

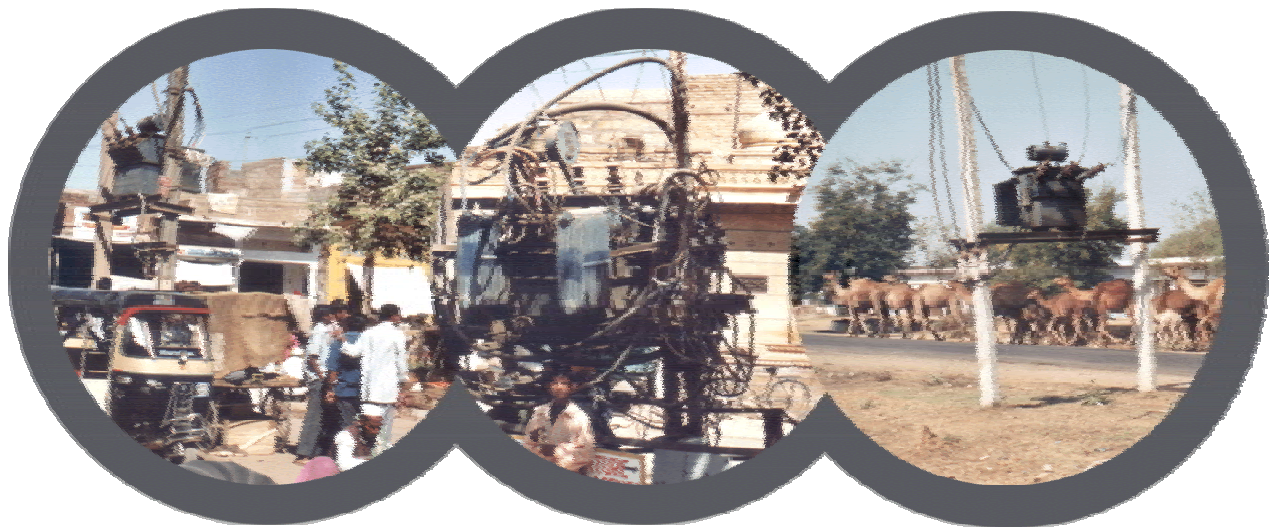


**PROGRAMA DE LAS NACIONES
UNIDAS PARA EL MEDIO AMBIENTE**



ENCUESTA SOBRE TECNOLOGÍAS ACTUALMENTE DISPONIBLES PARA LA DESTRUCCIÓN DE PCB SIN INCINERACIÓN

Primera edición
Agosto de 2000



Preparado por Productos Químicos, PNUMA

IOMC

PROGRAMA INTERINSTITUCIONAL PARA EL MANEJO ADECUADO DE LOS PRODUCTOS
QUÍMICOS

Acuerdo de cooperación entre PNUMA, OIT, FAO, OMS, ONUDI, UNITAR y OCDE

Con la presente publicación se trata de facilitar una guía sobre tecnologías disponibles para la destrucción de PCB sin incineración. Aun considerando que la información que aquí se da es fidedigna, el PNUMA declina toda responsabilidad en cuanto a posibles inexactitudes u omisiones y a las consecuencias que éstas puedan tener. Ni el PNUMA ni ninguna de las personas implicadas en la preparación del presente informe podrán ser tenidos por responsables de cualquier tipo de lesión, pérdida, daño o perjuicio que pueda causarse a personas que hayan actuado según hayan comprendido la información presentada en esta publicación.

Las designaciones empleadas y la presentación material del presente informe no expresan ningún tipo de opinión por parte de las Naciones Unidas o del PNUMA con respecto a la situación jurídica de ningún país, territorio, ciudad o área o a ninguna de sus autoridades, ni tampoco en relación con cualquier tipo de delimitación de sus fronteras o límites.

Esta publicación se ha preparado en virtud de un contrato con Jacques Ehretsmann. Las opiniones expresadas en el documento no reflejan necesariamente las propias del PNUMA.

Las fotografías de la cubierta han sido realizadas por Jacques Ehretsmann en Rajastan, India, en 2000.

Primera impresión (Agosto de 2000).

Esta publicación se ha producido dentro del marco del Programa Interinstitucional para el Manejo Adecuado de los Productos Químicos (IOMC)

El material que figura en la presente publicación se puede citar o reimprimir libremente, pero citando su origen y haciendo referencia al número de documento correspondiente. Deberá enviarse a Productos Químicos, PNUMA, una copia de la publicación que contenga la cita o reimpresión.

El Programa Interinstitucional para el Manejo Adecuado de los Productos Químicos (IOMC) fue establecido en 1995 por el PNUMA, OIT, FAO, OMS, ONUDI Y OCDE (organizaciones participantes), a raíz de las recomendaciones formuladas en 1992 por la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo con miras a reforzar la cooperación y aumentar la coordinación en el campo de la seguridad química. En enero de 1998, UNITAR se unió oficialmente al IOMC como organización participante. El objetivo del IOMC consiste en fomentar la coordinación de las políticas y actividades de las organizaciones participantes, conjuntamente o por separado, con miras a la buena gestión de las sustancias químicas en relación con la salud humana y el medio ambiente.

Se puede solicitar ejemplares de esta informe a:

Productos Químicos, PNUMA
11-13 chemin des Anémones
CH-1219 Châtelaine (Ginebra), Suiza
Tel.: +41 22 917 8170
Fax: +41 22 797 3460
E-Mail: chemicals@unep.ch

**PNUMA
PRODUCTOS QUÍMICOS**



**PROGRAMA DE LAS NACIONES
UNIDAS PARA EL MEDIO AMBIENTE**



**ENCUESTA SOBRE TECNOLOGÍAS ACTUALMENTE
DISPONIBLES PARA LA DESTRUCCIÓN DE PCB
SIN INCINERACIÓN**

Preparado por Productos Químicos, PNUMA

Primera edición
Agosto de 2000

Índice

I. METODO DE ENCUESTA Y PANORÁMICA GENERAL

1.	INTRODUCCIÓN	1
2.	OBJETIVOS Y METODOLOGÍA.....	1
3.	EL CUESTIONARIO.....	2
4.	ÁMBITO DE LA ENCUESTA	3
5.	PANORÁMICA DE LA DISTRIBUCIÓN DE PCB	3
5.1	Aplicaciones cerradas	4
5.2	Aplicaciones parcialmente cerradas	4
5.3	Aplicaciones abiertas	4
6.	ACTUALES TECNOLOGÍAS DE DESTRUCCIÓN DE PCB.....	5
7.	MATERIALES QUE CONTIENEN PCB.....	5
7.1	Transformadores	5
7.2	Capacitores	7
7.3	Aceites de transformador	8
7.4	Aceites de desecho.....	8
8.	EL CASO ESPECIAL DE LOS SUELOS CONTAMINADOS.....	8

II. ANÁLISIS DE LAS TECNOLOGÍAS DE DESTRUCCIÓN DE PCB DISPONIBLES 11

A.	TECNOLOGÍAS DE ELIMINACIÓN NO ESPECÍFICAS	15
B.	PROCESOS PARA LA DESCONTAMINACIÓN DE TRANSFORMADORES.....	15
C.	PROCESOS DE DESCONTAMINACIÓN DE ACEITES DE PCB.....	17
	Descloración con sodio	17
	Tecnología relacionada con el plasma.....	18
	Otros procesos.....	19
D.	PROCESOS PARA LA DESCONTAMINACIÓN DE CAPACITORES	19
E.	OBSERVACIONES GENERALES	20
F.	CONCLUSIONES	21

ANEXO 1 23

CUESTIONARIO 23

ANEXO 2 RESPUESTAS DE LAS EMPRESAS..... 29

ABB Service (Alemania)	31
AMEC GeoMelt (Reino Unido, EE.UU., Australia).....	33
Aprochim (Francia).....	31
Bilger (Alemania)	33
CINTEC (Canadá).....	34
Cleanaway (Reino Unido)	36
Eco Logic (Canadá).....	38
ELF Atochem (Francia).....	40
Fluidex (Sudáfrica).....	41
Grosvenor Power (Reino Unido).....	42
Manitoba Hydro (Canadá).....	43
S D Myers (Estados Unidos de América) (I).....	44
Ontario Power (Canadá).....	46
Orion BV (Países Bajos).....	48
Papusha Rocket Tecnología (Federación de Rusia).....	50
Petrochimtekhologii (Federación de Rusia).....	51
Powertech (Canadá).....	53
Safety-Kleen (Estados Unidos de América).....	54
Sanexen (Canadá).....	56
Shanks (Reino Unido).....	58
Shinko Pantec (Japón).....	59
TASSCO (Canadá).....	61
Tredi (Francia).....	63

Prefacio

La presente es la tercera publicación del PNUMA dedicada a los difíciles problemas que plantea la gestión de los bifenilos policlorados (PCB). La primera de estas publicaciones del PNUMA sobre los PCB, en 1998, era el "Inventario de la capacidad mundial de destrucción de bifenilos policlorados", seguida en 1999 de unas "Directrices para la identificación de PCB y materiales que contengan PCB". La presente "Encuesta sobre tecnologías actualmente disponibles para la destrucción de PCB sin incineración" viene a continuar la serie.

Los PCB son sustancias químicamente persistentes y bioacumulables, y que provocan el riesgo de causar efectos adversos a la salud humana y al medio ambiente. Se pueden transportar a largas distancias y se han detectado en los más remotos rincones del globo, incluidos lugares muy alejados de donde se fabricaron o usaron. Aunque según se comunica se ha interrumpido la fabricación de PCB, no pasa lo mismo con las liberaciones potenciales o reales de PCB al medio ambiente ya que aún se están utilizando o almacenando cantidades considerables de PCB.

El hecho de que muy probablemente estos productos seguirán utilizándose durante bastante tiempo y su persistencia una vez liberados al medio ambiente significa que los PCB seguirán constituyendo un peligro durante los próximos decenios. En consecuencia, el Consejo de Administración del PNUMA ha incluido a los PCB entre los doce contaminantes orgánicos persistentes (COP) identificados para la acción internacional.

El Consejo, en su decimonoveno periodo de sesiones, en febrero de 1997, llegó a la conclusión de que para reducir los riesgos que sobre la salud humana y el medio ambiente implica la liberación de los 12 COP (PCB, dioxinas y furanos, aldrina, dieldrina, DDT, endrina, clordano, hexaclorobenceno, mirex, toxafeno y heptacloro), se necesita una intervención internacional, que incluya un instrumento global jurídicamente vinculante. Se pidió al PNUMA que lo preparase y que a principios de 1998 convocase un Comité Intergubernamental de Negociación (CIN), con el mandato de preparar un instrumento internacional jurídicamente vinculante para poner en práctica medidas internacionales que comenzasen refiriéndose a los 12 COP. El Consejo pidió además al PNUMA que adoptase diversas medidas inmediatas entre las que figurarían la intensificación del intercambio de informaciones sobre los COP, una mejor disponibilidad de la información sobre alternativas al uso del COP, la preparación de un inventario sobre la capacidad de destrucción de PCB y la ayuda a los países para identificar los PCB, así como la ayuda para determinar fuentes de dioxinas y furanos.

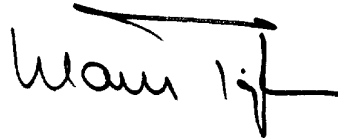
Con miras a fomentar la obtención y difusión de informaciones sobre los 12 COP especificados, el PNUMA ha establecido una red de puntos focales designados por los gobiernos encargados de intercambiar información técnica y reunir pericias relativas a la preparación de diversos productos. La información sobre instalaciones existentes de destrucción de PCB procedente de estos puntos focales y otras fuentes, en particular la Secretaría del Convenio de Basilea sobre el control de los movimientos transfronterizos

de los desechos peligrosos y su eliminación, se incorporó al "Inventario de la capacidad mundial de destrucción de bifenilos policlorados" del PNUMA, antes mencionado.

Esta publicación acompañante, "Encuesta sobre tecnologías actualmente disponibles para la destrucción de PCB sin incineración", responde a la solicitud de información y al interés expresado sobre alternativas a la incineración. La Encuesta identifica a más de 20 ofertantes que pretenden que pueden tratar y destruir aceites de PCB, transformadores o capacitores utilizando procesos químicos o físicos. Naturalmente, el PNUMA no ratifica, aprueba o certifica ni a los ofertantes ni los procesos. Con la presente encuesta se trata simplemente de dar cabal cumplimiento a la solicitud del Consejo de Administración del PNUMA, en la que se pedía al PNUMA que preparara y publicase información que ayude a los países a conseguir una gestión ambientalmente racional de los PCB. Por consiguiente, la encuesta facilita a los detentores de PCB una información que tal vez deseen profundizar sobre posibilidades de destrucción distintas de la incineración.

El PNUMA desea expresar su agradecimiento a los países que han aportado sus contribuciones, en particular al Organismo Suizo para el Medio Ambiente, los Bosques y el Territorio (BUWAL) y a los Estados Unidos, gracias a los cuales se ha podido preparar el siguiente documento. Tanto esta publicación como sus acompañantes sobre PCB (véase antes), se han de considerar como publicaciones dinámicas que se irán actualizando a medida que se vaya disponiendo de nuevas informaciones. Por consiguiente, Productos Químicos, PNUMA, agradecerá cualquier información o sugerencia que se le envíe y que incorporará a futuras revisiones de los documentos.

Klaus Töpfer

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Klaus Töpfer', with a horizontal line above it.

Director Ejecutivo
Programa de las Naciones Unidas para el
Medio Ambiente

I MÉTODO DE ENCUESTA Y PANORÁMICA GENERAL

1. INTRODUCCIÓN

El PNUMA, en cooperación con la Secretaría del Convenio de Basilea, publicó recientemente un volumen titulado *Inventario de la capacidad mundial de destrucción de bifenilos policlorados*. El Inventario trataba de presentar una lista lo más completa posible de instalaciones existentes en el mundo entero y en condiciones de recibir y tratar materiales contaminados por PCB. Identificaba unas 50 instalaciones situadas en unos 50 países de Europa, América, Asia (incluida Australia) y África, fundamentalmente incineradores.

Las tecnologías que en último término elijan los responsables de la decisión dependerán de diversos factores y sin duda pueden llegar a la decisión de utilizar la incineración. Sin embargo, el objetivo del presente volumen consiste en explicar con más detalle qué tecnologías prácticas distintas de la incineración existen que puedan quitar su peligrosidad a toda una serie de productos contaminados por PCB.

Estos productos son:

- transformadores eléctricos,
- capacitores,
- aceites de transformadores, y
- aceites de desecho.

Por consiguiente, otros materiales frecuentes que pueden estar contaminados por PCB (suelos, materiales de construcción, desechos textiles, otros desechos, etc.) no están incluidos en esta publicación. Esos materiales se pueden descontaminar mediante tratamiento con un solvente, si bien el resultado de solvente + PCB podrá ser procesado mediante algunos de los métodos que aquí se exponen.

2. OBJETIVOS Y METODOLOGÍA

La información que se presenta en este volumen se ha obtenido mediante una encuesta que incluye a empresas de las que se sabe que han sistematizado tecnologías para la destrucción de PCB. Estas empresas se identificaron sobre todo a partir de los datos que figuran en el ya citado *Inventario de la capacidad mundial de destrucción de bifenilos policlorados*.

La destrucción de PCB constituye un tema sobre el que se han realizado múltiples investigaciones y que aún sigue en estudio. Esto refleja la situación actual en lo que respecta a la descontaminación de PCB. Algunos países industrializados, en particular países de la OCDE, han basado sus programas de eliminación de PCB en la posibilidad que tienen de utilizar un número considerable de sus actuales instalaciones de incineración a alta temperatura.

Podría señalarse que este hecho vendría a frenar el desarrollo de otras tecnologías de descontaminación sin incineración, con el resultado de que tales alternativas ocupan un

lugar relativamente reducido en términos de tonelajes destruidos en los países desarrollados. Otra consecuencia más es que los países en desarrollo que no cuentan con instalaciones de incineración y que tienen pocas probabilidades de llegar a construirlas a causa de su costo y de la resistencia que la comunidad opone a la construcción de nuevas instalaciones de incineración, tienen problemas para identificar las tecnologías adecuadas para la eliminación en sus países de los PCB y los materiales que contengan PCB.

Y sin embargo, para la eliminación de PCB existen numerosas tecnologías que ya se están aplicando a toda una serie de PCB y materiales que los contengan, en particular transformadores, capacitores y aceites. Con la presente publicación se trata de presentar aquellas tecnologías alternativas que ya estén bien sistematizadas y que puedan utilizarse en escala industrial. Esas tecnologías tienen la ventaja de poderse aplicar en una escala menor que la incineración y, por supuesto, si se aplican correctamente pueden satisfacer los reglamentos de gestión ambiental vigentes en los países donde se han autorizado.

3. EL CUESTIONARIO

La metodología utilizada para preparar el presente manual se ha basado en un cuestionario que se ha enviado a todas las compañías activas en el campo de las tecnologías de destrucción de PCB sin incineración, identificadas, entre otras, en la publicación del PNUMA *Inventario de la capacidad mundial de destrucción de bifenilos policlorados*. En el anexo 1 se reproduce el cuestionario utilizado en la investigación.

El cuestionario se dirigió a todas aquellas empresas que han sistematizado y/o utilizan tecnologías que pueden aplicarse al tratamiento de transformadores, capacitores y aceites con el fin de eliminar por completo todos los PCB que contengan. Se envió a unas 50 empresas, fundamentalmente en Europa y los Estados Unidos de América. La mitad han respondido. Además, se consultó a los puntos focales del PNUMA en numerosos países con miras a asegurarse de que la información recibida representaba un fiel reflejo de la situación en los correspondientes países en lo que respecta a las actividades de destrucción de PCB.

La información solicitada se refería a todas las características básicas del proceso:

- su uso actual efectivo para la destrucción de PCB (situación industrial);
- el principio básico de la tecnología;
- aplicabilidad;
- detalles del proceso;
- capacidades de las instalaciones existentes;
- costos del proceso;
- consideraciones ambientales (producción de efluentes gaseosos, líquidos o sólidos); y

- existencia actual de compañías y organizaciones que podrían interesarse por aplicar la tecnología.

Lo más conveniente sería que esas tecnologías pudieran aplicarse a las más pequeñas cantidades de desechos de PCB que con frecuencia se hallan en los países en desarrollo. Muchos países con agudos problemas de PCB no reúnen grandes cantidades de desechos y, por consiguiente, un dispositivo de destrucción compacto o incluso móvil bastaría para enfrentarse con los problemas de contaminación por PCB y resolverlos.

4. ÁMBITO DE LA ENCUESTA

La incineración sigue siendo el método de elección para destruir PCB en Europa y América. Como ya se ha dicho, la presente encuesta no se ocupa de la incineración, en parte por lo generalizado de su uso y porque se trata de una tecnología bien conocida para la eliminación de PCB. Además, es poco probable que el establecimiento de una capacidad de incineración propia del país sea viable en aquellos lugares donde el volumen de desechos con PCB que ha de destruirse sea inferior a los volúmenes relativamente grandes que han de reunirse para alcanzar el punto en el que sea rentable el funcionamiento de esas plantas.

El informe tampoco se refiere al tratamiento o evacuación de suelos u otros medios contaminados. Ello se debe en parte a que las tecnologías utilizables en la descontaminación de suelos son distintas de las que se han de aplicar a transformadores, capacitores y aceites. Además, dado que los suelos pueden ser de tipos muy distintos, para su limpieza será preciso elegir entre muchas posibilidades distintas. Dada su naturaleza, el problema de la contaminación del suelo convendrá tratarlo en un informe distinto.

5. PANORÁMICA DE LA DISTRIBUCIÓN DE PCB

El lector encontrará información más detallada sobre propiedades y usos de los PCB en una publicación del PNUMA que apareció en 1999, *Directrices para la identificación de PCB y materiales que contengan PCB*. En esa publicación se exponen en líneas generales la historia de la fabricación de PCB y los numerosos usos que se han dado a estas sustancias químicas. Da asimismo detalles sobre los productos en los que se han usado PCB y la forma como pueden reconocerse estos productos.

Pero en el presente contexto puede ser útil exponer un resumen de las principales categorías de usos de los PCB, y explicar cuales de ellos van a tratarse desde el punto de vista de la destrucción de los PCB.

Los usos de los PCB se pueden clasificar en tres categorías:

- aplicaciones cerradas;
- aplicaciones parcialmente cerradas, y
- aplicaciones abiertas.

Esta clasificación es útil ya que indica qué probabilidades hay de que los PCB se puedan liberar, intencionalmente o no, planteando así problemas de contaminación. El presente volumen trata de los materiales incluidos en las categorías de aplicaciones cerradas o parcialmente cerradas.

5.1 *Aplicaciones cerradas*

Como su nombre indica, se consideran como aplicaciones cerradas aquellas en las que los PCB están encerrados sin que puedan escapar durante un uso normal. Los principales ejemplos son los transformadores y capacitores, que son piezas selladas de equipos eléctricos. A parte de accidentes (incendios, daños mecánicos, etc.), los PCB no son peligrosos para el medio ambiente, por lo menos hasta que llegue el final de la vida de utilización del equipo en el que se encuentran incluidos.

5.2 *Aplicaciones parcialmente cerradas*

En éstas, los aceites que contienen PCB se emplean como líquidos sometidos a movimientos durante su uso, por ejemplo como fluidos de termotransferencia o como fluidos hidráulicos en bombas o interruptores. Este movimiento implica que el equipo ha de poseer juntas y cierres que podrían dejar escapar pequeñas cantidades de líquido durante su funcionamiento normal.

5.3 *Aplicaciones abiertas*

En sus aplicaciones abiertas, los PCB se encuentran generalmente incorporados a diversas preparaciones, casi siempre en cantidades pequeñas o muy pequeñas. Esos productos pueden ser lubricantes, adhesivos, pinturas, tintas, etc. En estos casos los PCB llegan a dispersarse ampliamente y según cada aplicación y es prácticamente imposible su destrucción. Este problema ha de atacarse más bien en su raíz, es decir prohibiendo el uso de PCB en tales productos. Naturalmente, la mayor parte de los países ya lo han hecho pero aún pueden estarse utilizando numerosos productos fabricados anteriormente.

En este volumen se describen las tecnologías aplicables a la destrucción de PCB pertenecientes a las dos primeras categorías de aplicación. En particular, los materiales contaminados por PCB que se consideran son:

- transformadores,
- capacitores,
- aceites de transformadores, y
- aceites de desecho.

Se tratan asimismo las tecnologías que permiten no sólo descontaminar sino también, en ciertos casos, reciclar los citados materiales contaminados por PCB.

6. ACTUALES TECNOLOGÍAS DE DESTRUCCIÓN DE PCB

En la actualidad, los desechos con PCB se destruyen en su gran mayoría por incineración. Esto se debe a que la incineración a alta temperatura es una tecnología bien establecida y fácilmente disponible en muchos países industrializados. La mayor parte de estas instalaciones se encuentran en Europa y América. No siempre se han construido con miras a la destrucción de PCB y compuestos halogenados, ya que muchas de ellas tenían como objeto el tratamiento de los propios desechos de las compañías de productos químicos. Debe advertirse que ciertos países industrializados ya no autorizan esos incineradores, siendo ejemplos destacados los de Japón (PCB) y Australia; estos países están obligados a hallar otras tecnologías de destrucción.

Otra tecnología que es similar a la incineración es la que utilizan los hornos de cemento, muy extendidos y que destruyen sobre todo desechos líquidos que contienen PCB. Los líquidos que contienen PCB se introducen en el horno de cemento junto con el combustible, de manera que el desecho líquido reemplaza en parte al combustible convencional. Estos desechos tienen con frecuencia un valor calórico elevado y, por consiguiente, los operadores de hornos de cemento los aceptan con satisfacción por representar una fuente de energía más barata. Normalmente las condiciones de funcionamiento de los hornos de cemento que queman desechos clorados son objeto de un estricto control por parte de las autoridades competentes, que han de asegurarse de que las concentraciones de dioxinas y furanos que puedan hallarse en los gases de salida se mantienen dentro de las normas reglamentarias. El que estos hornos puedan aceptar mezclas con PCB o cualquier otro tipo de mezcla clorada depende en medida considerable de la concentración de cloro en el material, ya que los materiales más clorados presentan complicaciones que van siendo cada vez más difíciles.

Además de esas tecnologías, que permiten la destrucción a alta temperatura de compuestos clorados, existen otros procesos que se utilizan en numerosos países. Son estas otras tecnologías de destrucción de los PCB sin incineración las que constituyen el tema de la presente publicación.

7. MATERIALES QUE CONTIENEN PCB

En este volumen se estudian los siguientes materiales y productos contaminados por PCB. A continuación se describen las principales características de estos distintos materiales y productos de manera que se puedan comprender mejor las técnicas de contaminación aplicables en cada caso.

7.1 Transformadores

Los transformadores son una pieza importante en el proceso de generación y distribución de electricidad. Permiten aumentar o reducir el voltaje al que se transporta y utiliza la electricidad. Las centrales eléctricas producen electricidad a alto voltaje y es más económico transportar esta energía a larga distancia a ese alto voltaje. Pero ese voltaje debe reducirse en la proximidad del lugar donde se utiliza, por ejemplo desde varios millares de voltios para su transporte a unos 220 voltios para su uso en los

hogares. Para realizar estos cambios se utilizan los transformadores. Así, pues, pueden verse con frecuencia transformadores en el campo y en las ciudades, en particular en países donde por consideraciones de costos, estos equipos se sitúan en la altura en lugar de enterrarlos, si bien debe advertirse que los transformadores eléctricos pueden tener los más diversos tamaños, desde los que alcanzan las dimensiones de una gran sala hasta lo que son mucho más pequeños que una caja de cerillas.

El transformador consiste fundamentalmente en una caja cerrada que contiene dos series de bobinas de cobre que comparten un núcleo magnético. El número relativo de alambres de cobre en cada bobina determina la relación de reducción (o aumento) del voltaje. El transformador tiene en su exterior dos puntos de conexión consistentes en un conductor eléctrico y una protección aislante de cerámica.

La caja externa es de hierro o de acero. Las partes activas del interior consisten en unas placas metálicas planas que actúan como magneto, rodeadas por las bobinas. Estas bobinas consisten en un alambre de cobre revestido de barniz. Además de estas piezas, el transformador habitual contiene (lo que puede resultar sorprendente) unos puntales de madera que mantienen en su lugar las partes activas; esto se debe naturalmente a que la madera es neutra desde el punto de vista eléctrico. La totalidad del espacio libre se rellena con un aceite dieléctrico que es el que durante muchísimos años se ha basado en los PCB. Hoy en día en los equipos nuevos sólo se utilizan líquidos reemplazantes que no contienen PCB.

La descontaminación total de un transformador plantea problemas resultantes de la propia estructura del equipo. Aunque las superficies metálicas como las de la caja se pueden descontaminar fácilmente con un solvente, en los transformadores se plantean dos problemas principales:

En primer lugar, el alambre de cobre está revestido de un barniz. Durante toda la duración de su uso, este barniz absorbe los PCB que es preciso extraer, en un proceso que exige más tiempo que el necesario para limpiar las superficies externas metálicas de la caja. Lo mejor es separar las distintas piezas (cajas, bobinas, etc.) y adaptar el tiempo de descontaminación a las características de cada una de ellas.

El segundo problema, aún más grave, es el que plantean los puntales de madera y el papel que podría hallarse presente. Estos son materiales muy porosos y difíciles de limpiar con un solvente. Si no se descontaminan hasta concentraciones de PCB que sean aceptables para su terraplenado (según reglamentos que varían de unos países a otros), las piezas en cuestión deben ser incineradas.

Para enfrentarse con el problema de la descontaminación de un transformador existen dos caminos: o bien se retira el aparato del servicio o bien estando aún el transformador en funcionamiento se reemplazan los líquidos dieléctricos por un sucedáneo que no contenga PCB. En el primer caso, la descontaminación completa conduce a la destrucción del transformador con posible recuperación de la mayor parte de sus componentes metálicos.

El segundo método se denomina de "retroalimentación". Con el transformador aún en servicio se extrae el aceite eléctrico que se trata en un circuito cerrado que permita

destruir los PCB que contiene. Para la práctica de esta retroalimentación existen varias tecnologías.

Una desventaja de la retroalimentación es que los PCB no sólo se encuentran en el aceite sino también en las estructuras porosas de madera del transformador. Así, los PCB pueden irse difundiendo lentamente a partir de la madera al tiempo que durante el proceso de descontaminación va reduciéndose la concentración de PCB en los aceites limpios. Este proceso de difusión no se concluye en el lapso de tiempo que dura la operación de retroalimentación y más tarde, a medida que se prosiga la difusión, irá aumentando la concentración de PCB en el transformador retroalimentado. A causa de este incremento, la concentración de PCB en el nuevo aceite puede superar al límite fijado por la legislación, lo que obligará a una ulterior operación de retroalimentación.

Pese a estos factores, la retroalimentación se utiliza con frecuencia y con éxito a grandes transformadores o a los que son inaccesibles por diversas razones.

Las tecnologías propuestas para la descontaminación de los transformadores han de tener en cuenta cada uno de estos factores.

7.2 *Capacitores*

Al igual que el transformador, el capacitor consiste en un contenedor metálico sellado con un núcleo activo. En el caso del capacitor, el núcleo está constituido por unas láminas continuas de una fina hoja metálica (aluminio) enrollada con la separación de una película aislante de polipropileno y/o papel impregnado con PCB. Este núcleo está introducido en la caja del capacitor y el espacio que queda libre se rellena con un aceite dieléctrico de PCB.

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

Ello no obstante para el tratamiento de los capacitores existen ciertas tecnologías que permiten descontaminarlos y recuperar los materiales útiles para su reciclado. En el caso de los capacitores, los materiales útiles son la caja externa y la lámina de aluminio que se utiliza en los rollos. Este aluminio tiene una calidad eléctrica y si se descontamina por completo puede alcanzar precios elevados como material reciclado.

En el reciclado de esta lámina lo más difícil es conseguir una buena separación entre las láminas de aluminio y las de papel/polímeros. Ha de tenerse en cuenta que estas películas aislantes han absorbido PCB y toda operación dirigida a recuperar el aluminio, que es fácil de descontaminar con un solvente, debe ocuparse así mismo de este material contaminado. Algunos capacitores se tratan y reciclan incluso en países donde se puede recurrir a la incineración; en estos casos se incineran después los materiales contaminados y de difícil descontaminación incluidos en la película orgánica. Éste es un buen método económico y técnicamente asequible para la descontaminación de capacitores con recuperación de materiales.

7.3 *Aceites de transformador*

Un aceite contaminado por PCB se puede tratar según dos métodos fundamentales:

1. extracción de los átomos de cloro de las moléculas de PCB y reutilización del aceite ("descloración"); o,
2. destrucción del aceite de PCB por oxidación (incineración).

La descloración suele realizarse por reacción química con un agente reductor que extrae los átomos de cloro y da un aceite que puede adaptarse para su reutilización.

El caso (2) requiere una técnica que sólo pueden aplicar las empresas que extraen aceites de PCB de transformadores antes de la incineración del transformador o de su desmantelamiento para recuperar las piezas metálicas útiles.

7.4 *Aceites de desecho*

Lamentablemente esta categoría de productos se utiliza con frecuencia en la industria. Incluye diversos aceites de desecho que se recogen conjuntamente para su ulterior eliminación. Sucede con frecuencia que por inadvertencia se mezclen aceites de desecho contaminados por PCB con otros aceites de desecho generados normalmente y que por si mismos no suponen ningún riesgo particular. A continuación se observa que la mezcla de aceite está contaminada y se debe tratar mediante las adecuadas tecnologías de destrucción de PCB.

Desde el punto de vista de la descontaminación existe una diferencia entre los aceites de transformador y los aceites de desecho. Los primeros están constituidos por hidrocarburos bien determinados e hidrocarburos clorados y se pueden descontaminar mediante los métodos químicos antes descritos. Por otra parte, los aceites de desecho se pueden tratar sólo después de haber analizado su composición. En general será preciso filtrarlos para extraer todos los cuerpos extraños y, en particular, será preciso extraer toda el agua antes de la descontaminación. Pero a causa de este problema y de los costos que ocasiona, la mayor parte de los aceites de desecho contaminados se destruyen en incineradores de alta temperatura o en hornos de cemento cuando existen.

8. EL CASO ESPECIAL DE LOS SUELOS CONTAMINADOS

Como ya se ha señalado, la descripción de las tecnologías aplicables a la descontaminación de suelos no entra dentro del ámbito de este manual. Para esta operación existen numerosos métodos pues ha sido preciso estructurarlos en función de cada tipo particular de suelo. De las tres categorías de tecnologías para la limpieza del suelo que a continuación se citan, en el presente informe sólo se trata del lavado con solvente.

1. La biorreconstitución de los suelos utiliza bacterias seleccionadas que descomponen los hidrocarburos clorados (y otros) existentes en un suelo. En general, la formulación bacteriana se agrega al suelo in situ. La reacción de degradación es lenta y puede exigir varias semanas, eso en caso de que funcione.

2. La incineración es un método costoso pero eficaz para destruir los contaminantes orgánicos presentes en el suelo. Pero puede plantear problemas si se trata de suelos muy ricos en arcilla, ya que antes es preciso obtener una buena dispersión de la arcilla, proceso bastante laborioso.
3. Por último, los PCB contaminantes pueden extraerse por ventilación (haciendo pasar aire para extraer vapores) o por lavado con solvente. En el caso de la ventilación, los vapores extraídos se condensan, generalmente sobre carbón activo. Aunque con estos procesos se puede obtener un suelo limpio, en realidad no hacen más que transferir los PCB a otro medio: carbón o solvente. A continuación será preciso tratar estos productos para destruir los PCB. El solvente obtenido de ese proceso y que contiene los PCB podrá ser tratado por algunos de los métodos que a continuación se describen.

II. ANÁLISIS DE LAS TECNOLOGÍAS DE DESTRUCCIÓN DE PCB DISPONIBLES

Aquí presentamos las respuestas recibidas al cuestionario enviado por Productos Químicos, PNUMA, a las empresas identificadas como explotadoras de instalaciones de destrucción de PCB. Se han recibido casi dos docenas de respuestas detalladas que se han resumido en las fichas que se presentan al final de este informe.

Estas tecnologías utilizan sobre todo métodos de descontaminación y destrucción fisicoquímicos y químicos, incineración no incluida. Ello no obstante, debe reconocerse que algunas de las instalaciones para la destrucción de PCB incluidas en este análisis incorporan, o necesitan, una fase de incineración, en general para la destrucción final de los PCB extraídos de equipos eléctricos. Para ello existen dos razones:

1. Algunas empresas de incineración realizan una primera operación de tratamiento del equipo eléctrico que consiste en una limpieza con solvente del equipo en cuestión (transformador y/o capacitor), con recuperación de los metales para su reciclado. A continuación se incineran algunas de las piezas difíciles de descontaminar, como los materiales orgánicos. Estas empresas se han incluido en el informe.
2. Cuando los aceites se tratan para extraer los PCB mediante un solvente, éstos se concentran por destilación y se obtiene un producto rico en PCB. Aunque ciertas tecnologías facilitan la eliminación química de esos productos, algunas empresas recurren a la incineración para completar su proceso de descontaminación. Por esta razón en el presente informe se han incluido las empresas que recurren a la incineración combinada con un proceso de destrucción fisicoquímica.

En los siguientes cuadros (cuadros 1, 2 y 3) se mencionan las empresas que utilizan todos esos procesos.

Cuadro 1**Tecnologías de destrucción de PCB: ACEITES**

Nombre de la compañía		Tecnología	Reutilización del aceite
1	ABB	No aplicable	-
2	AMEC GeoMelt	Vitrificación (pero los aceites deben estar absorbidos en un soporte)	No
3	Aprochim	Concentración por solvente + conversión a HCL	Si
4	Bilger	Sodio	Si
5	Cintec	No aplicable	-
6	Cleanaway	Incineración	No
7	Eco Logic	Hidrogenación	No
8	Elf Atochem	Caso especial; combustión a HCL	No
9	Fluidex	Sodio	Si
10	Grosvenor Power	Descloración	si
11	Manitoba Hydro	Sodio	si
12	S D Myers	Descloración	Si
13	Ontario Power	Sodio	Si
14	Orion	No aplicable	-
15	Papusha Rocket	Alta temperatura termoquímica	no
16	Petrochimtekhologii	Plasma	no
17	Powertech	Sodio	si
18	Sanexen (DCR)	Sodio	si
19	Safety-Kleen	Sodio	como combustible
20	Shanks	Incineración	no
21	Shinko Pantec	Sodio	si
22	TASSCO	Sodio	si
23	Tredi	Incineración	no

Cuadro 2

Tecnologías de destrucción de PCB: TRANSFORMADORES

Nombre de la compañía		Tecnología	Reutilización del transformador	Recuperación del metal
1	ABB	Limpieza con solvente (también retroalimentado)	si	si
2	AMEC GeoMelt	Vitrificación	No	no
3	Aprochim	Limpieza con solvente seguida de combustión a HCL	No	si
4	Bilger	Reacción con sodio tras trituración	No	no
5	Cintec	Limpieza con solvente	No	si
6	Cleanaway	Limpieza con solvente más incineración	No	si
7	Eco Logic	Hidrogenación a alta temperatura	No	si
8	Elf Atochem	No aplicable	-	-
9	Fluidex	Retroalimentación	Si	no
10	Grosvenor Power	Retroalimentación	Si	no
11	Manitoba Hydro	Retroalimentación	Si	no
12	S D Myers	Lavado con solvente, también retroalimentación	No	si
13	Ontario Power	Lavado con solvente	No	si
14	Orion	Lavado con solvente más incineración	no	si
15	Papusha Rocket	No aplicable	-	-
16	Petrochimtekhologii	Por destrucción en plasma	no	si
17	Powertech	No aplicable	-	-
18	Sanexen (Decontaksolv)	Lavado con solvente	no	si
19	Safety-Kleen	Limpieza con solvente	no	si
20	Shanks	Incineración parcial con recuperación del metal	no	si
21	Shinko Pantec	Solvente	no	si
		Retroalimentación de limpieza	si	no
22	TASSCO	Retroalimentación	si	no
23	Tredi	Limpieza con solvente más incineración, también retroalimentado	si	no

Cuadro 3

Tecnologías de destrucción de PCB: CAPACITORES

	Nombre de la compañía	Tecnología
1	ABB	Desmantelamiento, descontaminación
2	AMEC GeoMelt	Verificación después de despedazamiento
3	Aprochim	Desmantelamiento con tratamiento de cajas y núcleos para recuperar el aluminio
4	Bilger	Trituración en pequeñas piezas, descloración con sodio
5	Cintec	Desmantelamiento, con tratamiento de cajas y núcleos para recuperar el aluminio
6	Cleanaway	Despedazamiento, incineración
7	Eco Logic	Tratamiento a alta temperatura con H ₂
8	ELF Atochem	No aplicable
9	Fluidex	No aplicable
10	Grosvenor Power	No aplicable
11	Manitoba Hydro	No aplicable
12	S D Myers	Desmantelamiento con tratamiento de cajas y núcleos para recuperar el aluminio
13	Ontario Power	Desmantelamiento con tratamiento de cajas y núcleos para recuperar el aluminio
14	Orion	Desmantelamiento: cajas descontaminadas, núcleos incinerados
15	Papusha Rocket	No aplicable
16	Petrochimtekhologii	No aplicable
17	Powertech	No aplicable
18	Sanexen	No aplicable
19	Safety-Kleen	Desmantelamiento, lavado con solvente
20	Shanks	Desmantelamiento seguido de calcinación con recuperación del metal
21	Shinko Pantec	Desmantelamiento con descontaminación por lavado con solvente
22	TASSCO	No aplicable
23	Tredi	Incineración

A. Tecnologías de eliminación no específicas

En distintos lugares, para eliminar materiales contaminados con PCB, en particular aceites de desecho, se han utilizado ciertos equipos industriales preexistentes. El ejemplo más común es el de los hornos de fabricación de cemento. Los combustibles que se utilizan para la fabricación de cemento en hornos se pueden combinar con aceites de desecho contaminados por PCB. Ofrecen la ventaja de que este material de desecho incrementa el valor calórico del combustible, al tiempo que queda destruido. Pero es imprescindible que la operación de incorporación de aceites de PCB al horno de cemento sea objeto de un estricto control del equipo de depuración de gases y, por consiguiente, de las posibles emisiones de dioxinas y furanos.

Pueden citarse otros dos ejemplos de utilización de equipos industriales preexistentes para la destrucción de PCB. Aunque parece ser que sólo se utilizan en pequeña escala, se mencionan aquí por considerarse como valiosos, aunque no convencionales, métodos de destrucción de PCB:

1. Destrucción de PCB en las sales fundidas que se encuentran en las bases de las calderas de reciclado de licor negro en la industria de la pasta de papel. Se sabe que si los PCB se introducen en la sal fundida, ésta puede desclorarlos hasta obtener buenos niveles de descontaminación;
2. Inyección de aceites de desecho contaminados en altos hornos. Las condiciones de combustión y oxidación en los altos hornos son favorables a la destrucción del PCB y además los óxidos básicos presentes en el horno pueden reaccionar con los productos secundarios, por ejemplo ácido clorhídrico, neutralizándolos.

Estas tecnologías de destrucción de PCB basadas en tecnologías no específicas se excluyen del presente informe. Pero debe advertirse que si se aplican conforme a las normas de la buena gestión de desechos, pueden constituir una forma aceptable de destruir los PCB.

B. Procesos para la descontaminación de transformadores

Las actuales tecnologías de descontaminación de transformadores se pueden agrupar en dos categorías principales:

1. Drenaje de aceite de PCB del transformador, descontaminación de este aceite y reinyección del producto descontaminado para la reutilización del transformador. Esta operación se denomina de **retroalimentación**.

Entre las empresas que utilizan esta tecnología figuran:

- ABB
- Bilger
- Grosvenor Power
- S D Myers
- Fluidex

- Manitoba Hydro
 - Shinko Pantec
 - TASSCO
 - Tredi.
2. Extracción del aceite de PCB, lavado del transformador con solvente y desmantelamiento y ulterior descontaminación de las piezas de manera que puedan reciclarse las partes metálicas. Utilizan esta tecnología:
- ABB
 - Aprochim
 - Cintec
 - S D Myers
 - Ontario Power
 - Sanexen
 - Petrochimetekhnogii
 - Safety-Kleen
 - Shinko Pantec

Las empresas que a continuación se citan son en esencia operadoras de incineradores de alta temperatura y pueden recuperar los transformadores mediante lavado con solvente para la recuperación del metal; a continuación, los solventes del lavado se destilan para recuperar parte de los solventes, mientras que el resto se incinera:

- Cleanaway
- Tredi
- Orion
- Shanks

Merecen mencionarse otras dos tecnologías:

3. **Eco Logic** utiliza un proceso original según el cual los transformadores, tras un tratamiento previo, son tratados con hidrógeno a elevadas temperaturas. Los transformadores no se recuperan como tales.
4. **AMEC GeoMelt** procesa transformadores mediante una tecnología de solidificación de la que resulta un producto sólido inerte y no lixiviable que puede descargarse en terraplén.

Al evaluar las mencionadas tecnologías es importante considerar en qué medida los procesos de tratamiento son completos, es decir que no generan pequeñas cantidades de residuos de difícil eliminación. En particular estos residuos pueden estar constituidos por materiales porosos como la madera y el papel. Pocas de las empresas antes citadas como utilizadoras de la limpieza con solvente llegan a obtener una descontaminación

completa; por consiguiente, para eliminar estos residuos están obligados a recurrir a la incineración. Esto significa que la tecnología propuesta sólo será aplicable en países donde haya acceso a instalaciones de incineración adecuadas.

Se han identificado las siguientes compañías que no practican por sí mismas la incineración de residuos de PCB recuperados del proceso de descontaminación:

1. ABB: los residuos se envían a la industria química
2. Aproxim: los concentrados de PCB se envían a Atochem para su conversión en ácido clorhídrico.

Comentarios sobre los transformadores

Como puede verse, las tecnologías presentadas cubren una amplia gama de tratamiento y recuperación de piezas del transformador, factor que debe tenerse en cuenta cuando se comparen diversas tecnologías. La descontaminación nunca se aplica de forma completa a todas las piezas, lo que significa que queda un residuo que ha de ser incinerado. En el mejor de los casos se tratará sólo de las partes porosas (madera y papel), a menos que la técnica del solvente se aplique durante largos periodos de procesamiento y se obtenga un producto final que, por contener concentraciones residuales PCB legalmente aceptables, pueda depositarse en terraplenes. En otras palabras deberá tenerse en cuenta el coste total del tratamiento, incluido el de la eliminación final de los residuos.

C. Procesos de descontaminación de aceites de PCB

Descloración con sodio

La tecnología más frecuente se basa en el uso de sodio metálico para desclorar las moléculas de PCB y dar un aceite que puede reutilizarse, en el transformador o de cualquier otra manera. La tecnología tiene sobre la incineración la ventaja de que no sólo es menos costosa sino que además permite recuperar y reutilizar el aceite.

El sodio es un metal reactivo que se oxida con facilidad; reacciona violentamente con el agua dando gas hidrógeno y con riesgo de incendio. Tiene fuerte afinidad por ciertos elementos, incluido el cloro. Ésta es la propiedad que se explota en la tecnología de descontaminación por sodio metálico: el sodio reacciona con los átomos de cloro de las moléculas de PCB dando cloruro sódico.

La introducción de sodio metálico en un aceite de PCB provoca una reacción cuya velocidad depende de la interfaz metal-aceite. La velocidad de reacción entre el metal sólido y los aceites que contienen PCB depende de la amplitud de esta interfaz, de manera que cuanto más finas sean las partículas metálicas, más rápida será la reacción. Las dispersiones de sodio que actualmente se proponen son extraordinariamente finas y parecen emulsiones, de manera que poseen una elevada área de superficie metálica. La dispersión se utiliza a una temperatura superior al punto de fusión del sodio, es decir, 98°C. Por ser líquida, la superficie metálica se puede renovar continuamente. De esta forma se puede alcanzar una velocidad de reacción razonable lo que reduce el costo del proceso de descontaminación.

Cuando los PCB reaccionan con sodio metálico pueden producirse reacciones secundarias. Durante la fase de descloración, las moléculas cloradas intermedias pueden polimerizarse y conducir a la formación de un sólido (polímero) que contiene cloro. El producto ya no se puede desclorar más y se precipita de la reacción en forma sólida. Por consiguiente, un proceso "limpio" deberá evitar o bien la formación del polímero (lo que se consigue en una o dos tecnologías identificadas) o bien deberá tener en cuenta la formación de este sólido e introducir una fase de separación que permita obtener un aceite puro reutilizable.

Esta tecnología del sodio ofrece varias variantes y no siempre se conocen todos los detalles técnicos. Hace ya mucho tiempo que se conoce el uso del sodio para la descloración de los PCB. Pero sólo cuando se han sistematizado las tecnologías más recientes relacionadas con la preparación de dispersiones muy finas del sodio metálico se ha hecho económicamente factible el uso de este metal activo, a lo que también ha contribuido la cuestión de la reducción del riesgo de incendio. Las recientes dispersiones finas de sodio son en realidad relativamente estables si se comparan con los groseros reactivos de sodio utilizados en tiempos anteriores.

Compañías que utilizan procesos de descontaminación de aceites basadas en el uso del sodio:

- Bilger
- Fluidex
- Manitoba Hydro
- Ontario Power
- Powertech
- Safety-Kleen
- Sanexen
- Shinko Pantec
- TASSCO

Tecnología relacionada con el plasma

La tecnología del plasma puede servir para convertir numerosos compuestos orgánicos complejos en moléculas más sencillas e inocuas como dióxido de carbono, agua y ácido clorhídrico. Se basa en el principio de someter una corriente del material que se va a tratar a una descarga eléctrica de alta energía. Con el arco plasmático pueden alcanzarse temperaturas extraordinariamente elevadas. A esas temperaturas las sustancias químicas se disocian rápidamente. Las condiciones del plasma, en particular la presión y la posible atmósfera residual, pueden adaptarse a los requerimientos concretos del caso.

La complejidad de la tecnología implica que los costos del tratamiento pueden ser relativamente elevados y, por consiguiente, aún no se utiliza ampliamente. La tecnología de plasma es explotada por Petrochimtekhologii.

Otras tecnologías afines utilizan un método combinado plasma–químico, en el que la "atomización" a alta temperatura va seguida de una oxidación a productos secundarios inocuos. Esta tecnología es explotada por Papusha Rocket Technology.

Otros procesos

1. **S D Myers** utiliza un proceso de descloración basado en un reactivo no especificado.
2. **Grosvenor Power**, en un su proceso de retroalimentación, circula el aceite sobre un soporte catalizador que lo desclora para su reinyección en el transformador.
3. La tecnología de **Eco Logic** antes mencionada para los transformadores (hidrogenación a alta temperatura) también es aplicable a los aceites.
4. **AMEC GeoMelt** realiza la vitrificación de aceites de PCB tras su absorción sobre un soporte sólido.

Comentarios sobre los aceites

La información facilitada por empresas que han respondido al cuestionario con frecuencia es incompleta en lo relativo al nivel aceptable de partida de PCB. La tecnología del sodio utiliza una cantidad de reactivo proporcional al contenido inicial del PCB en el aceite. Además, el tiempo de reacción dependerá también de este nivel inicial de PCB. Esto significa que el costo de la descontaminación sólo puede expresarse en términos de nivel de contaminación del aceite. Esto no siempre se tiene en cuenta en los costos que se comunican con respecto a los procesos con sodio.

D. PROCESOS PARA LA DESCONTAMINACIÓN DE CAPACITORES

Los capacitores son semejantes a los transformadores en cuanto a su construcción a base de un núcleo activo mantenido dentro de una caja metálica. Pero el núcleo activo no consiste en bobinas de cobre sino en rollos interpuestos de fina lámina de aluminio separada por finas películas de papel y/o plástico.

Los actuales métodos para tratar los capacitores pueden clasificarse en función de la cantidad de producto que se recicla. Todas las tecnologías consisten en extraer los PCB líquidos antes del tratamiento. Una posible clasificación sería la siguiente:

1. Sin recuperación de piezas, incineración de los capacitores, con o sin despedazamiento.
2. Se quita la caja del capacitor y se descontamina por lavado con solvente; éste es un procedimiento directo de descontaminación ya que se trata de una pieza no porosa. El núcleo se incinera.
3. Es posible dar un paso más y tratar el núcleo después de su extracción de la caja. Esta descontaminación exige normalmente el despedazamiento del núcleo y su tratamiento con un solvente. Así puede reducirse el nivel de PCB residual hasta valores que permitan evacuar el producto en un terraplén.

4. La tecnología que facilita la mayor proporción de reciclado es semejante a la 3 antes mencionada, pero además con tratamiento del residuo de mezcla de aluminio/plástico/papel para separar estos componentes, que se lavan con solvente. Después puede reutilizarse el metal de aluminio. El único componente que se elimina es la mezcla de desechos de papel/plástico, que pueden verse a un terraplén.

El grado de descontaminación, o más bien la fracción del capacitor que está realmente descontaminada en su totalidad, varía de unas empresas a otras (véase en las fichas de las empresas). Pero en general se puede afirmar que hoy en día los capacitores se descontaminan en escasa medida, ya que la gran mayoría se envían para su destrucción en incineradores de alta temperatura.

Las empresas que a continuación se citan tratan capacitores pero sólo las cuatro primeras ofrecen tecnologías que permiten la descontaminación del núcleo con recuperación de aluminio:

- Aprochim
- Cintec
- Ontario Power
- S D Myers
- ABB
- Cleanaway
- Orion
- Shanks
- Shinko Pantec.

Comentarios sobre capacitores

Como en el caso de los transformadores, raramente se consigue descontaminar por completo los capacitores y, en particular, para la eliminación de residuos orgánicos se ha de depender de la existencia de una tecnología de incineración. También en este caso existe la posibilidad técnica de alcanzar una descontaminación completa incluso de las piezas orgánicas porosas, pero esto aumenta considerablemente el costo del proceso total.

E. OBSERVACIONES GENERALES

Es de esperar que las breves descripciones que se dan sobre tecnologías de descontaminación disponibles sean útiles para los lectores. Pero para que se pueda elegir entre las tecnologías más adecuadas en un determinado contexto nacional y técnico, será preciso tomar en consideración tanto los costos de inversión como los posteriores costos de funcionamiento. Entre los costos adicionales consiguientes al tratamiento de los productos secundarios figuran, en particular, la eliminación de residuos no descontaminados y la de los efluentes de desecho. Estos detalles pueden obtenerse en una segunda fase sólo a partir de las empresas que practican las correspondientes tecnologías.

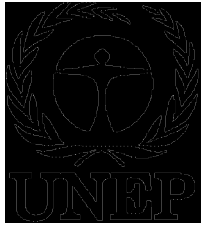
F. CONCLUSIONES

Este informe se basa en una encuesta de un número relativamente pequeño de empresas, es decir de todas las que el PNUMA conocía en aquel momento. Por supuesto, no todas ellas han regresado los cuestionarios, de manera que el informe no ha identificado, ni pretende haberlo hecho, a todos los que en la actualidad aplican tecnologías de destrucción de PCB sin incineración.

De todas formas las respuestas a los cuestionarios muestran la existencia de tendencias en cuanto a las tecnologías más ampliamente utilizadas y, por consiguiente, aquéllas que son las más interesantes en términos de eficacia y de costo. Concretamente:

1. La incineración, cuando está disponible, es la tecnología más extendida y utilizada para la destrucción de PCB;
2. Pero dado el costo de la incineración y el hecho de que no está disponible en muchos países, con frecuencia se ha de recurrir a otras tecnologías;
3. Estas tecnologías tienen la ventaja no sólo de su costo inferior sino también de que permiten tratar económicamente volúmenes muy inferiores de materiales de desecho; ésta es una ventaja considerable sobre todo para los países que ahora han de enfrentarse con el problema de la eliminación de desechos de PCB; y,
4. Aunque la descontaminación del aceite puede conseguirse mediante tecnologías que facilitan la completa destrucción de los PCB, los transformadores y capacitores pueden plantear problemas a causa de la presencia en ellos de pequeñas cantidades de materiales porosos y orgánicos cuya total descontaminación es muy costosa.

ANEXO 1
CUESTIONARIO



**PROGRAMA DE LAS
NACIONES UNIDAS
PARA EL MEDIO AMBIENTE**



**Cuestionario sobre tecnologías de
tratamiento/destrucción de PCB**

Punto	
1.1	Nombre de la tecnología de destrucción
1.2	Tipo de tecnología (descripción en una frase)
1.3	Aplicabilidad: A aceites dieléctricos A aceites de desecho A transformadores eléctricos A capacitores Por retroalimentación
1.4	Descripción de la tecnología

	<p>.....</p> <p>.....</p> <p>sírvase facilitar la información adicional que corresponda (documentación)</p>
--	---

1.5	<p>Estado de desarrollo</p> <p>i) ¿Existe esta tecnología como unidad industrial?</p> <p>.....</p> <p>ii) ¿Cuántas unidades existen y en qué países?</p> <p>.....</p>
1.6	<p>Capacidades de tratamiento</p> <p>i) ¿Cuál es la capacidad de las plantas existentes en toneladas/años?</p> <p>.....</p> <p>ii) ¿Puede adaptarse esta tecnología a capacidades superiores o inferiores?</p> <p>.....</p>
1.7	<p>Suministro de material de desecho</p> <p>¿En qué forma deben presentarse los materiales que se han de descontaminar?:</p> <p>bidones</p> <p>otros envases</p> <p>pretratados, en el caso de transformadores y capacitores</p> <p>.....</p> <p>otras condiciones</p>
1.8	<p>Otros materiales contaminados</p> <p>Aunque no entran dentro del ámbito de esta encuesta, especifíquese si la tecnología permite tratar otros materiales contaminados:</p> <p>suelos</p>

	<p>lodos y aguas</p> <p>diversos objetos contaminados, como ropa, embalajes, madera, etc.</p> <p>.....</p>
--	--

1.9	<p>Costos del tratamiento</p> <p>Costos unitarios aproximados del tratamiento de los siguiente artículos, según sea aplicable:</p> <ul style="list-style-type: none"> o aceites de transformador o aceites de desecho o transformadores o capacitores
------------	--

1.10	<p>Aplicabilidad de la tecnología a los citados materiales contaminados</p> <p>¿Hay ciertas condiciones en las que la tecnología sea particularmente adecuada en cuanto a los materiales que han de tratarse o la eficacia?</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>¿Tiene la tecnología exigencias o limitaciones concretas en cuanto a aplicabilidad, costo, etc.?</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>¿Cuáles son las principales ventajas de la tecnología por comparación con otros métodos?</p> <p>.....</p> <p>.....</p>
-------------	--

<p>1.11</p>	<p>Consideraciones ambientales</p> <p>¿Requiere la tecnología instalaciones accesorias de tratamiento para efluentes gaseosos, sólidos o líquidos? Si es así, sírvase dar detalles</p> <p>.....</p> <p>.....</p>
<p>1.12</p>	<p>Sírvase agregar la información o las observaciones que considere convenientes</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p>
<p>1.13</p>	<p>Información para el contacto (direcciones, número de fax, correo electrónico,...)</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p>

ANEXO 2 RESPUESTAS DE LAS EMPRESAS

ABB Service (Alemania)

Razón social:	ABB Service GmbH Postfach 10 01 44 44001 Dortmund <u>Alemania</u>
	fax: + 49 231 9982 202 tel: + 49 231 9982 200 e-mail: <u>Dirk.Neupert@de.abb.com</u> sitio web: <u>www.abb.de/pcb</u>
Persona de contacto:	D Neupert
Tecnología:	Descontaminación de equipos eléctricos por lavado, con reciclado de sólidos
Aplicación:	A transformadores, capacitores y retroalimentación
Disponibilidad:	Una unidad fija en Alemania, tres unidades móviles
Capacidades:	n/d
Costo:	Muy variable según el producto, pero entre 0,80 y 2,50 euros/kg*
Descripción:	a) Los transformadores se vacían y tratan con solvente caliente. A continuación se seca y desmantela el equipo. Las cajas exteriores se envían para su fundición; a continuación las piezas se limpian más a fondo para su reciclado. Las bobinas de cobre se descontaminan parcialmente. Las piezas de cerámica se utilizan para la construcción de carreteras. b) Los PCB extraídos se concentran y el solvente se recicla. El concentrado se envía a empresas de productos químicos para su conversión a ácido clorhídrico. La madera y el papel altamente contaminados se someten a termotratamiento. c) De los transformadores se recupera en general un 98% aproximadamente, dejando una contaminación residual de PCB de unas 2 ppm.

* 1 euro = US \$0,90 en agosto de 2000

d) Los capacitores se pueden tratar con la misma técnica de desmontado.

AMEC GeoMelt (Reino Unido, EE.UU., Australia)

Razón social: AMEC GeoMelt-Mundial

REINO UNIDO/EUROPA

AMEC GeoMelt
11 the Boulevard
Crawley
West Sussex RH10 1UX

Reino Unido

Tel: +44(0)1293-528755
Fax: +44(0)01293-584994
e-mail: don.fraser@amec.com
sitio web: <http://www.geomelt.com>

EE.UU./CANADÁ

AMEC Earth and Environmental
2952 George Washington Way
Richland
Washington 99352

Estados Unidos de América

Tel: +1 509 375 0710
Fax: +1 509 375 7721
e-mail: LETatGeosafe@aol.com
sitio web: <http://www.geomelt.com>

REGIÓN DE ASIA Y EL PACÍFICO

AMEC Environmental Asia Pacific
Level 1, 431-439 King William Street
Adelaida, Australia Meridional 5000

Australia

Tel: +61 8 84103133
Fax: +61 8 84103122
e-mail: dosborne@amec.com.au
sitio web: <http://www.geomelt.com>

Persona de contacto: Don Fraser (Reino Unido/Europa)
Leo Thompson (EE.UU./Canadá)
David Osborne (Asia y el Pacífico)

Tecnología: Vitrificación de materiales contaminados

Aplicación: A suelos, desechos, aceites, suelos y equipos contaminados por PCB

Disponibilidad: Una en Australia
Una en Japón
Dos en EE.UU.

Capacidades: Cada unidad procesa de 30 a 150 t/día

Costo: Aceites de transformador: US\$ 5-10/galón
Aceites de desecho US\$ 5-10/galón
Suelos contaminados US\$ 500/ton

Descripción:

El proceso por lotes vitrifica suelos y desechos contaminados aplicando una corriente eléctrica entre electrodos. Como la reacción básica es una vitrificación, es necesario que esté presente un material que, como el suelo, actúe como medio vitrificante. Los desechos, residuos y aceites y equipos como capacitores pueden agregarse al suelo para su tratamiento.

Los lotes se pueden procesar o bien en el terreno (in situ) o bien por encima de éste en receptáculos revestidos de refractario.

Los materiales orgánicos, como los aceites de PCB, se destruyen por pirólisis térmicamente inducida y reacciones de descloración en los suelos calientes adyacentes al medio fundido.

La unidad está provista de otras unidades de tratamiento sin gas, incluidos depuradores, oxidantes térmicos y carbón activado. La EPA de los Estados Unidos ha autorizado la utilización de esta tecnología en el país para un uso más amplio con PCB.

Aprochim (Francia)

Razón social:	Aprochim B.P. 13 53290 Grez-en-Bouère <u>Francia</u>
	fax: + 33 243 70 68 26 tel: + 33 243 09 14 50 e-mail: contact@aprochim.com sitio web: http://www.aprochim-env.com/
Persona de contacto:	Ph Kieffer
Tecnología:	Descontaminación del equipo y los aceites utilizando solventes
Aplicación:	A transformadores, capacitores, aceites dieléctricos, aceites de desecho, retroalimentación
Disponibilidad:	Tres unidades: Francia, España y Brasil
Capacidades:	15.000 t/año, 2000 t/año, y 2000 t/año
Costo:	Aceites de transformador: 0,229 a 0,840 euros/kg* Aceites de desecho: 0,145 a 0,640 euros/kg Transformadores: 0,950 a 1,60 euros/kg Capacitores: 0,160 a 1,40 euros/kg
Descripción:	a) Transformadores y capacitores se lavan y desmantelan, separando las cajas de los núcleos. Las piezas similares (cajas, bobinas, núcleos de capacitor, etc.) se tratan en cámaras separadas con solvente en vapor. El tiempo de tratamiento se ajusta a la naturaleza de la pieza (accesibilidad al solvente). b) Las piezas metálicas lavadas se reciclan como chatarra. c) Los aceites se tratan con el solvente para extraer los PCB. Los productos son aceites reutilizables y un concentrado de PCB.

* *1 euro = US \$0,90 en agosto de 2000

d) El solvente obtenido del equipo y de la descontaminación del aceite se destila en operación continua para su reutilización, y el concentrado de PCB se convierte en HCl en la planta química de ATOCHEM también en Francia.

e) La tecnología se utiliza también para la descontaminación de suelos, hormigón, piedra de cantera, etc. Está disponible como unidad móvil.

Bilger (Alemania)

- Razón social:** Bilger Umweltconsulting GmbH
Rodenbacher Chaussee 6
63457 Hanau
Alemania
- fax: +49 6181 58 2686
tel: +49 6181 58 2684
e-mail: 310064528900-001@t-online.de
sitio web: <http://www.tp-hanau.de/bilger/index.htm>
- Persona de contacto:** E Bilger
- Tecnología:** Sodio para la destrucción de PCB en aceites de transformador
- Aplicación:** A aceites dieléctricos y de desecho; también a transformadores y capacitores
- Disponibilidad:** Plantas comerciales en plena escala en Francia, Reino Unido, Países Bajos y Alemania, más otra planta a media escala en Alemania.
- Capacidades:** Entre 3000 y 50.000 t/año, según la planta
- Costo:** Depende de varios factores, en general inferior al de la incineración, excepto en el caso de PCB puros.
- Descripción:** Los aceites contaminados se tratan con partículas de sodio metálico muy finas (de un diámetro entre 1 y 10 μ). Las moléculas organocloradas reaccionan dando productos orgánicos no clorados más cloruro sódico.
- La tecnología es así mismo aplicable a transformadores y capacitores previamente despedazados a finas piezas; esto se puede hacer por trituración en nitrógeno líquido. La dispersión de sodio utilizada en la tecnología esta disponible en el comercio.

CINTEC (Canadá)

Razón social:	CINTEC 7475 Newman Bld Suite 309 LaSalle Quebec <u>Canadá</u> H8N 1X3
	fax: +1 514 365 2964 tel: +1 514 364 6860 e-mail: pguerin@cintec.ca sitio web: http://www.cintec.ca/English/English.htm
Persona de contacto:	P Guerin
Tecnología:	Lavado con solvente que permite el reciclado de partes metálicas
Aplicación:	A transformadores y capacitores eléctricos
Disponibilidad:	Tres unidades en Canadá
Capacidades:	Capacidad: 2000 t/año
Costo:	Transformadores: Can\$1,50 / lb Capacitores: Can\$4,00 / lb
Descripción:	<p>a) Tras el drenado, el transformador se lava con solvente antes de su desmantelamiento. A continuación se separa el núcleo de la caja y se coloca en una unidad de descontaminación que funciona a presión reducida. Las piezas se someten a un tratamiento cíclico en el que se alternan el solvente líquido y el vapor.</p> <p>A continuación las piezas limpias se separan en metales semejantes y se pueden procesar como metales para una segunda fusión (por ejemplo, bobinas de cobre), o se pueden recuperar para su reutilización (armaduras metálicas, tuercas, núcleos ferromagnéticos, cajas, etc.)</p>

b) Los capacitores se drenan y después de dismantelan, separando los rollos de aluminio/papel de las cajas. Estas se descontaminan junto con las cajas de los transformadores. Los núcleos se limpian con el mismo tratamiento cíclico con solvente.

El solvente se recicla y el concentrado de PCB se envía para su incineración.

c) Los materiales porosos (madera, cartón) no se pueden descontaminar satisfactoriamente y se incineran. Cintec dispone además de un pequeño incinerador móvil.

d) Los transformadores y capacitores con más de 10.000 ppm de PCB / kg, se pueden tratar para reducir esas concentraciones a menos de 50 mg / kg en material poroso, y de 0,010 mg/ 100 cm² en superficies metálicas.

Cleanaway (Reino Unido)

- Razón social:** Cleanaway
Airborne Close
Arterial Road
Leigh-on-Sea
Essex SS9 4EL
Reino Unido
- fax: +44 1277 723524
tel: +44 1277 234567
e-mail: mhall@cleanaway.co.uk
sitio web: <http://www.gknplc.com/customers/industserv/cleanaway.htm>
- Persona de contacto:** Mervyn Hall
- Tecnología:** Limpieza por solvente de transformadores con recuperación del metal; más incineración a alta temperatura de residuos, aceites y capacitores triturados.
- Aplicación:** A transformadores eléctricos, capacitores, aceites y todos los materiales contaminados por PCB.
- Disponibilidad:** Un incinerador en el Reino Unido
- Capacidades:** Más de 5000 t/año
- Costo:**
- | | |
|---------------------------|-------------|
| Aceites de transformador: | US\$ 800/t |
| Aceites de desecho: | US\$ 500/t |
| Transformadores: | US\$ 1000/t |
| Capacitores: | US\$ 1600/t |
- Descripción:** Los transformadores contaminados se limpian con solvente y se recuperan las partes metálicas valiosas. Los residuos con PCB se envían para su destrucción por incineración a alta temperatura (más de 1200°C).
- Los capacitores se despedazan antes de su incineración a alta temperatura.
- Los residuos orgánicos de transformadores se incineran junto con todos los demás materiales secundarios contaminados.

Eco Logic (Canadá)

- Razón social:** Eco Logic
143 Dennis Street
Rockwood
Ontario
Canadá NOB 2KO
- fax: + 1 519 856 9235
tel: + 1 519 856 9591 ext. 203
e-mail: kummlib@eco-logic-intl.com
sitio web: www.eco-logic-intl.com
- Persona de contacto:** Beth Kummling
- Tecnología:** Reducción a alta temperatura de compuestos orgánicos a metano y HCl en presencia de hidrógeno a 850-875°C.
- Aplicación:** A aceites dieléctricos, aceites de desecho, transformadores eléctricos, capacitores y retroalimentación.
- Disponibilidad:** Planta comercial en plena escala en Australia
Unidades portátiles de demostración en Canadá y Japón
- Capacidades:** Plena escala (Australia): 840 t/año
Plantas portátiles: 2 a 50 t/año
- Costo:** No disponibles; en muchos casos inferiores a la incineración
- Descripción:**
- a) La tecnología de descontaminación de Eco Logic se basa en un proceso a alta temperatura pero sin incineración que incluye la reducción química en fase gaseosa de compuestos orgánicos mediante hidrógeno a temperaturas de 850°C o superiores. Los compuestos orgánicos se reducen a metano, cloruro de hidrógeno y pequeñas cantidades de benceno y etileno. El HCl se neutraliza en el gas de enfriamiento. En el proceso se utiliza vapor para la termotransferencia y esto favorece la formación de monóxido y dióxido de carbono.
 - b) El proceso consta de varias fases. En el primer reactor los diversos productos que han de tratarse se llevan a una forma adecuada para su procesamiento. La reacción en fase gaseosa

se produce en el reactor principal. La tercera fase se desarrolla en el sistema de limpieza de gas; la cuarta incluye la compresión de los gases del producto y la unidad de almacenamiento.

c) Los desechos sólidos contaminados, como equipos eléctricos, deberán abrirse o punzarse para poder acceder a ellos. A continuación se tratan en el primer reactor para desorber los contaminantes. Estos últimos pasan al reactor principal. Los líquidos contaminados se pueden inyectar directamente para su conversión en el reactor principal.

d) El proceso Eco Logic se ha utilizado sobre todo para el tratamiento de equipos eléctricos y plaguicidas. El proceso es polivalente y actúa sobre todos los componentes orgánicos presentes en los desechos; por consiguiente, se puede aplicar a materiales orgánicos complejos peligrosos. Se están haciendo pruebas para su adaptación a otros sólidos, como suelos.

ELF Atochem (Francia)

Razón social: ELF Atochem
Usine de St Auban
04600 Saint Auban
Francia

fax: + 33 492 33 78 17
tel: + 33 492 33 75 00
e-mail: Pierre.Cattet@stau.elf-atochem.fr
sitio web: http://www.atofina.com/groupe/gb/f_elf.cfm

Persona de contacto: P Cattet

Tecnología: Conversión térmica de PCB a ácido clorhídrico

Aplicación: A aceites dieléctricos y de desecho y a otros residuos clorados.

Disponibilidad: La planta se sitúa en el sur de Francia, en St Auban

Capacidad: 5000 t/año

Costo: n/d

Descripción: El horno de alta temperatura está provisto de una columna de enfriamiento y cuatro unidades de absorción para el HCl. Los gases secundarios se limpian. El proceso se caracteriza por su alta eficiencia y nula producción de efluente.

La planta trabaja en estrecha colaboración con el proceso de descontaminación de solvente de Aprochim, también en Francia, y convierte en HCl los concentrados de solvente con PCB recibidos de la empresa.

Fluidex (Sudáfrica)

- Razón social:** Fluidex Engineering (Pty) Ltd
PO Box 9004, Edleen 1625
6, Ossewa Street
Chloorkop Ext 19
Sudáfrica
- fax: + 27 11 393 4222/4
tel: + 27 11 393 1033
e-mail: fluidex@fluidex.co.za
sitio web: www.fluidex.co.za
- Persona de contacto:** Caron Boone
- Tecnología:** De descloración química con sodio
- Aplicación:** A aceites dieléctricos, también retroalimentación
- Disponibilidad:** Dos unidades en Australia; una unidad en Sudáfrica
- Capacidades:** 550 litros/h
- Costo:** Aceites de transformador: aproximadamente US\$ 0,15 / litro
(a 100 ppm de contenido de PCB)
- Descripción:**
- a) En primer lugar se drena el aceite de transformadores y capacitores, y después se hace un tratamiento con una dispersión de sodio para destruir los PCB con formación de una sal básica. Los productos secundarios de la reacción se separan y el aceite se recicla. El proceso permite tratar concentraciones de PCB hasta de 1000 ppm.

 - b) Se ha de advertir que la tecnología se asocia a un sistema de purificación del aceite (utilizando tierra de Fullers), con lo cual el aceite del transformador puede también limpiarse de las partículas que inevitablemente se acumulan a causa de los materiales de celulosa que existen en el aparato. Este aceite se puede reutilizar como aceite de transformador.

Grosvenor Power (Reino Unido)

- Razón social:** Grosvenor Power Services Ltd
Carrington Business Park
Carrington
Manchester
Inglaterra M31 4DD
- fax: + 44 161 776 4078
tel: + 44 161 776 1955
e-mail: sales@grosvenorpower.dem.co.uk
sitio web: -
- Persona de contacto:** Charles Beck
- Tecnología:** "Polygon": proceso de descloración catalítica de aceites contaminados con PCB
- Aplicación:** A aceites dieléctricos, incluido retroalimentado
- Disponibilidad:** En el Reino Unido existen dos unidades, una de ellas móvil
- Capacidades:** Capacidad total: 6600 t/año
- Costo:** Aceites de transformador: entre £500 y £1000 /t, según la composición
- Descripción:** El aceite circula a través de un lecho de un catalizador patentado que extrae el cloro, con lo que el aceite pierde su peligrosidad y queda dispuesto para su reutilización. No se producen efluentes gaseosos ni líquidos, pero el catalizador sódico debe cambiarse y eliminarse al final de su tiempo de vida útil.
- El proceso está especialmente indicado en el tratamiento de pequeñas cantidades de aceites en países que no tienen acceso a instalaciones de incineración.
- No se necesitan equipos accesorios, únicamente un abastecimiento eléctrico para las bombas y el sistema de calefacción.

Manitoba Hydro (Canadá)

Razón social: Manitoba Hydro
1840 Chevrier Blvd
Winnipeg
Manitoba R3T 1Y6
Canadá

fax: + 1 204 474 4756
tel: + 1 204 474 4366
e-mail: nmelnychuk@hydro.mb.ca
sitio web: <http://www.hydro.mb.ca>

Persona de contacto: Nancy Melnychuk

Tecnología: Reacción con sodio metálico

Aplicación: A aceites, incluida retroalimentación

Disponibilidad: Cinco unidades en EE.UU.

Capacidades: 12.600 t/año

Costo: Aceites de transformador: Can\$ 4/galón (para un contenido de PCB no especificado)

Descripción: El proceso utiliza sodio metálico para destruir químicamente los PCB, que se transforman en sal común y productos secundarios no peligrosos. El aceite se calienta antes de introducirlo al reactor. Tras la reacción, se centrifuga el producto para separar los materiales de desecho. El proceso genera 45 mg de solución de cloruro/hidróxido sódico por litro de aceite procesado; el producto se reutiliza industrialmente como solución cáustica. Se necesita una filtración para separar el polímero solidificado que se ha formado. Éste se puede evacuar en un terraplén.

El proceso es especialmente adecuado para líquidos con baja presión de vapor con menos del 5% de contenido de agua. No se producen efluentes gaseosos. El aceite tratado se reutiliza en aparatos eléctricos.

S D Myers (Estados Unidos de América) (1)

- Razón social:** S D Myers International
180 South Avenue
Tallmadge
Ohio 44278
EE.UU.
- fax: +1 330 633 6458
tel: +1 330 630 7000 (ext. 3200)
e-mail: dana_myers@sdmyers.com
sitio web: <http://www.sdmyers.com/>
- Persona de contacto:** Dana S Myers, o Pierre Lefebvre (sdm.lefebvre@videotron.ca)
- Tecnología:** Descontaminación de equipos eléctricos
- Aplicación:** A transformadores y capacitores
- Disponibilidad:** Dos unidades en EE.UU.
Una unidad en Brasil
- Capacidades:** 400 to 11.000 t/año
- Costo:** A petición
- Descripción:** Transformadores y capacitores se drenan de sus líquidos y se desmontan. Las piezas se lavan con un solvente que se destila para su reutilización. Las piezas se limpian hasta una concentración inferior a 10 µg de PCB/100 cm² y se comercializan. Los concentrados de PCB se envían al exterior para su destrucción
- Se puede reciclar el 95% aproximadamente del transformador. Los capacitores se reciclan mucho menos, en un 25% aproximadamente.

S D Myers (Estados Unidos de América) (2)

Razón social:	La misma que antes
Persona de contacto:	Dana S Myers, o Pierre Lefebvre (sdm.lefebvre@videotron.ca)
Tecnología:	PCB-Gone: descloración
Aplicación:	A aceites minerales y retroalimentación
Disponibilidad:	Dos unidades en EE.UU. Una unidad en Canadá Una unidad en el Reino Unido Una unidad en Arabia Saudita
Capacidades:	7000 a 12.000 t/año
Costo:	A petición
Descripción:	El proceso desclora aceites y también permite extraer productos de degradación como ácidos y lodos.

Se puede aplicar a transformadores de energía de todos los tamaños, reduciendo las concentraciones de PCB a menos de 50 ppm.

El límite superior de tratamiento es de unas 10,000 ppm de contenido de PCB; es preciso que no haya solventes ni agua libre.

La compañía utiliza además otros dos procesos de descloración llamados PCBX y PCBD:

El PCBX trata aceites contaminados hasta un contenido de PCB de 10.000 ppm y lo reduce a menos de 50 ppm; se adapta particularmente a la retroalimentación

El PCBD trata aceites en un desclorador estacionario relativamente poco costoso y reduce las concentraciones de PCB de unas 800 ppm a menos de 2 ppm.

La tecnología PCBX se utiliza en dos unidades en EE.UU. La tecnología PCBD se utiliza en dos unidades en Australia y una en Sudáfrica.

Ontario Power (Canadá)

- Razón social:** Ontario Power
800, Kipling Avenue
Toronto
Ontario
Canadá M8Z 6C4
- fax: +1 (416) 207 6865
tel: +1 (416) 207 5876
e-mail: envtech@oht.hydro.on.ca.com
sitio web: <http://www.o-pt.com>
- Persona de contacto:** L González
- Tecnología:**
- a) Proceso móvil de destrucción química a baja temperatura
 - b) Proceso de descontaminación por extracción de PCB con solvente a baja temperatura.
- Aplicación:**
- a) A aceites dieléctricos y de desecho
 - b) A transformadores y capacitores eléctricos
- Disponibilidad:**
- a) Dos remolques
 - b) Una unidad fija
- Capacidades:**
- a) 1,000 l/h para cada remolque para bajas concentraciones de PCB: menos de 7000 ppm de PCB. Se pueden tratar unos 30 kg/h de PCB casi puros
 - b) 200 t/año de material sólido
- Costo:** Depende mucho de las circunstancias, pero en todo caso inferior a la incineración en ambas tecnologías
- Descripción:**
- a) El proceso utiliza sodio metálico para destruir químicamente los PCB en aceites, lo que da sal común y productos secundarios no peligrosos. El reactivo es una fina dispersión de sodio en un aceite mineral. El aceite contaminado se calienta antes de colocarse en el reactor. Tras la reacción, el producto se centrifuga para separar materiales de desecho. El proceso genera 45 mg de solución de cloruro/hidróxido sódico por litro de aceite procesado; el producto secundario se reutiliza industrialmente como

solución cáustica. Se necesita una filtración para separar el polímero solidificado que se forma. Éste se puede evacuar en un terraplén.

b) El proceso es particularmente adecuado para líquidos con baja presión de vapor y con menos del 5% de contenido de agua. No se producen efluentes gaseosos. El aceite tratado se reutiliza en aparatos eléctricos.

c) El rendimiento del proceso se ha estudiado con cierto detalle en lo que respecta a las concentraciones residuales después del tratamiento. Éste es un dato especialmente interesante para los países donde los límites residuales de PCB son particularmente bajos.

En Canadá, donde se sistematizó la tecnología, pueden alcanzarse fácilmente los siguientes límites residuales legales:

- en sólidos: 50 ppm/kg
- en superficies: 10µg/100 cm²

Aunque con un tiempo de procesamiento más largo, puede incluso alcanzarse la norma propuesta por Japón de 0.5 ppm/kg de sólido. **Nota:** El nivel propuesto de contaminación de superficie en Japón para los PCB es de 0,1µg PCB/100 cm².

Orion BV (Países Bajos)

Razón social:	Orion BV De Steven 25 9206 DX Drachten <u>Países Bajos</u>
	fax: + 31 512 541 130 tel: + 31 512 532 515 e-mail: info@orion-pcbs-conversion.nl sitio web: -
Persona de contacto:	D Hogendoorn
Tecnología:	Tratamiento por solvente con reciclado de metales y recuperación de aceites.
Aplicación:	A transformadores, capacitores y aceites
Disponibilidad:	Existe una unidad en los Países Bajos
Capacidades:	20.000 t/año
Costo:	Aceites de transformador: 1250 euros/t* (US\$1,2 / kg.) Aceites de desecho: 1500 euros/t (US\$ 1,43 / kg.) Transformadores: 1500 euros/t (US\$ 1,43 / kg.) Capacitores: 1900 euros/t (US\$ 1,80 / kg.)
Descripción:	a) El proceso se basa en la limpieza con solvente asociada a un incinerador. Tras el drenado, el transformador se inunda con solvente y a continuación se desmantela. A continuación, las partes metálicas (acero, cobre y aluminio) se limpian con solvente y reutilizan. Se incinera el 5% aproximadamente del transformador (piezas porosas, por ejemplo, de madera y cartón). b) Los capacitores se abren cortándolos y se drenan. Los metales y los materiales aislantes se limpian, mientras que el producto lámina metálica/polímero se incinera. Se recupera para su reutilización como metal el 50% aproximadamente del capacitor.

* 1 euro = US \$0,90 en agosto de 2000

c) El aceite se trata con un solvente para extraer los PCB. El solvente se destila obteniéndose un solvente limpio para su reutilización y un concentrado de PCB que se transforma en ácido clorhídrico.

d) El proceso Orion permite reciclar el 95% aproximadamente de la totalidad de los materiales contaminados. Los productos restantes, incluidos los PCB, se destruyen de conformidad con los reglamentos del gobierno holandés.

Papusha Rocket Tecnología (Federación de Rusia)

Razón social:	Russian Space Agency Pionerskaya 4 Korolev 141070 <u>Federación de Rusia</u> fax: +95 513 5606 tel: +95 513 5606 e-mail: - sitio web: -
Persona de contacto:	A I Papusha
Tecnología:	Destrucción química a alta temperatura
Aplicación:	PCB y aceites de desecho; todos los contaminantes orgánicos
Disponibilidad:	En Rusia está en funcionamiento una unidad
Capacidades:	Una t/hora
Costo:	Aproximadamente US\$ 15000/t (independientemente de la concentración de PCB)
Descripción:	<p>El proceso se basa en un tratamiento térmico y químico. El producto se calienta con gran rapidez hasta unos 3000°C, con lo que se "atomizan" las moléculas orgánicas. A continuación y también muy rápidamente, el chorro de gas se enfría en presencia de oxígeno para obtener moléculas biatómicas simples (HCl, CO₂, etc.), que se puedan neutralizar con facilidad.</p> <p>El proceso, basado en la tecnología de los motores de los cohetes, puede situarse entre la incineración convencional y la detoxificación plasm-química. Permite tratar sustancias líquidas y en polvo. Se afirma que alcanza una destrucción del 99,9995%.</p> <p>La unidad de 1t/h, tiene un tamaño aproximado de 4.5m x 1.8m x 1.5m.</p>

Petrochimtekhologii (Federación de Rusia)

Razón social: Malookhtinskiy pr. 68
195112 St Petersburg
Federación de Rusia

fax: + 812 528 8990
tel: + 812 528 0085
e-mail: flash@mail.wplus.net
sitio web: -

Persona de contacto: Eugenii Gousarov

Tecnología: Lavado con solvente del equipo eléctrico seguido de una destrucción plasmó-química de PCB.

Aplicación: A equipos eléctricos y aceites, también a aceites de desecho

Disponibilidad: Una unidad en Rusia, y en China una unidad de gran tamaño pero que funciona con otros contaminantes

Capacidades: Un módulo puede tratar 50-60 kg./h

Costo: Se calcula que, en las condiciones de Rusia el costo es de US\$ 580/t para materiales que contienen PCB.

En el caso del equipo eléctrico, el costo del tratamiento de un transformador es de US\$ 175/t de PCB extraídos.

Descripción: Éste es un proceso en dos fases con equipos eléctricos que en primer lugar se descontaminan mediante el uso de un solvente que extrae los PCB; el solvente se utiliza en forma líquida y de vapor. Las piezas metálicas se recuperan para su reutilización.

La originalidad del proceso se encuentra en la segunda fase, una unidad químico-plasmática que permite destruir los PCB recuperados y otros contaminantes similares. De hecho, esta fase se divide en dos etapas:

1) calentamiento de los contaminantes para producir una fase gaseosa. (A la máxima temperatura posible pero sin que se llegue a la descomposición)

2) introducción del producto gaseoso en el principal reactor de plasma (con brevísimo tiempo de residencia y temperaturas muy elevadas)

Se afirma que este proceso permite utilizar una pequeñísima cámara de plasma, lo que reduce los problemas de corrosión y mantenimiento. Sólo se producen vapor, dióxido de carbono y HCl

Powertech (Canadá)

Razón social:	Powertech Labs Inc. 12388 88th Avenue Surrey British Columbia <u>Canadá V3W 7R7</u>
	fax: +1 604 590 7489 tel: +1 604 590 7438 e-mail: keith.lee@powertech.bc.ca sitio web: http://www.powertech.bc.ca/cfm/pwrt0000.cfm
Persona de contacto:	K Lee
Tecnología:	Extracción del cloro de los PCB mediante una dispersión de sodio metálico
Aplicación:	A aceites dieléctricos y de desecho; también a capacitores
Disponibilidad:	Una unidad en Canadá; una planta piloto en Japón
Capacidades:	700 t/año en Canadá
Costo:	Aceites de transformador: Can\$ 0,90 /kg. (contenido de PCB no especificado) Aceites de desecho: Can\$ 0,60 /kg.
Descripción:	<p>El aceite se trata con una dispersión de sodio para destruir los PCB, obteniéndose cloruro sódico. La dispersión de sodio utilizada está disponible en el comercio.</p> <p>El proceso se desarrolla a bajas temperaturas y no produce efluentes gaseosos. El aceite se recicla.</p> <p>La tecnología se puede además aplicar a substratos sólidos.</p>

Safety-Kleen (Estados Unidos de América)

- Razón social:** Safety-Kleen
1672 Highland Road
Twinsburg
Ohio 44082
Estados Unidos de América
- fax: +1 330 487 5284
tel: +1 330 425 3825
e-mail: -
sitio web: <http://www.safety-kleen.com/>
- Persona de contacto:** Walt Chambers
- Tecnología:** Lavado con solvente del equipo y extracción del cloro de los PCB mediante sodio metálico (proceso PPM)
- Aplicación:** A transformadores y otros equipos eléctricos, y también a aceites
- Disponibilidad:** En EE.UU. existen tres unidades
- Capacidades:** 16.000 t/año para el equipo eléctrico;
40.000 t/año para los aceites
- Costo:**
- | | |
|---------------------|---|
| Transformadores: | US\$ 0,75/lb (US\$ 1,65/kg.) |
| Capacitores: | US\$ 1,50/lb (US\$ 3,3/kg.) |
| Aceite: | US\$ 1,00/galón (unos 22¢/litro) |
| Aceites de desecho: | dependiendo del aceite unos
US\$ 2,00/galón (unos 44¢/litro) |
- Descripción:** Después de ser drenados los transformadores y otros equipos eléctricos se descontaminan utilizando solvente y, a continuación, se desmontan. Los núcleos y bobinas se tratan de la misma manera. El solvente se recicla y reutiliza.
- Más del 90% del peso total del equipo eléctrico se recupera en forma de metales, mientras que el resto se puede evacuar a un terraplén o incinerar.

A continuación, los concentrados de PCB se descloran con sodio metálico lo que conduce a la formación de una sal sódica y polifenol.

El proceso da un producto oleoso no reglamentado que se puede utilizar como aceite combustible.

El proceso es particularmente adecuado para aceites de un contenido de PCB inferior a 1500 ppm. La concentración máxima aprobada para este tratamiento es de 12.200 ppm.

Sanexen (Canadá)

- Razón social:** Sanexen
579, rue Le Breton
Longueuil
Quebec
Canadá J4G 1R9
- fax: +1 450 646 5127
tel: +1 450 646 7878
e-mail: jpaquin@sanexen.com
sitio web: www.sanexen.com
- Persona de contacto:** A Sauriol, R Hills, J Paquin
- Tecnología:** Descontaminación de componentes eléctricos por extracción con solvente; llamada proceso DECONTAKSOLV™
Proceso de descloración de aceite (DCR)
- Aplicación:** A transformadores, capacitores, etc. eléctricos, y a chatarra.
Aceites dieléctricos y retroalimentación
- Disponibilidad:** Dos unidades en Canadá
- Capacidades:** Para aceites, generalmente unos 1000 l / min, pero se puede alcanzar un máximo de 5000 l / min.
Para transformadores, 2000 t / año para cada unidad
- Costo:** Transformadores: Can\$ 1,50 a \$2,50 /kg
Aceites de transformador: Can\$ 0,50 a \$1,50 / kg
dependiendo de la concentración de PCB y las impurezas
- Descripción:**
- a) El proceso permite tratar equipos eléctricos contaminados como transformadores, interruptores de circuito y electromagnetos, permitiendo la recuperación del metal contenido
 - b) La tecnología utiliza un solvente en un circuito cerrado para extraer los PCB de las distintas piezas. La eficiencia de la descontaminación depende de los cambios de fase que se apliquen al solvente durante el proceso. Esto

permite una penetración en profundidad del solvente en los intersticios de los componentes. A continuación, el solvente que contiene PCB se trata mediante el proceso DCR.

- c) El proceso de limpieza del transformador se viene utilizando desde 1985 y permite elevados niveles de recuperación de componentes metálicos.
- d) Los aceites se tratan con un reactivo basado en sodio y después se pueden reutilizar en transformadores. El proceso, que se puede desarrollar con una unidad móvil, trata aceites con concentraciones de PCB inferiores a 5000 ppm. Por encima de esta concentración, el proceso es menos efectivo en relación con el costo.
- e) En los precios que antes se han expuesto no se incluye el costo de la incineración de materiales porosos residuales como madera y papel.

Shanks (Reino Unido)

- Razón social:** Shanks Chemical Services
Pontyfelin Industrial Estate
New Road
Panteg
Pontypool
Gwent NP4 5DQ
Reino Unido
- fax: +44 1495 757019
tel: +44 1495 756231
e-mail: andrew.falconbridge@shanks.co.uk
sitio web: <http://www.shanks.co.uk/>
- Persona de contacto:** Andrew Falconbridge
- Tecnología:** Termotratamiento de ciertas partes del equipo previo a la recuperación de los metales; incineración de todos los demás materiales
- Aplicación:** A transformadores eléctricos; aceites y capacitores se eliminan en un incinerador a alta temperatura
- Disponibilidad:** Un incinerador en el Reino Unido
- Capacidades:** Capacidad total de todos los materiales incinerados: 30.000 t/año
- Costo:**
- | | | |
|--------------------------|------------|-------------------|
| Aceite de transformador: | GB£ 600 /t | (unos 95c / kg) |
| Transformadores: | GB£ 650 /t | (unos \$1,03 /kg) |
| Capacitores: | GB£ 550 /t | (unos 87c / kg) |
| Aceites de desecho: | GB£ 400 /t | (unos 63c/ kg) |
- Descripción:** La tecnología comprende un tratamiento del equipo eléctrico previo a la incineración. Este tratamiento previo (calcinación) permite descontaminar ciertas partes del transformador (bobinas) y de los capacitores (núcleos), y la recuperación del metal para su reutilización. Las partes restantes se incineran al igual que el aceite del equipo eléctrico.
- La tecnología se clasifica como de reciclado en el caso de los transformadores.

Shinko Pantec (Japón)

Razón social: Shinko Pantec Co. Ltd
1-1-4, Murotani
Nishi-ku
Kobe 651-22
Japón

Persona de contactos: T Kawai
fax: +81 78 992 6504
tel: +81 78 992 6525
e-mail: t.kawai@pantec.co.jp
sitio web: <http://www.pantec.co.jp/>

T Shiga
fax: +81 78 232 8067
tel: +81 78 232 8133
e-mail: t.shiga@pantec.co.jp
sitio web: <http://www.pantec.co.jp/>

Tecnología: Descontaminación con solvente de transformadores y capacitores
Descloración por reacción química de aceites con dispersión de sodio

Aplicación: A equipos eléctricos y aceites de desecho

Disponibilidad: Una unidad en Japón

Capacidades: Para la planta japonesa de descontaminación del aceite, una tonelada de PCB/año

Costo: Depende de las concentraciones y de las impurezas del aceite

Descripción: a) Los transformadores y capacitores se tratan con solvente, se desmantelan y se limpian de nuevo con solvente. El proceso ha de alcanzar un rendimiento superior al de procesos similares utilizados fuera de Japón a causa de la estricta legislación japonesa.

b) Los aceites se tratan en un reactor con una dispersión de sodio especialmente hecha, más un promotor, con el fin de obtener una elevada tasa de reacción. Cuando las concentraciones de PCB

son muy elevadas se agrega un "moderador" para evitar la formación de productos de polimerización que contengan cloro y que se formen a partir de las especies cloradas.

c) Estas dos tecnologías se han aplicado con el fin de cumplir las estrictas normas japonesas para la descontaminación de PCB. El hecho de que estas normas sean tan estrictas significa que las tecnologías establecidas fuera de Japón han de ser adaptadas para que también las puedan cumplir. Las normas se refieren no sólo a las concentraciones residuales de PCB en sólidos sino también a las concentraciones residuales sobre la superficie de las piezas metálicas del transformador que se han descontaminado (en Japón se propone, aunque aún no ha entrado en vigor, una concentración de $0,1\mu\text{g}$ de PCB/ 100 cm^2 de superficie metálica).

d) Los reglamentos japoneses también son estrictos en lo que se refiere a los efluentes generados por los procesos con sodio, y la tecnología de Shinko Pantec incluye una unidad para el biotratamiento de efluente líquido que trata esos efluentes haciéndolos inocuos.

e) El proceso de Shinko Pantec es interesante para países que, como Japón, no disponen de instalaciones de incineración. Los concentrados de PCB obtenidos de la descontaminación de transformadores y capacitores deberán en estos casos ser destruidos por medios químicos, lo cual hace posible la tecnología de Shinko Pantec.

TASSCO (Canadá)

Razón social: TASSCO
158 Wallace Street
Woodridge
Ontario L4L 2P4
Canadá

fax: +1 905 851 1803
tel: +1 905 851 1803
e-mail: rusiniaks@ica.net
sitio web: -

Persona de contacto: W M Rusiniak

Tecnología: Extracción del cloro de los PCB mediante sodio metálico en unidades móviles

Aplicación: A aceites dieléctricos, retroalimentación

Disponibilidad: Una unidad en Canadá

Capacidades: n/d

Costo: Aceites de transformador: el costo depende de las especificaciones del aceite que se ha de tratar y de la concentración residual que se ha de obtener.

Descripción: Los PCB se descloran con formación de sal sódica dando un aceite limpio con un contenido de PCB residual de menos de 2 ppm de PCB. El reactivo de sodio lo prepara TASSCO, y lo suministra a sus clientes en forma de dispersión.

La unidad móvil se puede aplicar a aceites de transformador en bidones y a la retroalimentación de transformadores. En este último caso, el aceite de transformador se vuelve a analizar después de 90 días para determinar el nuevo nivel de PCB. De hecho esto es lo que habitualmente sucede con la retroalimentación que difunde el PCB de los materiales porosos existentes en el interior del transformador (en particular, madera) y provoca un pequeño aumento en el contenido de PCB del aceite. Si el resultado es una

concentración de más de 50 ppm, se repite el procedimiento de retroalimentación.

El límite del contenido inicial de PCB para el tratamiento de transformadores se sitúa en 15.000 ppm.

Tredi (Francia)

- Razón social:** Tredi
PCB International Department
1, av. Georges Pompidou
69211 LYON Cedex 03
Francia
- fax: + 33 472 13 65 00
tel: + 33 472 13 65 90
e-mail: tredi.pcb.international@wanadoo.fr
sitio web: <http://www.tredi.com>
- Persona de contacto:** P de Taisne
- Tecnología:** Descontaminación del equipo utilizando un solvente no inflamable, con recuperación de metales; también, descontaminación del equipo con reutilización. La tecnología se utiliza en asociación con un incinerador de alta temperatura.
- Aplicación:** A transformadores y, posiblemente, a capacitores
- Disponibilidad:** Dos unidades en Francia, una en Canadá, una se está poniendo en uso en Taiwan; están en marcha otros proyectos. La unidad de descontaminación está constituida por varios reactores de distintos tamaños.
- Capacidades:** Capacidad de las plantas francesas: 12.000 t/año y 2000 /año
- Costo:** No disponibles
- Descripción:**
- a) Los transformadores se vacían de PCB por aspiración y los componentes del núcleo se retiran de la caja. A continuación se vuelcan los transformadores y se tratan en autoclave con un solvente como el percloroetileno. El tiempo de tratamiento varía según la naturaleza de la pieza, pues las bobinas exigen un tratamiento mucho más largo que las piezas de metal sólido.
- El proceso tiene periodos de temperaturas y presiones alternantes. El solvente se regenera por destilación y se reutiliza.
- b) Los metales limpios se reciclan. El concentrado de PCB en el solvente se incinera en un incinerador de alta

temperatura. El gas HCl se recupera mediante un sistema de limpieza de gas.