÍQUIDOS Y EQUIPOS CONTAMINADOS CON PCB

#### 7.1.1 PRECAUCIONES SANITARIAS

Se deben tomar las siguientes precauciones en la manipulación de líquidos y materiales contaminados con PCB:

a) Cerciorarse de que el área de trabajo tenga *ventilación suficiente*. En subestaciones cerradas se utilizarán ventiladores portátiles a ras del suelo.

b) Usar vestimenta de protección completa, a saber:

- traje de una sola pieza a prueba de productos químicos;
- guantes a prueba de productos químicos;
- botas o cubrezapatos desechables;
- máscara respiradora (oficialmente aprobada) con aire insuflado desde compresores o cilindros a distancia;
- para exposiciones de menor intensidad puede usarse una máscara completa con cartucho de reemplazo tipo "CC".

Los síntomas de la exposición a los PCB son cloracné, irritación de los ojos, somnolencia, dolor de cabeza e irritación de la garganta.

No se debe permitir en ningún caso que el personal o los observadores fumen en el área en la se esté manipulando material con PCB.

Por lo regular no hay normativa que establezca los valores umbral límite (TLV, por sus siglas en inglés) aceptables. No obstante, podemos citar, a manera de ejemplo, los niveles que recomienda la Dirección de Salud y Seguridad Operativa del Reino Unido (*United Kingdom Health and Safety Executive*):

- con un contenido de 42% de cloro (ej., Aroclor 1242): exposición prolongada: 1 mg/m<sup>3</sup>;
- con un contenido de 54% de cloro (ej., Aroclor 1254): exposición prolongada: 0.5 mg/m<sup>3</sup>.

En Alemania, la antigua Oficina Federal de Salud (*Federal Health Office*) recomendaba:

- ingesta Diaria Aceptable (IDA): 1 mg por Kg. de peso corporal al día;
- tomar medidas si el nivel rebasa los 3,000 mg. por m<sup>3</sup> de aire;
- objetivo: mantener un nivel inferior a los 30 mg. por m<sup>3</sup> de aire.

En caso de derrame de PCB, debe contenerse con materiales absorbentes, que serán depositados en barriles de acero para su posterior eliminación autorizada. El personal encargado de derrames deberá tener en cuenta las siguientes precauciones de primeros auxilios:

- Si ha habido contacto de los ojos con PCB, hay que enjuagarlos de inmediato con agua, por lo menos durante 15 minutos y solicitar atención médica;
- Si ha habido contacto de la piel con PCB, quitarse de inmediato toda la ropa contaminada y lavar la parte del cuerpo afectada con jabón y agua;
- En caso de ingestión, enjuagarse la boca varias veces con agua limpia, tomar agua, y solicitar atención médica;
- En caso de inhalación, retirarse a un área de aire fresco y solicitar atención médica.

### **7.1.2 EQUIPO DE PROTECCIÓN PERSONAL (EPP)**

Como el riesgo mayor de los PCB es la absorción cutánea, se debe tener especial cuidado al elegir la vestimenta de protección: overoles, botas o cubrezapatos, guantes y protecciones oculares. Los PCB pueden penetrar casi todos los materiales, pero existen algunos, como el caucho natural, que son particularmente permeables a los PCB y, por eso, no sirven como equipo de protección. Los cauchos o elastómeros fluorados a prueba de productos químicos son más adecuados, y los materiales laminados son los que ofrecen la mejor protección contra los PCB.

Ningún material es cien por ciento impermeable a los PCB. Por eso es preciso prever la sustitución periódica de todo el EPP. El proveedor del equipo generalmente proporciona detalles sobre el tiempo que tardan los PCB en permear el equipo protector, información que será útil para calcular, según cada operación, el momento en que los PCB comenzarán a penetrar en el equipo. Este factor se conoce como tiempo de paso; depende de la frecuencia y duración del contacto del equipo protector con los PCB, y puede variar según el tipo de trabajo que se realice. El proveedor deberá proporcionar los tiempos normales de paso para las distintas aplicaciones y decir si es necesario reducir este tiempo para tomar en cuenta otros factores, como la abrasión.

Si se utilizan botas de caucho, éstas deben ser desechadas regularmente, y se debe reforzar la protección de los pies utilizando cubrezapatos desechables que pueden usarse por dentro o fuera de la bota. Para el trabajo en laboratorio, es necesario utilizar batas y guantes desechables adecuados para evitar el contacto con la piel. Si hay riesgo de formación de polvo o humo (generado, por ejemplo, por calentamiento) se recomienda utilizar campanas extractoras de humos. Será necesario tratar todos los equipos de protección posiblemente contaminados como desechos de PCB y eliminarlos siguiendo los procedimientos pertinentes.

### **7.1.3 VENTILACIÓN**

Una ventilación adecuada ayudará a garantizar que no se acumule vapor o aerosol de PCB. En el caso de instalaciones construidas especialmente para estos fines, la ventilación puede ser parte integral del diseño. En los otros 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, los filtros tendrán que ser de dos fases: un filtro de tela o electrostático para eliminar el aerosol y un filtro de carbono activo para eliminar el vapor.

#### 7.1.4 EQUIPO DE PROTECCIÓN RESPIRATORIA (EPR)

Puede resultar necesario el equipo de protección respiratoria en los siguientes casos:

Cuando las áreas de trabajo tienen poca ventilación.

Si se utilizan los congéneres menos clorados y más volátiles de PCB.

Cuando pueden formarse aerosoles, y las temperaturas son anormalmente altas.

Se debe seleccionar el EPR que ofrezca la protección apropiada a los trabajadores. Debe ser equipo oficialmente aprobado. Si los trabajadores utilizan regularmente EPR no desechable en áreas sucias, debe informárseles de que su EPR puede contaminarse con PCB que pueden luego transferirse al rostro. Esta contaminación puede generarse por absorción y transporte de los PCB a través del material de la máscara o, lo que es más probable, por contaminación del interior de la máscara debido a la manipulación y al mal almacenamiento cuando el equipo no se utiliza. Hay que cerciorarse de que los trabajadores estén enterados de estas posibilidades y de que estén informados de cómo reducir estos riesgos limpiando y dando mantenimiento constante a su EPR. Cabe mencionar que actualmente se están diseñando respiradores desechables.



Trabajadores con vestimenta de protección mientras trabajan con un transformador de PCB.

## **7.2 VIGILANCIA AMBIENTAL**

En las áreas de trabajo en las que se manejan PCB es necesario vigilar los niveles de solventes clorados. En la práctica, esos solventes clorados no son en sí los PCB, que son sólo muy ligeramente volátiles a temperatura ambiente. Se trata más bien de otros solventes similares que suelen utilizarse junto con los PCB: los hidrocarburos clorados, que tienen un olor característico. Es preferible que los hidrocarburos clorados sean vigilados de manera automática y constante, colocando una alarma que se active, por ejemplo, cuando se alcancen 20 ppm (partes por millón) de un solvente clorado en la atmósfera del lugar de trabajo.

También se puede utilizar un sistema manual más barato para realizar controles puntuales. Se trata de los tubos de ensayo que cambian de color en presencia de un vapor clorado. Estos dispositivos aspiran muestras de aire en determinados intervalos y cantidades.

Técnicamente es posible medir los PCB en el aire ambiente, pero es un proceso engorroso y tiene que llevarse a cabo en dos etapas: toma de muestras seguida de análisis en un laboratorio que tenga el equipo adecuado.

## **7.3 FUGAS Y DERRAMES**

### **7.3.1 CONTINGENCIAS**

En el caso poco probable de accidente, derrame o fuga durante el transporte, se tomarán de inmediato ciertas medidas para responder a la contingencia. En primer lugar, es preciso evitar que se acerquen al área personas que no sean las autorizadas.

Si se está derramando líquido con PCB de un vehículo o de contenedores defectuosos o derramados, los conductores del vehículo y/o el personal de seguridad ante contingencias deberá tratar de evitar que los líquidos se esparzan. Debe hacerse todo lo posible para impedir que el material derramado llegue a las alcantarillas, corrientes u otras aguas. En cuanto sea posible, deberá notificarse al superior del conductor u otro responsable de las instalaciones. No debe dejarse el vehículo sin vigilancia hasta que el derrame sea limpiado por completo.

Si el operador del vehículo no está habilitado para hacerlo, los servicios de emergencias deberán basarse en los documentos de embarque para identificar el tipo de material peligroso que se transporta. Los documentos de embarque deben estar guardados en el asiento del conductor o en el portadocumentos de la puerta del lado del conductor. Ante cualquier contingencia, una respuesta oportuna y adecuada puede evitar que un pequeño accidente o derrame se convierta en una catástrofe de grandes proporciones.

El transporte de PCB es una de las actividades con más riesgo de derrames o fugas. Los problemas se suscitan sobre todo durante la carga o descarga del vehículo. Las áreas de carga deben estar equipadas con el material adecuado para atender derrames, deben tomarse medidas de prevención, y debe haber materiales de saneamiento y control de derrames, por si son necesarios. Todo movimiento ulterior de los residuos contaminados deberá efectuarse en apego estricto a las disposiciones del Convenio de Basilea sobre movimientos de desechos peligrosos.

### 7.3.2 FUGAS DE TRANSFORMADORES

En caso de derrame de líquidos de PCB de un transformador o condensador, es preciso dar los pasos siguientes:

- 1) Una brigada debe *responder de inmediato* a la notificación de que ha ocurrido un derrame de PCB.
- 2) 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 piel se contamine con PCB.
- 3) Es importantísimo evitar que *los fluidos de PCB alcancen canales de aguas pluviales, cloacas, 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). Asimismo, la brigada debe anticipar y evitar que en el área contaminada fluyan aguas provenientes de sistemas de rociado y/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, utilizando el personal, equipo y material que esté en el lugar o del que se pueda disponer inmediatamente.
- 4) 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 de inmediato, y emprender medidas para *evitar que más material derramado alcance aguas o suelos*.
- 5) 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.
- 6) En la mayoría de los casos se utilizan *materiales para absorber aceite*. 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.
- 7) Una vez que los fluidos derramados hayan sido absorbidos, el material absorbente y los suelos contaminados deben depositarse en los *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.
- 8) Todas las superficies expuestas a los líquidos derramados deberán *descontaminarse con estopas* impregnadas con un solvente eficiente, como el tricloroetano.
- 9) *Todas las estructuras de acero, estantes de madera, bandeja portacables (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. El solvente se utilizará con precaución para evitar la contaminación de otros equipos, vehículos, etc., en el área del derrame.
- 10) *Todos los tipos de estructuras, edificios, vehículos privados, etc.* que puedan estar contaminados deben lavarse con solvente (cuidando que el solvente no dañe el barniz de los vehículos). Deben tomarse todas las medidas necesarias para evitar que el solvente y los PCB ingresen a los sistemas de drenaje o alcantarillado.
- 11) Cuando sea posible, deben lavarse perfectamente con solvente *todos los objetos contaminados, como herramientas, ropa, botas y otros equipos*. De lo contrario, deben depositarse en los barriles de acero preparados especialmente para su eliminación.
- 12) *Todos los barriles* deben estar debidamente identificados y deben almacenarse o colocarse en un vehículo. Los barriles deberán quedar perfectamente sujetos para evitar otros derrames.
- 13) Los *vehículos que transportan los barriles* también deben estar etiquetados según los procedimientos de transporte.
- 14) Los *barriles* deberán llevarse directamente a un área de almacenamiento de PCB autorizada para su posterior embarque al lugar de eliminación.

15) En caso de grandes derrames en áreas densamente pobladas, *el área afectada será atendida permanentemente* hasta que el aceite de PCB derramado y todos los materiales de saneamiento hayan sido retirados del lugar, guardados en barriles, o neutralizados de alguna otra forma.

16) *Si hay contacto de PCB con la piel* deberá utilizarse un detergente sin agua para eliminar el aceite, y el detergente será depositado en un recipiente para tal fin. Si hay contacto con los ojos, hay que enjuagarlos repetidamente con agua y solicitar asistencia especializada.

17) Los *derrames en el agua* requieren particular consideración.

## 8 RECLASIFICACIÓN DE TRANSFORMADORES

Si se ha determinado que las condiciones del transformador no son compatibles con los criterios de una gestión ambientalmente racional (tal como esté prevista en la legislación), es preciso estudiar las diversas opciones existentes para atender el problema. Hay dos razones fundamentales para reclasificar un transformador:

a) Se ha detectado que el transformador tienen un contenido de PCB que rebasa los niveles aceptables según la normatividad local o regional. Sin embargo, el equipo aún se encuentra en buenas condiciones eléctricas y mecánicas que justifican su utilización. Para estos casos, el *rellenado* puede ser una buena opción.

b) Se ha decidido que el transformador ya no cumple con las especificaciones relativas a su uso porque, por ejemplo, su rendimiento eléctrico es deficiente, está en mal estado mecánico, o tiene filtraciones. En estos casos, el transformador debe ser *reemplazado* por una unidad nueva, y debe también ser *eliminado* con métodos autorizados por la legislación pertinente.

Nota: En muchos países se ha observado que hay dos razones por las que un transformador puede contener PCB. La primera es que el transformador fue diseñado y fabricado para utilizarse con un aceite de PCB. Éstos son los casos que hemos visto hasta ahora en esta publicación. Sin embargo, se ha comprobado que muchos transformadores vendidos o etiquetados como transformadores sin PCB en realidad pueden contener PCB. Ello se debe a que muchos transformadores que utilizan aceite convencional se han contaminado indirectamente con PCB. En Europa, la proporción de este tipo de transformadores llega a representar el 45%. La razón es que hace años se utilizaban los mismos equipos para llenar transformadores con aceites de PCB y con otros aceites. Por eso se generó la 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 A del Convenio de Estocolmo. En estos casos el relleno es un método para reducir los niveles de PCB a menos de 0.005%.

## 9 RELLENADO DE TRANSFORMADORES

Rellenar un transformador significa vaciar el fluido dieléctrico del equipo y reemplazarlo con un nuevo aceite sin PCB. Como ya se ha mencionado, esta operación puede ser bastante larga porque el interior de un transformador es complejo. El hecho de que el transformador suele contener componentes de madera y quizás de papel representa un problema más serio. Estos materiales son porosos y conservan el aceite contaminado. Por eso resulta imposible eliminar todo el aceite de PCB en relativamente poco tiempo. El resultado es que al verter un aceite nuevo y limpio en el transformador, los PCB residuales salen filtrándose por los componentes porosos. Durante unas semanas o más, el nivel de PCB en el nuevo aceite puede poco a poco volver a elevarse, hasta quizás rebasar los niveles permitidos.

El tiempo necesario para que concluya la acción de filtrado y, por consiguiente, para que se detenga la liberación de PCB en el aceite del transformador, depende del tamaño y la estructura del equipo. En algunos casos puede que sea necesario realizar varias operaciones de relleno a lo largo de varios meses.

A veces se puede rellenar un transformador mientras se encuentra en carga. Esto suele hacerse cuando el equipo es inaccesible, como por ejemplo en plataformas marinas.

La decisión sobre la viabilidad para realizar una operación de relleno tomará en consideración los factores locales. Se trata fundamentalmente del costo de la operación de relleno, incluidos los 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. 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 tendrán que haber eliminado el uso de PCB en equipos como transformadores y condensadores. También se obligan a realizar esfuerzos decididos para lograr una gestión de desechos ambientalmente racional respecto a los líquidos con PCB y equipos contaminados con PCB (contenido de PCB superior al 0.005%) tan pronto como sea posible y a más tardar en 2028. Ver el extracto del Convenio en el Anexo A de esta publicación.

### 9.1 ASPECTOS QUE HAY QUE CONSIDERAR AL TOMAR UNA DECISIÓN SOBRE RELLENADO

Se estudiará un gran número de factores antes de decidir efectuar una operación de relleno:

- 1) *¿Qué edad tiene el equipo?* En general, los transformadores tienen una vida útil de aproximadamente 30 años. ¿El tiempo de vida útil restante justifica el relleno? (También deberán tomarse en cuenta los objetivos de eliminación gradual estipulados en el Convenio de Estocolmo.)
- 2) *¿En qué condiciones se encuentra el transformador?* ¿El rendimiento eléctrico del transformador aún es satisfactorio? ¿Hay indicios de filtración, oxidación? ¿En qué condiciones se encuentran los sellos?, etc.
- 3) *¿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?
- 4) *¿Cuál será el impacto en los usuarios finales si se detiene la operación?*
- 5) *¿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 visible en las personas o poblaciones que viven cerca del sitio del transformador.
- 6) *¿Se dispone de la tecnología para la operación de relleno?* ¿Se encuentra cerca del transformador o habrá que transportar la unidad a una planta de relleno?
- 7) *¿Hay otros fluidos que se puedan usar, tomando en cuenta las características del transformador?* Los aceites eléctricos no se pueden usar siempre indistintamente. Quizás el transformador ha sido concebido para que se

utilice con determinado aceite, y entonces debe elegirse un aceite sin PCB similar. Es posible que, de no ser así, tengan que hacerse adaptaciones al transformador.

8) Tomando en cuenta la retrodifusión de PCB de los componentes porosos del transformador, ¿se reducirá realmente el contenido de PCB del aceite gracias al rellenado? Como se explicó anteriormente, la eliminación total de PCB del interior de un transformador puede ser un proceso largo. La cuestión del tiempo puede ser un factor importante que tendrá que tomarse en consideración.

9) *¿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 se encuentre cerca del transformador. De no ser así, el aceite deberá ser transportado hasta el lugar de eliminación. El transporte de este material peligroso deberá realizarse siguiendo las disposiciones del Convenio de Basilea sobre movimientos de desechos peligrosos.

10) *¿Cómo se eliminarán los otros desechos generados por la operación de rellenado (ropa, aserrín, trapos, etc.)?* Aunque no representen grandes cantidades, estos desechos peligrosos pueden representar un verdadero problema de eliminación. Las tecnologías descritas en las publicaciones del PNUMA antes citadas, que se aplican a casos bien definidos (equipos, aceites), no sirven para la descontaminación o eliminación de este tipo de productos. Quizás la única solución existente sea la incineración. También en este caso, si se pretende transportarlos a un incinerador de alta temperatura se deben respetar las disposiciones estipuladas en el Convenio de Basilea.

11) *¿Cuál será el costo total, tomando en cuenta todos los factores antes mencionados?* Por supuesto, deben calcularse los gastos generados por la operación de rellenado, cálculo que se realizará en función de las condiciones locales. Sin embargo, lo importante es conocer *todos* los costos que implica el rellenado.

## 9.2 CARACTERÍSTICAS NECESARIAS DE LOS ACEITES SUSTITUTOS

Los aceites sustitutos de PCB se utilizan en dos diferentes contextos:

a) *Para llenar transformadores nuevos* (en este caso el transformador puede estar diseñado tomando en cuenta las características principales del aceite: gravedad específica, viscosidad y coeficiente de expansión térmica en particular).

b) *Para rellenar transformadores viejos* (en este caso, al seleccionar el aceite debe tenerse en cuenta el diseño del transformador para asegurarse de que puede operar con las propiedades físicas del nuevo aceite, ya mencionadas).

La presente publicación se refiere el segundo caso, cuando se conocen las características del transformador, y hay que considerar las características del aceite sustituto para que se ajuste a estos parámetros. Por lo tanto, la elección del aceite sustituto para rellenado se hará tomando en cuenta los siguientes parámetros:

1) *Características eléctricas.* En principio éstas no representan ningún problema. La constante dieléctrica, punto de ruptura, etc., se eligen en función de las condiciones de uso del transformador.

2) *Propiedades de resistencia al fuego.* Hay que recordar que los aceites de PCB fueron introducidos hace muchos años, cuando uno de los principales temores en instalaciones eléctricas era el riesgo de incendios. Se difundió el uso de los PCB por considerárseles primordialmente resistentes al fuego, y con excelentes propiedades eléctricas. Sin embargo, se utilizaron en muchas aplicaciones en las que la resistencia al fuego no era un factor imperante, así que, en cierta forma, los aceites estaban “sobrecalificados” para los usos a los que iban destinados.

3) *Densidad.* La densidad de un aceite sustituto puede representar un problema si es mucho mayor a la del aceite original. No obstante, los PCB tienen una gravedad específica alta, y por eso el cambio a un aceite con densidad menor no debería ocasionar problemas mecánicos en el transformador.

4) *Coefficiente de expansión térmica*. Es una propiedad muy importante. Aparte de que los transformadores deben trabajar en diferentes condiciones climáticas, la operación misma genera pérdidas de energía en forma de calor. Por lo tanto, pueden generarse notables cambios de temperatura. Por eso es fundamental que el transformador esté diseñado para aceptar cambios de volumen debidos a las variaciones de temperatura.

5) *Viscosidad*. Un transformador está diseñado, en primer lugar, para permitir cambios en el campo eléctrico con la menor pérdida energética y, en segundo lugar, 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, que son una 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 también es importante.

6) *Punto de inflamación e inflamabilidad*. Si bien los puntos de inflamación y de ignición de los aceites sustitutos no serán los de los aceites de PCB, deben ser lo más bajos posible.

7) *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. Por poner un ejemplo extremo diremos que, en general, al arder, un aceite hidrocarburo formará subproductos inocuos, como agua, dióxido de carbono, etc., si se quema en condiciones ideales (aunque se formará un humo negro cuando no hay suficiente oxígeno). Por otro lado, un aceite de silicón producirá sílice y, con ello, un denso humo blanco. Cabe señalar que los PCB son resistentes al fuego por la presencia de cloro, elemento que impide la combustión y que suele utilizarse como agente retardante de fuego.

8) *Consideraciones ambientales*. Desde luego, un aceite elegido para sustituir el que contiene PCB no debe presentar las mismas desventajas que éste para el medio ambiente. En otras palabras, no debe ser tóxico. La principal característica que debe tener es la biodegradabilidad: en caso de derrame, el aceite debe poder 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.

### 9.3 OTRAS CONSIDERACIONES

Los aceites sustitutos que actualmente se encuentran en el mercado son, desde luego, adecuados para su uso en equipos eléctricos. Sin embargo, podrían no ser adecuados para un uso en particular, por ejemplo, para un transformador que se utilice en determinadas condiciones. Ello se debe a la gran variedad de diseños de transformadores, y a que estos diseños requieren un aceite con las características adecuadas.

Un transformador puede estar sellado herméticamente, o bien 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 consiguiente, de volumen, en función de la temperatura.

Si se trata de un transformador que puede absorber los cambios de temperatura, en cuyo caso lleva una cámara de expansión colocada en el exterior (encima), 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.

## **9.4 MEDIDAS DE CONTROL PARA EL RELLENADO**

### **9.4.1 MANIPULACIÓN DE TRANSFORMADORES CON PCB**

Es conveniente vaciar los transformadores en el sitio mismo antes de llevarlos a la instalación de relleno especializada. El líquido que contiene PCB tiene que ser transferido a barriles de acero de características adecuadas para el transporte al lugar de eliminación. Se recomienda tener a la mano material absorbente para estar preparado en caso de derrame. Para reducir la posibilidad de exposición al líquido, es necesario evitar toda operación manual como la decantación. Es mejor efectuar un bombeo mecánico de los líquidos. Por supuesto, será necesario usar vestimenta de protección personal (EPP) durante estas operaciones para evitar la absorción por la piel. Durante el vaciado habrá que prevenir salpicaduras y derrames. También habrá que tomar precauciones para evitar y prevenir que se esparzan las fugas y que haya desbordamientos. Si hay poca ventilación será necesario utilizar equipo de protección respiratoria.

### **9.4.2 ACONDICIONAMIENTO DE LAS INSTALACIONES PARA LA MANIPULACIÓN Y DESMANTELAMIENTO DE EQUIPOS CON PCB**

Se recomienda que la instalación central se divida 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 impermeables lisas. Los transformadores y condensadores sólo se deberán desmantelar en el área sucia. Este área sucia debería ser un lugar aparte, de preferencia un cuarto separado. Las mesas de trabajo del área sucia deben cubrirse con un material liso e impermeable y tener bordes que detengan los derrames. Los pisos del área sucia deben construirse o cubrirse con un material liso e impermeable, y tener rebordes para retener los derrames. El área así cercada no deberá estar conectada a ningún sistema de drenaje público. Es preciso que la abertura al área sucia sea lo bastante grande para poder ingresar por ella los transformadores y condensadores. Para evitar una posible recontaminación, la abertura debe estar protegida con tiras de plástico (u otro sistema apropiado).

Con el tiempo, es probable que el suelo del área sucia se contamine con PCB, sobre todo si el hormigón se cuartea o se daña. Según la cantidad de trabajo que se realiza, quizás haya que reemplazar el piso de vez en cuando, o en el momento en que deje de trabajarse con PCB en el área. Puede prolongarse la vida del piso utilizando recubrimientos de madera o de fibra al desmantelar transformadores grandes. Estos recubrimientos, además de proteger físicamente el piso, también absorberán pequeños derrames o gotas de PCB. El piso y los recubrimientos contaminados necesitarán ser tratados como desechos de PCB. El acceso del personal a las superficies de trabajo solo se hará por el área para cambiarse. Se recomienda que el área de desmantelamiento comprenda los siguientes elementos:

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

Podría necesitarse un área separada para las pausas a mitad de turno y otros recesos. Esta área sería de acceso restringido; las personas que porten EPP contaminado no podrán entrar. En el área de regaderas/sanitarios deben colocarse gavetas para guardar la ropa limpia.

### **9.4.3 PRECAUCIONES QUE DEBEN TOMARSE AL CORTAR EQUIPOS QUE CONTIENEN PCB**

Al desmantelar *transformadores* sellados (para acceder a la parte central) puede generarse vapor, humo o aerosoles de PCB, y hay que tomar ciertas medidas para reducir esta eventualidad. Por ejemplo, a medida que la temperatura aumenta, también aumentará la presión de vapor de los PCB y, por ende, su capacidad para formar

vapor. Este efecto puede ser muy pronunciado a temperaturas más altas. La presión de vapor del Aroclor 1260 aumenta diez veces entre 300°C y 600°C y la del Aroclor 1248 aumenta cien veces entre 0°C y 500°C. También hay indicios de que en determinadas condiciones las temperaturas entre 200°C y 450°C pueden producir una formación lenta de furanos, y que a temperaturas más elevadas, entre 450°C y 700°C, se puede generar dibenzofurano. Por esta razón, resulta evidente que, cuando las condiciones lo permitan, deberá evitarse 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.

Para perforar y vaciar los *condensadores* (si contienen líquidos) hay que procurar reducir la generación de aerosoles o vapor. Si se trata de un proceso automático, se podrá confirmar mediante pruebas que si hay aerosoles o vapores estén confinados a áreas inmediatas en las que es improbable que llegue nadie. Si el proceso se realiza manualmente, entonces puede que haga falta un sistema de ventilación local.

La mejor opción es el corte mecánico del equipo, pero hay que recordar que puede generar calor localizado o provocar la formación de aerosoles. Estos efectos son más pronunciados cuando las velocidades de corte son altas. Por eso se recomienda que cuando se recurra al corte mecánico, las velocidades de corte sean lo más bajas posible, sin que por ello se reste efectividad al proceso.

#### **9.4.4 VACIADO DE TRANSFORMADORES CON PCB**

Hay que subrayar que, aun cuando se actúe con mucho cuidado para sacar todo el aceite original posible del tanque del transformador, y aunque durante un periodo 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 de distribución, se ha observado que suele haber 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 ciclos de carga. Por eso, si se ha observado que el aceite original está contaminado con un índice de 500 ppm, el rellenado con aceite nuevo lo estabilizará a 50 ppm de PCB al cabo de 90 días.

#### **9.4.5 PRECAUCIONES EN EL LAVADO DE EQUIPOS PARA ELIMINAR LOS PCB**

Si los transformadores han sido enjuagados completamente con solventes, hay que considerar la posibilidad de exposición a esos solventes, y se deberán tomar las medidas pertinentes. La exposición puede reducirse aumentando la ventilación en el área de trabajo o estableciendo un sistema de trabajo que no haga tan necesaria la presencia de un operador durante el enjuague. El uso de EPP deberá considerarse como último recurso, sólo como protección contra riesgos residuales.

#### **9.4.6 MANIPULACIÓN DE CONDENSADORES CON PCB**

La mejor forma de retirar los condensadores del sitio de origen consiste en sacarlos completos y colocarlos en contenedores metálicos que pueden sellarse hasta que sean llevados a un sitio de almacenamiento concesionado o a una planta de eliminación autorizada. Las unidades que tengan filtraciones requieren un manejo especializado. Se recomienda que todas las filtraciones sean absorbidas con aserrín, arena o tierra y que las unidades y el material absorbente contaminado sean almacenados en contenedores metálicos para su eliminación. Como los condensadores pueden contener congéneres más volátiles, los grandes derrames o los derrames en espacios confinados podrían requerir el uso de protección respiratoria así como la adopción de medidas para proteger la piel.

## 10 ALTERNATIVAS DE FLUIDOS PARA EL RELLENADO

Existen muchos aceites dieléctricos que pueden emplearse para rellenar transformadores. Hay que señalar que la elección del producto dependerá no sólo de las características del aceite, sino también de prácticas locales y regionales. Por ejemplo, los aceites de silicona se utilizan en algunos países, pero en otros no, aun cuando todos estos países se rigen por la misma legislación ambiental e industrial. A continuación damos ejemplos de los diferentes tipos de líquidos sustitutos que podrían emplearse:

### 10.1 ACEITES MINERALES

En realidad son aceites “convencionales” que pueden ser, y han sido, utilizados en transformadores. La principal diferencia con los aceites de PCB que se utilizaron después es, desde luego, su mayor inflamabilidad. Sin embargo, habiéndose analizado con más detalle los riesgos de incendio en ciertas aplicaciones de transformadores, se podría justificar el uso de este tipo de fluidos de mayor inflamabilidad.

Algunos transformadores, debido a la forma en que operan y al lugar en el que se encuentran, pueden tolerar un riesgo mayor de incendio, por ejemplo en exteriores. Por consiguiente, los aceites convencionales de hidrocarburo pueden considerarse como sustitutos de los aceites de PCB en casos debidamente estudiados. Es cuestión de sopesar las ventajas y desventajas de unos y otros desde el punto de vista ambiental, económico, jurídico y de riesgo de incendio.

Las grandes empresas aceiteras, al igual que algunas empresas especializadas más pequeñas, ofrecen muchos de estos aceites convencionales.

### 10.2 FLUIDOS DE SILICONA

Estos fluidos no contienen cloro; son compuestos organosilícicos. Se utilizan en los nuevos transformadores que se fabrican en Europa y los Estados Unidos. Sin embargo, sus propiedades determinan la forma en que deben usarse en caso de rellenado:

- 1) Los fluidos de silicona son particularmente sensibles al agua y es importante tenerlo en cuenta al utilizarlos. Su contenido máximo de agua es de 50 ppm.
- 2) Debido a esta sensibilidad al agua, el transformador debe estar completamente sellado.
- 3) El menor rendimiento eléctrico significa que se debe aplicar al transformador un factor de reducción de la potencia de aproximadamente 7% después de su conversión. En otras palabras, será necesario que el transformador opere a menor potencia.
- 4) El coeficiente de expansión térmica es mayor que el del aceite original, con PCB, y ello exige modificaciones al tanque para permitir que el aceite del transformador se expanda sin que dañe su estructura.
- 5) Es más difícil eliminar un aceite de silicona contaminado con PCB que el aceite de PCB. Esto se debe a que durante la incineración se forma sílice (óxido de silicio en polvo) alrededor de los combustores, lo que ocasiona problemas en el lavado de gas.
- 6) Puede ser necesario cambiar los conmutadores de tomas montados en el transformador. Si se utilizan en transformadores nuevos, el diseño del transformador puede que prevea estas propiedades diferentes de los aceites con PCB. En cambio, si se utilizan como sustitutos de aceites de PCB en un transformador usado, será necesario modificar el transformador para que se adapte a estas propiedades distintas, sobre todo en lo referente al coeficiente de expansión térmica. Ello significa que resulta más difícil y, por lo tanto, más caro, utilizar los fluidos de silicona como sustitutos.

Hay que mencionar que por ningún motivo se deben combinar aceites normales para transformador con aceites de silicona. Estos dos fluidos no son compatibles.

### **10.3 ACEITES DE ÉSTER SINTÉTICO**

Son sustitutos reconocidos y con buenas propiedades. Estos fluidos tienen ventajas técnicas notables con respecto a muchos otros productos, a saber:

- no es necesario aplicar un factor de reducción de potencia después de la conversión;
- tienen buenas propiedades eléctricas;
- permiten renovar los transformadores con aceite y clasificarlos como menos inflamables.

La desventaja de los aceites de éster sintético es que son más costosos.

Se han propuesto diversos otros aceites, entre ellos algunos hidrocarburos clorados que, aunque no son PCB, contienen cloro y por eso se utilizan cada vez menos. También hay aceites naturales producidos a partir de fuentes de biomasa.

En el Cuadro 1 se presentan algunas propiedades importantes de estos tipos de aceites sustitutos. El Cuadro 2 presenta las especificaciones de los aceites sustitutos determinadas por las tres comisiones de normas (se observarán ligeras variaciones entre ellos.)

En el Anexo B se presenta un conjunto de fichas técnicas de algunos aceites comerciales sustitutos de PCB en el mercado. Desde luego, la selección no es exhaustiva, y habrá otros productos en el mercado. Con todo, las fichas muestran que las propiedades de los aceites sustitutos pueden variar considerablemente, y que habrá que elegir en función de las características operativas del transformador por rellenar.

**Cuadro 1: Propiedades principales de los aceites sustitutos**

	Aceite mineral	Aceite de silicona	Hidrocarburo con peso molecular elevado	Éster sintético	Éster natural
Ruptura dieléctrica (Kv)	45	40	52	43	56
Viscosidad (cSt)					
40° C	9.2	39	113	29	33
100° C	2.3	17	12	5.6	8
Punto de inflamación (°C)	147	300	276	270	324
Punto de ignición (°C)	165	343	312	306	360
Calor específico	0.39	0.36	0.45	0.45	0.50
Punto de fluidez (°C)	- 50	- 55	- 21	- 50	- 21
Gravedad específica	0.87	0.96	0.87	0.97	0.92
Demanda biológica de oxígeno (ppm)	6	0	6	24	250

**Cuadro 2: Especificaciones de los aceites sustitutos establecidas por tres comisiones de normas**

	Características CEI 296 (Clase II)	ASTM D 3487	BS 148/84
Densidad a 20°C	<0.895	0.91	<0.895
Viscosidad a 40°C mm <sup>2</sup> /s	<11.0	<12.0	<11.0
Viscosidad a 30°C mm <sup>2</sup> /s	<1800		<1800
Punto de fluidez (°C)	<-45	<-40	<-45
Punto de inflamación PM °C	>130		>130
Punto de inflamación COC °C		>145	
Valor de neutralización Mg KOH/g	<0.03	<0.03	<0.03

PNUMA PRODUCTOS QUÍMICOS – TRANSFORMADORES Y CONDENSADORES CON PCB:  
DESDE LA GESTIÓN HASTA LA RECLASIFICACIÓN Y ELIMINACIÓN

Contenido de antioxidante en aceites no inhibidos %	no detectable	0.08	no detectable
Contenido de humedad %	<0.003 % para a granel <0.004 % para barriles	<0.0035 %	<0.003 % para a granel <0.004 % para barriles
Tensión interfacial M/m	>40	□40	-
Tensión de ruptura en kV producidos	>30	-	>30
KV tratados	□50	□70	-
Factor de disipación dieléctrica a 90°C	0.005	0.003 (a 100°C)	0.005
Estabilidad contra la oxidación	requisito no comparable		

\* La comparación se ha efectuado entre las siguientes normas nacionales o internacionales:

- CEI: Comisión Electrotécnica Internacional;
- ASTM: American Society for Testing Materials ;
- BS: British Standard.

## 11 ELIMINACIÓN Y REEMPLAZO DE TRANSFORMADORES CON PCB

Aunque sean temas fuera del ámbito de esta publicación, cabe hacer algunos comentarios sobre la eliminación y reemplazo de transformadores con PCB. En la publicación del PNUMA Encuesta sobre tecnologías actualmente disponibles para la destrucción de PCB sin incineración, citada anteriormente, encontrará más detalles sobre las tecnologías existentes para la eliminación de transformadores.

Hay que recordar que el transporte de desechos peligrosos que contienen PCB es materia del Convenio de Basilea. Se recomienda consultar este convenio si se requiere más orientación sobre el embarque de este tipo de desechos.

### 11.1 ELIMINACIÓN DE TRANSFORMADORES

Si se detecta la presencia de PCB en un transformador, lo que obliga a reclasificarlo como “transformador con PCB”, y si además se ha descartado la posibilidad de rellenarlo, el problema que habrá que resolver será cómo eliminar este equipo.

El principal problema relacionado con la eliminación de un transformador es saber qué tecnologías existen para ello. Por ejemplo, en Europa y los Estados Unidos, habiendo diversidad de métodos, el problema es relativamente sencillo. En estos países la incineración es el método más utilizado, pero se combina con cierto tipo de pretratamiento que permite la recuperación de algunos componentes metálicos o casi todos. La incineración es uno de los métodos más utilizados pero puede ser más costoso que otros menos drásticos. Se puede por ejemplo desguzar el transformador, separar sus partes por metales similares, descontaminarlos y reciclarlos como corresponda.

El aceite del transformador es incinerado o tratado con un solvente para extraer los PCB. Este concentrado de PCB se envía a una empresa de productos químicos para su conversión a ácido hidroclicórico. Ante la preferencia por la incineración, en los países desarrollados casi no se recurre a la descontaminación del aceite del transformador con métodos químicos. Es fácil transportar los aceites en barriles, y su incineración es más fácil y, por consiguiente, más barata que la de equipos como transformadores y condensadores.

En países en los que el acceso a la incineración no sea fácil, se recurrirá a una de las tecnologías descritas en la publicación del PNUMA citada al inicio del capítulo.

### 11.2 REEMPLAZO DE TRANSFORMADORES

Cabe comentar que actualmente los nuevos transformadores pueden ser de diseño convencional, y aún así, utilizar un fluido dieléctrico sin PCB, o bien tener un diseño completamente nuevo.

En el primer caso, al igual que sucede con el rellenado, el transformador depende de un fluido que tenga las propiedades dieléctricas adecuadas y que también actúe como agente enfriador, circulando entre las aletas de enfriamiento. En el capítulo 10 se presentan ejemplos de aceites dieléctricos sustitutos de este tipo.

En el segundo caso, la nueva tecnología implica que los transformadores pueden ser, en el interior, bastante diferentes de los transformadores convencionales. Por lo regular estos transformadores son secos, es decir que no contienen ningún dieléctrico líquido:

Los *transformadores encapsulados en resina* tienen un núcleo que es una resina solidificada alrededor del bobinado eléctrico. En este caso, lo esencial es evitar cambios de temperatura que generen tensiones y, por consiguiente, fisuras. Actualmente, al parecer, este problema se ha resuelto. Por supuesto, la resina debe ser resistente al fuego; debe contener los aditivos no clorados adecuados para reducir los riesgos de incendio.

PNUMA PRODUCTOS QUÍMICOS – TRANSFORMADORES Y CONDENSADORES CON PCB:  
DESDE LA GESTIÓN HASTA LA RECLASIFICACIÓN Y ELIMINACIÓN

Se han fabricado *transformadores con gas*, que contienen un gas como el hexafluoruro de azufre bajo presión que actúa como el fluido dieléctrico y vector de enfriamiento. No corresponde aquí dar información detallada sobre transformadores sustitutos. Esta información pueden proporcionarla los proveedores de estos equipos en cada región o país.

## 12 FUENTES DE INFORMACIÓN ADICIONAL

El objetivo de esta publicación es presentar un panorama general de los problemas relacionados con la gestión de equipo eléctrico que contiene PCB. En otras fuentes, sobre todo en sitios de Internet, encontrará información sobre los diferentes aspectos de esa gestión. A continuación se ofrecen algunas fuentes de Internet, tanto de asociaciones profesionales relacionadas con equipos eléctricos como de empresas proveedoras de productos y servicios. La lista no es exhaustiva y no refleja ninguna preferencia por las organizaciones o empresas citadas.

### 12.1 MANTENIMIENTO GENERAL

En muchos sitios en Internet encontrará información sobre mantenimiento de transformadores. He aquí los citados en esta publicación:

- <http://www.atd.siemens.de>
- <http://www.electricityforum.com>
- <http://www.swgr.com>
- <http://www.members.aol.com>
- <http://www.winder.uk>
- <http://www.sunohio.com>
- <http://www.abb.com>
- <http://cix.co.uk>

### 12.2 RELLENADO

Información en los sitios antes mencionados, y también en los siguientes:

- <http://www.er.doe.gov>
- <http://www.cgli.com>
- <http://dynex.com>
- <http://cogentregs.com>
- <http://www.nttworldwide.com>
- <http://www.mcdean.com>

### 12.3 PUBLICACIONES

Hay muchos libros sobre el tema. He aquí una selección:

- Electrical power transformers and power equipment, Fairmount Press ([www.pearsonptg.com](http://www.pearsonptg.com))

- Transformers and motors, G. Schultz
- Transformer oil handbook, de Nynas (ver fichas)
- En el sitio: <http://www.usbr.gov/power/dat> hay capítulos de un libro sobre transformadores, con un apartado sobre mantenimiento.
- En la página <http://www.processassociates.com> encontrará una lista de libros relacionados con el tema

## 12.4 INFORMACIÓN GENERAL SOBRE LEGISLACIÓN Y PCB

<http://www.defra.gov.uk>

Panorama de la legislación del Reino Unido y documentos consultables

<http://www.epa.gov>

Normativa de Estados Unidos relativa a la reclasificación de transformadores con PCB

<http://dla.mil>

Panorama de la normativa de la *TSCA* aplicada a los PCB.

<http://www.rcctt-lac.org.uy>

Directrices sobre PCB y desechos similares

<http://www.ec.gc.ca>

Legislación canadiense relativa al tema

Los sitios de Internet de PNUMA Productos Químicos y del Convenio de Basilea contienen información detallada sobre todos los aspectos de los PCB:

<http://www.chem.unep.ch>

Además, PNUMA Productos Químicos ha creado un CD con información sobre todas sus actividades. Puede solicitarlo por correo electrónico, a la siguiente dirección: [chemicals@unep.ch](mailto:chemicals@unep.ch)

<http://www.basel.int>

El apartado “publicaciones” ofrece acceso a información sobre todos los aspectos de la gestión, transporte y eliminación de desechos peligrosos.

## **ANEXO A : EXTRACTO DEL CONVENIO DE ESTOCOLMO RELATIVO A LOS PCB**

Véase también, por ejemplo, Artículos 3, 5 y 6, y el Anexo C del Convenio. Si desea el texto completo e información más detallada consulte la página del Convenio en Internet: [www.pops.int](http://www.pops.int)

### ANEXO A DEL CONVENIO DE ESTOCOLMO

#### **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:

- 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;
- Eliminación del uso en equipos situados en zonas donde se produzcan o elaboren de alimentos para seres humanos o para animales;
- 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.

## **ANEXO B : EJEMPLOS DE ACEITES SUSTITUTOS DE PCB**

Las siguientes fichas han sido elaboradas con información obtenida de varios fabricantes de aceites para transformador. No es una lista exhaustiva, pero presenta las propiedades de los diversos aceites sin PCB que existen en el mercado. Los datos muestran que las propiedades del aceite pueden variar considerablemente entre productos, y esto permite elegir el aceite adecuado para rellenado en función del diseño y las características operativas del transformador, como ya se ha explicado.

Aunque hemos hecho todo lo posible para obtener información representativa sobre aceites sustitutos de PCB, PNUMA Productos Químicos se deslinda de toda responsabilidad ante cualquier error u omisión en los datos presentados. Tampoco avala ni certifica ninguno de los productos y procedimientos citados en el documento. PNUMA Productos Químicos tiene la intención de actualizar esta información en ediciones ulteriores de esta publicación y, por eso, invita a las empresas a proporcionar más información útil sobre este tema.

PNUMA PRODUCTOS QUÍMICOS – TRANSFORMADORES Y CONDENSADORES CON PCB:  
DESDE LA GESTIÓN HASTA LA RECLASIFICACIÓN Y ELIMINACIÓN

Empresa	<b>ABB Power T &amp; D Co. Inc</b>	
	Raleigh North Carolina 27502 Estados Unidos	
Nombre del producto	BIOTEMP®	
Familia química	Aceite oleico de origen vegetal	
Propiedades generales		
	Método de análisis (todos ASTM)	BIOTEMP®
Estado fisico		Líquido
Color	D1500	0.5
Gravedad específica a 15°C		0.91
Punto de inflamación °C	D92	300
Punto de ignición °C	D92	320
Punto de fluidez °C	D97	-15 a -25
Viscosidad, cP		
0°C	D445	300
40°C	D445	45
100°C	D445	10
Biodegradabilidad		97%

Propiedades eléctricas		
Voltaje de ruptura dieléctrica kV a 60 Hz  a) electrodo de disco  b) electrodo según norma VDE	D877  D1816	45  74
Factor de disipación (punto de potencia) a 60 Hz, %  25°C  100°C	D924  D924	0.025  1.0
Propiedades químicas		
Azufre corrosivo	D1275	no corrosivo
Índice de neutralización mg KOH/g	D794	0.06
Tendencia de gaseado	D2300b	1μlitro/min

PNUMA PRODUCTOS QUÍMICOS – TRANSFORMADORES Y CONDENSADORES CON PCB:  
DESDE LA GESTIÓN HASTA LA RECLASIFICACIÓN Y ELIMINACIÓN

Empresa		<b>Agip Petroli</b>	
		via Laurentina, 449 00144 Roma Italia	
Nombre del producto		Agip ITE 320 y 360	
Familia química		Aceite mineral	
Propiedades generales			
	Método de análisis	AGIP ITE	AGIP ITE
	CEI	320-320L	360-360L
Estado físico		líquido	líquido
Punto de anilina °C		66	78
Densidad a 20°C, kg/l	ASTM D 1298	0.880	0.890
Punto de inflamación °C	ASTM D 92	145	152
Punto de ignición °C	ASTM D 92	179	180
Punto de fluidez °C	ASTM D 97	- 48	- 33
Viscosidad cinemática mm <sup>2</sup> /s			
- 30 °C	ASTM D 445	1220	
- 15 °C	ASTM D 445		254
40 °C	ASTM D 445	9.3	14.03
100 °C	ASTM D 445	2.67	3.32
Tensión interfacial, dinas-cm Biodegradabilidad	ASTM D 971 OECD 301 B	45.5 6% después de 28 días	47.3

Propiedades eléctricas			
Voltaje de ruptura dieléctrica kV a 50 Hz	CEI 156	60	60
Factor de disipación (de potencia) a 90°C, 50 Hz, % (después de tratamiento CEI 296)	CEI 247	0.001	0.001
Propiedades químicas			
Azufre corrosivo	ASTM D 1275	no corrosivo	
Neutralización (N° ácido) mg KOH/g	CEI 296		
Estabilidad ante oxidación	CEI 74	0.1	0.1
Lodo % en peso		0.02	0.02
Tiempo de inducción, hrs.		12.4	12.4
Inhibidor de la oxidación		ninguno	ninguno
Agua, máx. ppm		30	30

PNUMA PRODUCTOS QUÍMICOS – TRANSFORMADORES Y CONDENSADORES CON PCB:  
DESDE LA GESTIÓN HASTA LA RECLASIFICACIÓN Y ELIMINACIÓN

Empresa	<b>Dow Corning</b>	
	Midland Michigan Estados Unidos	
Nombre del producto	561®Transformer Fluid	
Familia química	Polímero a base de polidimetil siloxano	
Propiedades generales		
	Método de análisis	561®Transformer Fluid
Gravedad específica a 25°C	ASTM 1298	0.957 - 0.964
Punto de inflamación °C	ASTM D 92	268
Punto de ignición °C	ASTM D 92	371
Punto de fluidez °C	ASTM D 97	- 50
Viscosidad	ASTM D 445; D2161	
0°C		81-92
25°C		47.5
40° C		35-39
100°C		15-17
Tensión interfacial, dinas-cm	ASTM D 971	20.8
Contenido de humedad	ASTM D 1533	50 máx.
Calor específico cal/g/°C 25°C	ASTM D 2766	0.360

Coefficiente de expansión cc/cc/°C	ASTM D 1903	0.00104
Conductividad térmica cal/(sec.cm <sup>2</sup> .°C)/cm	ASTM D 2717	0.00036
Propiedades eléctricas		
Resistencia dieléctrica 25°C kV a 60 Hz	ASTM 877	35
Factor de disipación 25°C 100°C	ASTM D 924	0.0001 0.0015
Constante dieléctrica, 25°C	ASTM D 924	2.7
Resistividad de volumen ]-cm 25°	C ASTM D 1169	1 X 10 <sup>14</sup>
Principales productos de combustión, además de productos sólidos:	Hidrógeno, agua, CO, CO <sub>2</sub> , CH <sub>n</sub> SiO <sub>2</sub> , C	

PNUMA PRODUCTOS QUÍMICOS – TRANSFORMADORES Y CONDENSADORES CON PCB:  
DESDE LA GESTIÓN HASTA LA RECLASIFICACIÓN Y ELIMINACIÓN

Empresa	<b>Ergon Inc.</b>	
	Vicksburg Massachusetts 39181 Estados Unidos	
Nombre del producto	HYVOLT II	
Familia química	Destilado de nafténico ligero hidrotratado	
Propiedades generales		
	Método de análisis (todos según la ASTM)	HYVOLT II
Aspecto		claro y brillante
Color	D 1500	0.5 máx.
Gravedad específica a 25°C	D 4052	0.889
Punto de inflamación °C	D 92	149
Punto de anilina °C	D 611	70.4
Punto de fluidez °C	D 97	- 55
Viscosidad, cSt		
40°C	D 445	9.8
100°C	D 445	2.4

Propiedades eléctricas		
Ruptura dieléctrica kV a 60 Hz	D 877	40
Factor de potencia %, 25 °C	D 924	0.005
100 °C	D 924	0.084
Propiedades químicas		
Azufre corrosivo	D 1275	no corrosivo
Tensión interfacial 25 °C, dinas/cm	D 971	51
Índice de neutralización mg KOH/g	D 974	< 0.01
Contenido de humedad Karl Fisher, ppm	D 1533	14
Estabilidad ante la oxidación 72 hrs. % de lodo por masa Nº ácido KOH mg/g 164 hrs % de lodo por masa Nº ácido KOH mg/g	D 2440	0.1 máx. 0.3 máx. 0.2 máx. 0.4 máx.

PNUMA PRODUCTOS QUÍMICOS – TRANSFORMADORES Y CONDENSADORES CON PCB:  
DESDE LA GESTIÓN HASTA LA RECLASIFICACIÓN Y ELIMINACIÓN

Empresa	<b>Lubricants USA Fina</b>	
	Plano Texas 75075 Estados Unidos	
Nombre del producto	DIEKAN 410 (otros grados disponibles)	
Familia química	aceite mineral nafténico inhibido	
Propiedades generales		
	Método de análisis (todos ASTM)	DIEKAN 410
Estado físico		Líquido
Color	D1500	0.5
Gravedad específica	D 1298	0.8959
Punto de inflamación °C	D92	300
Punto de ignición °C	D92	3149
Punto de fluidez °C	D97	- 62
Viscosidad, cSt		
40°C	D445	10.9
100°C	D445	2.54

Propiedades eléctricas		
Resistencia dieléctrica kV	D 877	40
Ruptura dieléctrica 60Hz electrodos de disco	D 877	38
Factor de potencia %, 25 °C	D 924	0.002
100 °C	D 924	0.070
Propiedades químicas		
Azufre corrosivo	D 1275	sin corrosión
Índice de neutralización mg KOH/g	D 794	0.014
Tendencia de gasificación $\alpha$ l/min Procedimiento A Procedimiento B	D 2300	15 30
Estabilidad ante la oxidación 72 hrs. % lodo N° ácido	D 2240	0.1 0.1
Contenido de humedad ppm	D 1533	21
Punto de anilina °C	D 611	74

PNUMA PRODUCTOS QUÍMICOS – TRANSFORMADORES Y CONDENSADORES CON PCB:  
DESDE LA GESTIÓN HASTA LA RECLASIFICACIÓN Y ELIMINACIÓN

Empresa	<b>M &amp; I Materials</b>	
	PO Box 136 Manchester M60 1AN Gran Bretaña	
Nombre del producto	MIDEL ® 7131	
Familia química	Éster de ácido graso de pentaeritritol	
Propiedades generales		
	Valores de la norma CEI 1099	MIDEL ® 7131
Color (unidades Hu)	< 200	125
Densidad a 20 °C, kg/l	< 1	0.97
Punto de inflamación °C	> 250	275
Punto de ignición °C	> 300	322
Punto de fluidez °C	< - 45	- 48
Viscosidad cinemática mm <sup>2</sup> /s 40°C - 20°C	< 35  < 3000	30  1700
Biodegradabilidad	(método EEC 79/831)	83% después de 28 días

Propiedades eléctricas		
Voltaje de ruptura, kV	> 45	80
Factor de disipación dieléctrica a 90°C, 50 Hz	< 0.03	0.004
Resistividad de a 90°C, G 1-m	> 2	9
Propiedades químicas		
Índice de neutralización, mg KOH/g	< 0.03	0.02
Estabilidad ante oxidación lodo % por peso	< 0.01	0
Acidez, mg KOH/g	< 0.3	0.01
Tiempo de inducción, hrs.		12.4
Contenido de humedad, mg/kg	< 200	50

PNUMA PRODUCTOS QUÍMICOS – TRANSFORMADORES Y CONDENSADORES CON PCB:  
DESDE LA GESTIÓN HASTA LA RECLASIFICACIÓN Y ELIMINACIÓN

Empresa	<b>Nippon Petrochemicals Co., Ltd</b>	
	1-3-1 Uchisaiwai-cho Chiyoda-ku, Tokyo 100-8530 Japón	
Nombre del producto	PXE (fenilxililetano)  (otros tipos disponibles)	
Familia química	aceite de hidrocarburo sintético	
Propiedades generales		
	Método de análisis	PXE
Color (unidades hu)	JIS K 2580	+30
Punto de anilina	JIS K 2256	15
Densidad a 15 °C, kg/l	JIS C 2101	0.988
Punto de inflamación °C	JIS C 2101	152
Punto de ignición °C	JIS K 2265	170
Punto de fluidez °C	JIS C 2101	- 47.5
Viscosidad cinemática, mm <sup>2</sup> /s 40°C 100°C	JIS K 2283  JIS K 2283	5.2  1.6
Biodegradabilidad	Método MITI	Buena degradabilidad

Propiedades eléctricas		
Voltaje de ruptura dieléctrica, kV a 50 Hz	JIS C 2101	70 min.
Factor de disipación a 80°C, 60 Hz %	JIS C 2101	0.002
Constante dieléctrica a 80°C	JIS C 2101	2.51
Resistividad de volumen a 80°C, . cm	JIS C 2101	1.5x10 <sup>15</sup>
Propiedades químicas		
Azufre corrosivo	JIS C 2101	sin corrosión
Neutralización (Nº ácido), mg KOH/g	JIS C 2101	0.00
Inhibidor de oxidación		ninguno
Agua, máx. ppm		50

PNUMA PRODUCTOS QUÍMICOS – TRANSFORMADORES Y CONDENSADORES CON PCB:  
DESDE LA GESTIÓN HASTA LA RECLASIFICACIÓN Y ELIMINACIÓN

Empresa	<b>Nynas Naphthenics AB</b>			
	PO Box 10701 121 29 Stocolmo Suecia			
Nombre del producto	Nytro 10GBN, 10BN, 10GBX  (otros disponibles)			
Familia química	aceite nafténico			
Propiedades generales				
	Método de análisis	Nytro 10GBN (no inhibido)	Nytro 10BN (no inhibido)	Nytro 10GBX (inhibido)
Densidad a 20 °C, g/dm <sup>3</sup>	ISO12185	0.886	0.882	0.886
Punto de inflamación °C	ISO2719	148	144	148
Punto de ignición °C				
Punto de fluidez °C	ISO3016	- 57	- 57	- 57
Viscosidad cinemática, cp				
-30° C	ISO3104	1180	870	1180
40°C	ISO3104	8.9	8.0	8.9
Tensión interfacial, dinas/cm	ISO6295	49	44	49

Propiedades eléctricas				
Voltaje de ruptura dieléctrica				
Antes de tratamiento Kv				
Después de tratamiento Kv	CEI 156	40-60	40-60	40-60
	CEI 296	> 70	> 70	> 70
Factor de disipación				
(punto de potencia) a 90°C	CEI 247	< 0.001	< 0.001	< 0.001
Propiedades químicas				
Índice de neutralización, mg KOH/ g	CEI 296	< 0.01	< 0.01	< 0.01
Estabilidad ante la oxidación				
a) 100°C, 164 hrs.				
Índice de neutralización	CEI1125A			
mg KOH/g				
% lodo por peso		0.15	0.09	
b) 120°C, 164 hrs.		0.02	< 0.02	
acidez total, mg KOH/g	CEI1125C			
% lodo por peso		0.26	-	
c) 120°C, inducción hrs.		0.08	-	
	CEI1125B			181
Azufre corrosivo	ISO 5662	no corrosivo	ídem	ídem
Contenido de humedad mg/kg	CEI 814	< 20	< 20	< 20
Contenido aromático %	CEI 590	14	10	14

PNUMA PRODUCTOS QUÍMICOS – TRANSFORMADORES Y CONDENSADORES CON PCB:  
DESDE LA GESTIÓN HASTA LA RECLASIFICACIÓN Y ELIMINACIÓN

Empresa		<b>Shell</b> (oficinas en todo el mundo)	
Nombre del producto		Diala D, M (otros grados disponibles)	
Familia química		aceite nafténico	
<b>Propiedades generales</b>			
	Método de análisis	Diala D	Diala M
Pureza, aspecto	DIN 57370	claro, sin partículas	claro, sin partículas
Densidad a 15°C, kg/m <sup>3</sup>	DIN 51757	877	889
Punto de inflamación °C	DIN EN 22719	138	141
Punto de fluidez °C	ISO 3016	< - 60	< - 45
Viscosidad cinemática mm <sup>2</sup> /s			
40 °C mm <sup>2</sup> /s	DIN 51562-1	9	10.2
- 30 °C mm <sup>2</sup> /s	DIN 51562-1	780	1700
<b>Propiedades eléctricas</b>			
Voltaje de ruptura dieléctrica Kv	DIN EN 60156	> 60	> 50
Factor de disipación (punto de potencia) a 90°C	DIN 57370	0.001	0.002

Propiedades químicas			
Azufre corrosivo	DIN 51353	no corrosivo	no corrosivo
Neutralización (Nº ácido) mg KOH/g oil	DIN 51558-2	< 0.03	< 0.03
Índice de saponificación Baader 140 h/110°C mg KOH/g		0.2	0.48
Estabilidad ante oxidación Nº ácido pasadas 164 hrs. (mg KOH/g aceite)	CEI 1125 A	0.05	0.20
Contenido de lodo %		0.04	0.04
Clase de toxicidad OFSP Tnº		sin toxicidad/617200	sin toxicidad/617200

## ANEXO C : LISTA DE ABREVIATURAS Y SIGLAS

BPC	Bifenilos policlorados
COP	Contaminantes Orgánicos Persistentes
DDT	Diclorodifenil tricloroetano
EPP	Equipo de Protección Personal
EPR	Equipo de Protección Respiratoria
HPLC	Cromatografía líquida de alta resolución
IDA	Ingesta Diaria Aceptable
LN	Liquid Natural Cooling ( <i>enfriamiento líquido natural</i> )
LNAN	Liquid Natural Air Natural Cooling ( <i>enfriamiento líquido natural aire natural</i> )
PNUMA	Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente
ppm	partes por millón
SN	Synthetic Natural Cooling ( <i>enfriamiento sintético natural</i> )
TCB	Triclorobenceno
TLV	Valores umbral límite
TSCA	Toxic Substances Control Act (Ley para el control de sustancias tóxicas, Estados Unidos)