



TRABAJOS EN EQUIPOS ELÉCTRICOS CON PCBs.

**TRANSFORMADORES Y
CONDENSADORES**



ÍNDICE

1.- Introducción

2.- Análisis de los transformadores

3.- Dieléctricos aislantes para transformadores y condensadores

3.1.- Aceites minerales

3.2.- Siliconas

3.3.- Efecto de las impurezas en el aceite

4.- Transformadores y condensadores con PCBs

4.1.- Aspectos básicos de los PCBs

4.2.- Toxicidad

4.3.- Riesgos de los PCBs

5.- Normas de seguridad

5.1.- Almacenamiento

5.2.- Planes de emergencia

5.3.- Incendio

5.4.- Vertidos y derrames

5.5.- Primeros auxilios

5.6.- Distancias a los elementos en tensión

6.- Normativa vigente

6.1.- Resumen de la normativa actual

7.- Gestión de transformadores y condensadores con PCBs

8.- Conclusiones finales

9.- Bibliografía

TERESA GONZÁLEZ RUIZ

Licenciada en Ciencias Ambientales.
Técnico Superior de Prevención de Riesgos Laborales especialidad en Seguridad en el Trabajo.

JUAN ANTONIO CALVO SÁEZ

Ingeniero Técnico Industrial (Especialidad Eléctrica).
Técnico Superior de Prevención de Riesgos Laborales en el Centro de Seguridad y Salud en el Trabajo de Santander.
Profesor Asociado de la Universidad de Cantabria.

1.- INTRODUCCIÓN

Los dieléctricos utilizados en los transformadores y condensadores eléctricos de alta tensión son actualmente objeto de una mayor atención por parte de los jefes de mantenimiento y de los responsables de la gestión medioambiental de las empresas poseedoras de este tipo de equipos, y más concretamente sus fluidos aislantes-refrigerantes.

La necesidad de establecer técnicas de mantenimiento pre-

dictivo para evitar fallos en los transformadores de potencia se debe a la importancia que tienen estos equipos en todas las áreas del sector eléctrico: generación, transporte y distribución.

Los fallos de estos aparatos conducen generalmente al deterioro de la calidad del servicio y conllevan altos costes de reparación y, por ello, es necesario establecer criterios que relacionen las causas con los modos de fallo, con el fin de fijar valores límite para determinadas variables sig-

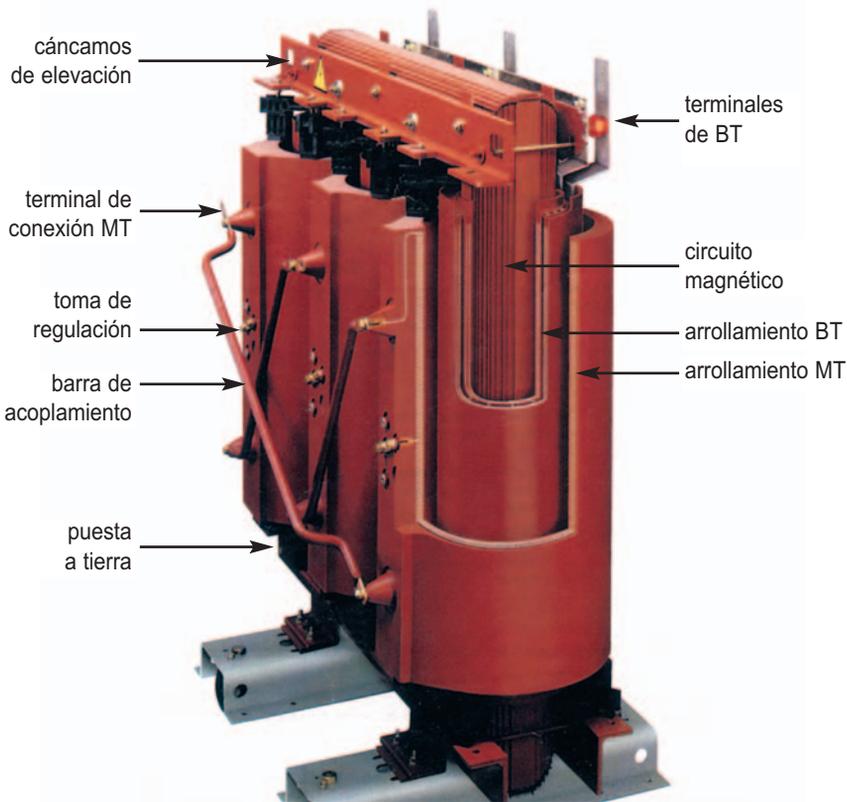


Figura 1.- Transformador de potencia de aceite mineral o silicona líquida.

nificativas del estado del equipo, y buscando el objetivo final de evitar y prevenir los incendios de origen eléctrico.

Puede considerarse que todos los fallos tienen su origen en una causa remota que desencadena una serie de fenómenos que van evolucionando con el funcionamiento continuado del transformador, hasta llegar a lo que se podría denominar causa próxima indicativa de la existencia de una avería incipiente que, si no se corrige a su debido tiempo, conduce siempre a un fallo catastrófico, como puede ser un arco eléctrico en los arrollamientos del transformador con el subsiguiente incendio.

Dado el riesgo de incendio de los transformadores y condensadores, se optó por la utilización de líquidos ininflamables a base de PCBs (Bifenilos policlorados o

policlorobifenilos).

Los fluidos dieléctricos a base de PCBs, generan problemas ambientales muy graves debido a su alta toxicidad para la salud de las personas, y han ocasionado, debido al desconocimiento de sus efectos, contaminaciones importantes.

La legislación ambiental es cada día más exigente en todo el mundo con los delitos ecológicos. Se basa en el principio: "el que contamina paga".

Como comentario final al análisis acerca de las posibilidades de contaminación de este tipo de transformadores, señalar y destacar que la tendencia en un futuro cercano es la instalación de los denominados transformadores secos, sin ningún tipo de fluido refrigerante-aislante, lo que reducirá en gran medida los riesgos de contaminación y toxicidad de estos equipos (Figura 2).

2.- ANÁLISIS DE LOS TRANSFORMADORES

Para analizar la problemática del mantenimiento, con el objetivo de identificar la localización de los fallos, las causas de los mismos y, en consecuencia, decidir las acciones preventivas necesarias, es útil descomponer el equipo en elementos más pequeños y simples a fin de facilitar el análisis técnico del transformador.

A partir del esquema conceptual de la figura 3, se podrán identificar algunas situaciones de fallos típicos en sus elementos.



Figura 2.- Transformador de tipo seco.



Figura 3.- Elementos básicos de un transformador de potencia.

3.- DIELECTRICOS AISLANTES PARA TRANSFORMADORES Y CONDENSADORES

Los dieléctricos pueden encontrarse en estado sólido (transformadores secos) o en estado líquido (aceites minerales, siliconas, PCBs).

El aceite empleado en estos últimos equipos tiene tres funciones básicas:

- **REFRIGERACIÓN:** evacuación a la atmósfera del calor debido a las pérdidas de transformación (del hierro, del cobre, y en menor medida, pérdidas dieléctricas).
- **AISLAMIENTO:** evitar que se produzcan arcos eléctricos entre elementos activos, como por ejemplo arcos entre espiras, entre bobinas de un mismo arrollamiento, entre diferentes arrollamientos...

- **PROTECCIÓN:** evitar el deterioro prematuro de los aislamientos sólidos, al que contribuyen activamente el elevado contenido en agua y las moléculas polares derivadas del proceso de oxidación del aceite.

Las características del sistema aislante papel-aceite cambian fundamentalmente en función de las propiedades del aceite (mineral o sintético).

Normalmente en los transformadores y condensadores se utilizan aceites minerales, siliconas líquidas o aceites sintéticos bio-

La necesidad de establecer técnicas de mantenimiento predictivo para evitar fallos en los transformadores de potencia se debe a la importancia que tienen estos equipos en todas las áreas del sector eléctrico: generación, transporte y distribución.

degradables.

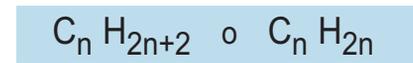
En el proceso de explotación, todos los dieléctricos aislantes se encuentran bajo los efectos de temperaturas elevadas debidas al campo eléctrico, y además, se producen contactos entre las partes metálicas de los equipos.

En cierto tipo de transformadores de potencia de alta tensión, los dieléctricos líquidos contactan incluso con el aire ambiente.

El paso del tiempo y el envejecimiento de estos fluidos se acelera debido a los catalizadores metálicos (cobre, aluminio, acero, etc.). Durante este proceso de envejecimiento se reduce considerablemente el nivel de aislamiento, sobre todo en presencia de agua.

3.1.- ACEITES MINERALES

Este tipo de fluidos aislantes son compuestos orgánicos naturales. Se obtienen de hidrocarburos refinados del petróleo. Consisten parcialmente en compuestos alifáticos cuya forma general es:



Se trata de una mezcla de cadenas rectas y ramificadas junto con compuestos cíclicos. Muchos aceites contienen una fracción considerable de compuestos aromáticos (cíclicos), muy relacionados y/o derivados del benceno (C₆H₆), naftaleno, etc. Sus propiedades físico-químicas figuran en la tabla 1.

La combustibilidad, debida a la temperatura relativamente baja de inflamabilidad de los vapores,

CARACTERÍSTICAS	ACEITE PARA TRANSFORMADORES/ CONDENSADORES
Densidad Relativa	0,86 g/cm ³
Punto de Inflamación	> 135 °C
Punto de Combustión Espontánea o Ignición (Autoinflamación)	> 200 °C
Temperatura de Solidificación	- 45 °C
Rigidez Dieléctrica a 20 °C	20 KV/m.m

Tabla 1.- Propiedades físico-químicas de los aceites para transformadores/condensadores.

constituye el mayor riesgo de incendio para los transformadores y condensadores eléctricos.

3.2.- SILICONAS

El empleo de los líquidos silicónicos, con temperatura de congelación muy baja, y una gran estabilidad de sus características eléctricas en un amplio intervalo de temperaturas, así como una gran resistencia a la oxidación, representó un logro considerable en la rama de la investigación, desarrollo y fabricación de dieléctricos sintéticos líquidos.

Su estructura química básica se compone de cadenas lineales de silicio con hidrocarburos enlazados a éste. Sus propiedades físico-químicas figuran en la tabla 2.

La rigidez dieléctrica de los dieléctricos líquidos depende en gran medida de la cantidad de agua y de otras impurezas en suspensión.

3.3.- EFECTO DE LAS IMPUREZAS EN EL ACEITE

Las partículas conductoras,

CARACTERÍSTICAS	SILICONAS LÍQUIDAS PARA TRANSFORMADORES
Densidad Relativa	0,96 g/cm ³
Punto de Inflamación	> 300 °C
Punto de Combustión Espontánea o Ignición (Autoinflamación)	> 400 °C
Temperatura de Solidificación	- 55 °C
Rigidez Dieléctrica a 20 °C	25 KV/m.m
Solubilidad en agua	≈ 0

Tabla 2.- Propiedades físico-químicas de las siliconas líquidas.

las fibras orgánicas, el agua, los gases disueltos, etc., perjudican la rigidez dieléctrica. Por otra parte, la cantidad de agua disuelta crece a medida que aumenta el grado de oxidación del aceite.

Por lo que a las fibras de celulosa se refiere, cabe señalar que tienen una influencia negativa en la rigidez dieléctrica, aunque a temperaturas altas parece que pierden su grado de influencia debido a la reducción de su contenido en agua por efecto de la propia temperatura.

3.1.1.- EFECTO DEL AGUA SOBRE LOS PAPELES AISLANTES

Los efectos del agua sobre los papeles aislantes son:

- Reducción de la rigidez dieléctrica.
- Aumento del factor de pérdidas dieléctricas.
- Incremento del riesgo de formación de burbujas en las zonas de mayor temperatura.
- Posibilidad de que se produzcan descargas parciales que provocan roturas en los enlaces químicos del papel (celulosa).

La variación de la Rigidez Dieléctrica en el aceite varía en función del contenido en agua de forma notable (Figura 4).

En transformadores de distribución, se ha impuesto la fabricación sin depósito de expansión, es decir, completamente cerrado, sin contacto del aceite con la atmósfera para impedir la entrada de aire.

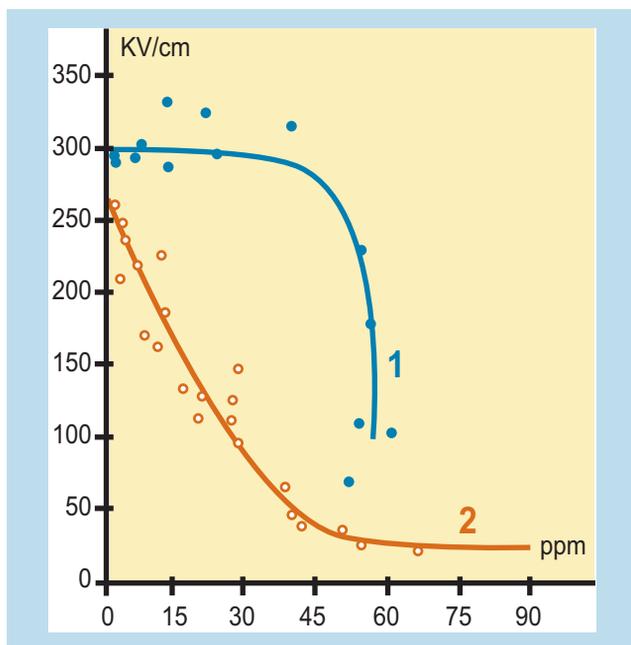


Figura 4: Variación de la rigidez dieléctrica de un aceite aislante en función del contenido en agua. Curva 1: Aceite nuevo. Curva 2: Aceite con 0,25 ppm de fibras de celulosa. (J. Schober y W. Strittmater, 1963).

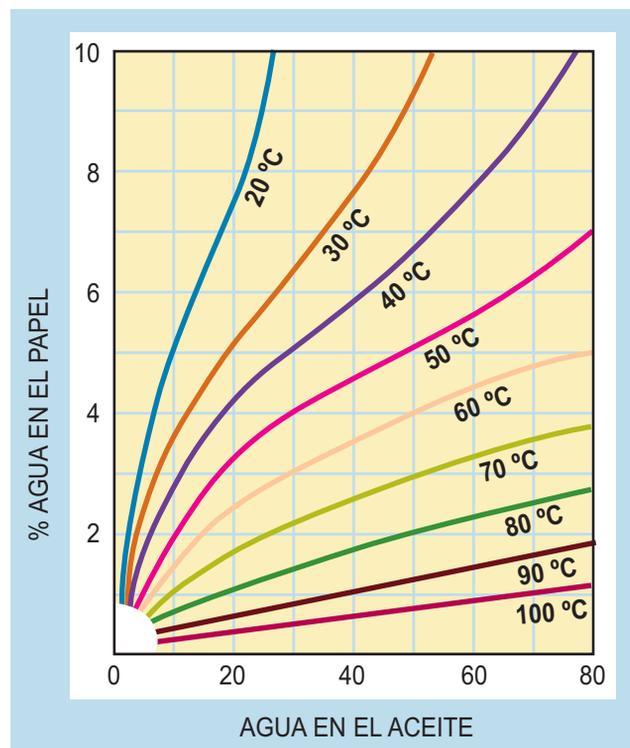


Figura 5.- Proporción del agua en el papel.

3.1.2.- CONTENIDO DEL AGUA EN EL SISTEMA PAPEL-ACEITE

Los papeles aislantes muestran una gran avidez por el agua, especialmente a bajas temperaturas (Figura 5).

A bajas temperaturas el agua que contiene el aceite pasa casi íntegramente al papel, con los riesgos que esto conlleva, como por ejemplo una disminución de la rigidez dieléctrica.

Los fluidos dieléctricos a base de PCBs, generan problemas ambientales muy graves debido a su alta toxicidad para la salud de las personas, y han ocasionado, debido al desconocimiento de sus efectos, contaminaciones importantes.

El papel es un componente “no mantenible”. La mejor forma de alargar su vida es mantener el aceite en buen estado.

4.- TRANSFORMADORES Y CONDENSADORES CON PCBs

Las principales ventajas que hicieron que su uso se difundiera ampliamente en los transformadores son las siguientes:

- Es un buen dieléctrico, con un periodo de envejecimiento largo.
- Es ininflamable, pero a partir de los 600 °C se descompone.
- Tiene una Constante Dieléctrica alta.
- Es un buen refrigerante debi-

do a su elevada densidad: 1,65 g/cm³.

- No es miscible con el agua.

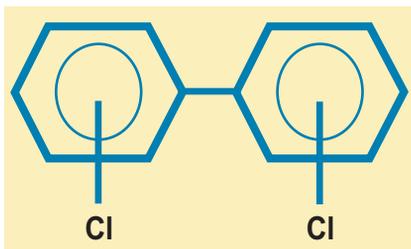
Son necesarios tratamientos periódicos para eliminar la humedad, ya que el agua flota sobre la superficie de los PCBs, y puede producir arcos por cortocircuitar las bornas de alimentación.

Todas estas excelentes condiciones hicieron, a pesar de un precio más elevado que el de los aceites minerales, que algunos fabricantes utilizaran este tipo de fluido dieléctrico no sólo en los transformadores, sino también en los condensadores.

4.1.- ASPECTOS BÁSICOS DE LOS PCBs

Los bifenilos policlorados (PCBs), son hidrocarburos clora-

dos utilizados en la industria desde 1930. Consisten en dos anillos de benceno unidos por un enlace carbono-carbono, con átomos de cloro unidos a cualquiera de los restantes 10 átomos de carbono.



Su fórmula empírica es $C_{12}H_{10-(n+n')}Cl_{n+n'}$; esto hace que existan en teoría 209 congéneres, sin embargo, sólo es posible la producción de un centenar de ellos.

Los productos comerciales son una mezcla de diferentes categorías de isómeros, cuya variación porcentual de cloro les confiere propiedades físicas y químicas diferentes. Entre estas propiedades cabe destacar las siguientes: gran estabilidad química, resistencia al calor (son ininflamables), baja presión de vapor, y alta constante dieléctrica. Estos son los motivos por los que se emplearon principalmente como refrigerantes y aislantes en transformadores y condensadores eléctricos, especialmente durante la primera mitad del siglo XX.

Se estima que la producción mundial, excluida la Unión Soviética, entre 1929 y 1989 fue de 1,5 millones de toneladas, una media de unas 26.000 toneladas por año.

El uso de PCBs puede clasificarse, en función del modo de empleo, en equipos cerrados y

La tendencia en un futuro cercano es la instalación de los denominados transformadores secos, sin ningún tipo de fluido refrigerante-aislante, lo que reducirá en gran medida los riesgos de contaminación y toxicidad de estos equipos.

abiertos. Las aplicaciones en sistemas cerrados tienen como objetivo evitar las pérdidas, para lo que se introducen en unidades selladas, de modo que la posible contaminación del medio ambiente sólo se produciría por fugas. Las aplicaciones abiertas hacen que estén expuestos al medio ambiente y su contaminación es inevitable, por lo que es aconsejable que los transformadores y condensadores que empleen este tipo de fluidos estén cerrados herméticamente.

Es importante destacar que los PCBs utilizados en los equipos eléctricos son mezclas en diferentes proporciones, según el uso específico, de PCBs y triclorobenceno (TCB), que se han comercializado bajo los nombres de: Clophen, Aroclor, Phenoclor, Kanechlor, Fenclor, Apiolio, Kenneclor, Piraleno, Pyraléne, Askarel.

4.2.- TOXICIDAD

A pesar de su idoneidad para el uso en los transformadores, sus propiedades químicas y físicas (Tabla 3) los convierten en peligrosos, estando clasificados como sustancias orgánicas contaminantes persistentes, conocidas como POPs (Persistent Organic Pollutants).

Para poder prevenir los riesgos químicos, es necesario que los trabajadores conozcan qué

CARACTERÍSTICAS	PCBs
Densidad Relativa	De 1,3 a 1,65 g/cm3
Punto de Inflamación	Ninguno hasta la temperatura de ebullición
Punto de Ebullición	Entre 250 y 480 °C
Rigidez dieléctrica	25 KV/m.m
A partir de los 300 °C se descomponen dando lugar a vapores de Cloro-Hidrógeno	
Entre los 300 y 1.000 °C se descomponen dando lugar a:	
<ul style="list-style-type: none"> • Policlorodibenzofuranos (PCDF). • Policlorodibenzodioxinas (PCDD). • Policlorodifenilenos (PCDP). 	
No biodegradable	
Buena estabilidad térmica hasta los 300 °C	
Solubilidad en agua	50 µg/l

Tabla 3.- Propiedades físico-químicas de los PCBs.



productos y sustancias están presentes en sus lugares de trabajo, y cuáles son los riesgos sobre su salud y sobre el medio ambiente.

Los contaminantes orgánicos persistentes (abreviados como COPs, pero a veces también como POPs por su siglas en inglés) son sustancias químicas que permanecen en el medio, se bioacumulan a través de la red alimentaria y suponen un riesgo al provocar daños a la salud humana y al ambiente. Este comportamiento supone que las especies situadas más arriba en la cadena trófica acumulamos la mayor cantidad de COPs y sufrimos los peores efectos.

Los efectos son graves y muy diversos: cáncer, interferencia con la capacidad reproductiva de muchas especies, disminución en el desarrollo intelectual infantil, debilitamiento del sistema inmunológico, etc.

Estas sustancias tienen, además, la característica de recorrer largas distancias. Han sido halladas en regiones muy remotas de donde fueron producidas y utilizadas, particularmente en las regiones más frías del planeta.

Esta amenaza al medio ambiente ha provocado que la comunidad internacional haya reaccionado pidiendo acciones urgentes globales para reducir y eliminar las emisiones de estas sustancias.

Fue el hecho de clasificar desde el primer momento a los PCBs como sustancias poco o nada biodegradables y acumulables en el organismo, lo que advirtió de que existía un gran riesgo para la salud humana.

En 1970, en el CIGRE (Consejo Internacional de Grandes Redes Eléctricas) se presentaron los primeros estudios sobre la toxicidad de los PCBs. En 1971 en Monsanto (USA), el primer fabricante mundial limitó sus ventas sólo a industrias que empleasen PCBs en equipos cerrados. En 1972, Japón prohíbe la fabricación, importación y utilización de PCBs. En 1975, la OCDE edita una disposición en la que se indica que los PCBs sólo se emplearán en sistemas cerrados.

En 1976, el congreso de los Estados Unidos publica medidas contra los PCBs y los clasifica como "sustancias extremadamente tóxicas y cancerígenas", para regular su fabricación, venta, uso y eliminación, y anuncia su prohibición total para 1979. En 1977, Monsanto anuncia su intención de cesar las ventas de PCBs. La CEE introduce en 1976 la Directiva

Los productos comerciales de los PCBs tienen gran estabilidad química, resistencia al calor, baja presión de vapor, y alta constante dieléctrica. Estos son los motivos por los que se emplearon principalmente como refrigerantes y aislantes en transformadores y condensadores eléctricos, especialmente durante la primera mitad del siglo XX.



76/769/CEE, por la que se ponen restricciones a la utilización de los PCBs y PCTs (policloroterfenilos).

Actualmente, todos los equipos contaminados con PCBs y PCTs tienen que ser destruidos en la CEE antes del 31-12-2010.

4.3.- RIESGOS DE LOS PCBs.

El riesgo de los PCBs varía según su estado. Es distinto que esté frío, es decir, considerándolo como un agente contaminante en su estado normal, que se encuentre sometido a elevadas temperaturas, es decir, caliente.

4.3.1.- RIESGOS EN FRÍO

Se manifiestan principalmente mediante la bioacumulación. Hay una serie de factores que la origi-

nan, destacando su mayor solubilidad en las grasas que en el agua, efecto que se cuantifica mediante un coeficiente de partición. Esto provoca que sus moléculas se acumulen en los tejidos grasos de animales y personas expuestas.

Además, otro factor que favorece la bioacumulación es su elevada estabilidad química, lo que hace muy difícil su degradación por parte de los seres vivos, siendo muy persistentes y tóxicos. Además hay que añadir su facilidad para volatilizarse, lo que hace que se dispersen rápidamente en el medio ambiente.

La bioacumulación se manifiesta de diferentes maneras:

- Acumulación en la cadena trófica.
- Acumulación por contacto. Una especie en un medio contaminado aumenta sus posibilidades de transferencia cuanto mayor sea la superficie de contacto con el medio que la envuelve y rodea.

Los PCBs no existen en la naturaleza, salvo en un par de excepciones, por lo que los seres vivos no han desarrollado métodos para metabolizarlos o para eliminar sus propiedades tóxicas. Son resistentes, por tanto, a la degradación biológica. Las propiedades químicas de los PCBs favorecen que puedan ser transportados con facilidad, llegando a ser detectados incluso en el aire ambiente, en el agua y en organismos árticos.

Los efectos tóxicos de los PCBs pueden ser los siguientes:

- Efectos bioquímicos relacio-

CÁNCER	Probable cancerígeno: IARC 2ª.
SISTEMA REPRODUCTOR	Ciclos menstruales irregulares, abortos, deformaciones y reducción del número de espermatozoides.
SISTEMA INMUNOLÓGICO	Reducción de la capacidad del sistema inmunológico.
SISTEMA NERVIOSO	Dolor de cabeza, mareos, náuseas, depresiones, trastornos de sueño y memoria, nerviosismo, fatiga, impotencia.
SISTEMA ENDOCRINO	Modificación de niveles de hormonas tiroideas. Anti-estrógenos y anti-andrógenos.
DESCENDENCIA	Bajo peso de nacimiento, reducción del sistema inmunológico, problemas de desarrollo, retraso en habilidades motoras, dificultades de aprendizaje, retraso en el desarrollo de la memoria.
OTROS	Daños en el hígado, cloroacné, hiperpigmentación de la piel y uñas, conjuntivitis, descenso del número de células rojas y hemoglobina.

Tabla 4.- Efectos de los PCBs en los seres humanos.

nados con la actividad de las enzimas oxidadas y la inhibición de las ATPasas, las enzimas metabólicas.

A pesar de su idoneidad para el uso en los transformadores, las propiedades químicas y físicas de los PCBs, los convierten en peligrosos, estando clasificados como sustancias orgánicas contaminantes persistentes, conocidas como POPs (Persistent Organic Pollutants).

- Efectos metabólicos que afectan principalmente al hígado, ya que los PCBs por su naturaleza lipofílica se acumulan en el tejido adiposo.

En el ser humano los efectos por la exposición a PCBs aparecen reflejados en la tabla 4.

Existen estudios que muestran un riesgo debido a la estereoquímica. Están basados en la similitud de la estructura molecular de algunos congéneres de los PCBs, con la dioxina 2,3,7,8-tetraclorodibenzo-p-dioxina (TCDD), y en la similitud de su actividad biológica y tóxica.

Las policlorodibenzodioxinas son una familia de sustancias químicas que tienen el dudoso honor de ser reconocidas como los productos químicos más tóxicos que el hombre ha sido capaz de sintetizar. Forman parte, junto a los furanos (paradiclorobenzofuranos), asimismo altamente tóxicos, de una familia química más amplia: los organoclorados, a la que pertenecen también los PCBs.

Cuando se quema algún producto clorado (en un incendio de un transformador con PCBs por ejemplo), se crean nuevos organoclorados. Al introducirse en el



medio ambiente y sufrir reacciones por la luz, por otros compuestos químicos o por agentes biológicos, se generan nuevos productos de esta familia.

4.3.2.- RIESGOS EN CALIENTE

Se producen cuando hay un incendio externo que puede afectar a los PCBs. En este caso se pueden detectar en las cenizas policlorodibenzofuranos (PCDFs) y, en menor concentración, policlorodibenzodioxinas (PCDDs).

El primer accidente de este tipo registrado en la industria eléctrica se produjo en Canadá, en 1977, y fue debido al incendio de un poste con un transformador que contenía PCB. En las cenizas se detectaron furanos que se habían formado por la pirólisis del PCB y del PCT.

Ese accidente pasó desapercibido, sin embargo, el de Binghamton (Nueva York, USA) en 1981, tuvo una gran repercusión en los medios de comunicación, sobre todo después de detectar la presencia de dioxinas, y sensibilizó a la población americana que estaba especialmente inquieta después de los accidentes de Missouri, de Love Canal y de Seveso (Italia).

Seveso es una pequeña localidad italiana a unos 15 kilómetros al norte de Milán, en la que el 10 de julio de 1976, tras una explosión en una planta de fabricación de TCF (triclorofenol), una nube de sustancias químicas alcanzó ciertas zonas de la localidad así como de otras localidades próximas, exponiéndolas a las sustancias presentes en dicha nube tóxi-

ca. La 2,3,7,8-TCDD era una de las sustancias químicas presentes en la nube.

La rotura de una válvula liberó una nube de 3.000 kilos de gases contaminados de dioxina, en unas cantidades indeterminadas situadas entre los 100 gramos y los 20 kilos. Los primeros signos de problemas de salud, quemaduras en la piel de los niños, aparecieron a las pocas horas del accidente. Al mes, los ciudadanos que habían resultado más expuestos sufrían de cloroacné, un desorden grave cutáneo. En total, murieron más del 4 % de los animales de granja de la zona y más de 37.000 personas resultaron expuestas al tóxico. Las investigaciones todavía continúan.

En Cantabria, un incendio provocado por la ignición de aceites, afectó a unos condensadores eléctricos que contenían PCBs, provocando la rotura de los cubetos, y exponiendo a estos PCBs a elevadas temperaturas, con la formación y liberación de sustancias tóxicas, ya que a temperaturas superiores a 600 °C pueden aparecer dioxinas, con el riesgo que ello conlleva para los operarios o bomberos que intervienen en las tareas de extinción del incendio.

5.- NORMAS DE SEGURIDAD

5.1.- ALMACENAMIENTO

Los equipos que contengan PCBs deben ser totalmente herméticos y estar en un lugar bien ventilado y protegido de la acción de materiales o fenómenos físicos (la luz por ejemplo), oxidantes o corrosivos. También deben estar

El primer accidente de este tipo registrado en la industria eléctrica se produjo en Canadá, en 1977, y fue debido al incendio de un poste con un transformador de PCB. En las cenizas se detectaron furanos que se habían formado por la pirólisis del PCB y del PCT.

debidamente identificados mediante sus correspondientes pictogramas de riesgo, además de etiquetados y marcados tal y como se especifica en el Real Decreto 228/2006.

5.2.- PLANES DE EMERGENCIA

Deben existir planes de actuación ante posibles emergencias en lugares de trabajo donde existan PCBs, con previsión de la evacuación inmediata de todo el personal. Además habrá que contar con los medios adecuados para actuar en este tipo de situaciones. Sólo actuará, para combatir la emergencia, personal especialmente entrenado.

5.3.- INCENDIO

Se deben utilizar como medios de extinción CO₂ y agentes químicos secos por la posible presencia eléctrica.

Para las tareas de extinción se utilizarán equipos de respiración autónomos para evitar respirar los gases tóxicos resultantes de la combustión (monóxido de carbono, anhídrido carbónico, cloruro de hidrógeno, fenoles y aldehídos).

Además, hay que recordar que a temperaturas superiores a 600 °C

se pueden producir policlorodibenzodioxinas y policlorobenzofuranos, que producen efectos tales como alteraciones hepáticas, hemorragias, daños en el sistema nervioso, etc.

5.4.- VERTIDOS Y DERRAMES

Deben ser recogidos en un contenedor hermético, debidamente identificado, y empleando una técnica adecuada para evitar la propagación a otros lugares.

Para las tareas de recogida se utilizarán ropas impermeables y resistentes a cáusticos, guantes de protección especial para productos químicos, protección de las vías respiratorias y protección ocular.

mantenerlo durante el traslado a un centro sanitario.

5.6.- DISTANCIAS A LOS ELEMENTOS EN TENSION

Teniendo en cuenta las distancias de las zonas de peligro y de proximidad que vienen recogidas en el Real Decreto 614/2001, se recomienda que cuando se ataque un fuego en presencia de electricidad con un extintor portátil, el operario se aproxime lentamente al fuego hasta una distancia determinada que será función de la tensión a la que se trabaje (Tabla 5).

Para trabajos en tensiones nominales de la red superiores a 30 kV, habrá que desconectar la instalación eléctrica y apagar el fuego con la instalación sin tensión.

Deben existir planes de actuación ante posibles emergencias en lugares de trabajo donde existan PCBs, con previsión de la evacuación inmediata de todo el personal. Además habrá que contar con los medios adecuados para actuar en este tipo de situaciones. Sólo actuará, para combatir la emergencia, personal especialmente entrenado.

medidas sobre el uso y fabricación de los PCBs.

A medida que se fueron teniendo más datos técnicos derivados de estudios e investigación, accidentes y análisis legislativos, se fueron modificando y ampliando las normas hasta llegar a las que actualmente están vigentes.

En cuanto a la legislación española sobre los PCBs, como transposición de la europea, hay que tomar como primera referencia la Ley 20/1986, de 21 de abril de 1986, Básica de Residuos Tóxicos y Peligrosos, derogada por la Ley 10/1998, que se ejecuta a través del Reglamento aprobado por el Real Decreto 833/1988, de 20 de Julio y modificado por el Real Decreto 952/1997. Aquí, ya se contempla el PCB/PCT como residuo con el código C32.

En 1989 aparece la Orden de 14 de abril sobre la gestión de los PCBs, en la que se definen como, "las mezclas que contengan policlorobifenilos o policloroterfenilos, incluidos los aceites usados cuyo contenido en PCBs sea superior al 0,005 por 100 (50 ppm) de peso".

TENSION NOMINAL DE LA RED	DISTANCIA DE SEGURIDAD
$U_N \leq 1$ kV (Baja Tensión)	$D \geq 1$ m
$1 < U_N \leq 15$ kV	$D \geq 1,5$ m
$15 < U_N \leq 30$ kV	$D \geq 2$ m

Tabla 5.- Distancias de seguridad en función de la tensión de la instalación.

5.5.- PRIMEROS AUXILIOS

Se procederá al lavado de los ojos y a limpiar la piel con agua y jabón abundantes. En caso de ingestión hacer vomitar a la persona si se halla consciente. En caso de entrada al organismo a través de las vías respiratorias, se debe transportar a la persona a un lugar ventilado y libre de contaminación. Si presenta síntomas de falta de actividad respiratoria se deben practicar maniobras de respiración artificial. Aplicar si es posible oxígeno y

6.- NORMATIVA VIGENTE

Antes de entrar a fondo con la normativa vigente, es inevitable hacer un repaso de los orígenes de ésta.

Fue Japón, en 1972, el primer país que legisló sobre los PCBs. En 1975 la organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) publicó una disposición, y posteriormente en 1976, USA y la CEE establecieron



Esta última Orden fue derogada por el Real Decreto 1378/1999, de 27 de Agosto que, entre otros puntos, menciona el 2010 como fecha tope para llevar a cabo la descontaminación o eliminación de los PCBs. Finalmente el 9 de abril de 2001 se publicó una Resolución de la Secretaría General de Medio Ambiente, por la que se aprueba el Plan Nacional de Descontaminación y Eliminación de PCB/PCT.

Finalmente, en 2006 se aprueba el Real Decreto 228/2006, de 24 de febrero, por el que se modifica el anterior Real Decreto 1378/1999, de 27 de agosto, por el que se establecen medidas para la eliminación y gestión de los policlorobifenilos, policloroterfenilos y aparatos que los contengan.

Además, es importante mencionar también que el transporte de este residuo debe cumplir el acuerdo europeo para el transporte de mercancías peligrosas por carretera, ADR.

Otro aspecto no menos importante se deriva del hecho de analizar cuándo un residuo contaminado con PCB es o no PCB (recordemos que se considera PCB cuando el contenido en este compuesto es superior a 50 ppm).

Los transformadores con aceite contaminado con menos de 500 ppm de PCBs pueden seguir en funcionamiento hasta el final de su vida, siendo obligatorio al final de la misma su destrucción como PCBs, así como otras obligaciones de tipo administrativo y de realización de análisis químicos.

Para ello el Real Decreto 1378/1999, en el artículo 3, apartado 3, establece como método analítico la norma UNE-EN 61619. También la Comunidad Europea establece este mismo método de medición como referencia, a través de la Decisión de la Comisión de 16 de enero de 2001.

6.1.- RESUMEN DE LA NORMATIVA ACTUAL

- Se considera PCB, toda aquella sustancia que tenga un contenido en PCB superior a 50 ppm.
- La descontaminación o eliminación de los PCBs debe realizarse antes del 1 de enero de 2011.
- Como excepción, están los transformadores con aceite contaminado con menos de 500 ppm de PCBs, que pueden seguir en funcionamiento hasta el final de su vida, siendo obligatorio al final de la misma su destrucción como PCBs, así como otras obligaciones de tipo administrativo y de realización de análisis químicos.
- Los poseedores de PCBs, PCBs usados y aparatos con PCBs deberán entregarlos a un gestor de residuos autorizado para su eliminación.
- Real Decreto 228/2006, por el que se modifica el Real Decreto 1378/1999, y por el que se impone una normativa mas exigente.



La experiencia obtenida desde la aplicación del Real Decreto 1378/1999 y el seguimiento del Plan Nacional, han puesto de manifiesto la necesidad de modificar el decreto citado para lograr un mayor control de la descontaminación o eliminación de los aparatos con PCBs y, además, garantizar el cumplimiento del plazo ecológico previsto mediante actuaciones progresivas de descontaminación y eliminación que impidan el colapso de las escasas infraestructuras de tratamiento de estos compuestos disponibles en nuestro país.

Por estos motivos se desarrolla el Real Decreto 228/2006, que modifica los artículos 2, 3, 5, 6, 7, 12, y el Anexo I del Real Decreto 1378/1999 que, entraron en vigor al día siguiente de su publicación en el B.O.E., y por tanto se aplica-

rán en su nueva redacción. No obstante, continuará vigente el resto del articulado del Real Decreto 1378/1999.

Entre las modificaciones que se introducen destacaremos aquéllas de mayor relevancia, aconsejando consultar más específicamente el Real Decreto 228/2006.

La legislación actual sobre la destrucción de PCBs, exige que en el año 2010 se hayan eliminado todos los transformadores que actualmente utilicen este tipo de fluido aislante.

Modificación de los Artículos 2 y 3

Supone la obligación de los poseedores de declarar la posesión de los aparatos sometidos a inventario distinguiendo, como grupos separados, los datos que correspondan a aparatos fabricados con fluidos de PCBs, aparatos que no habiéndose fabricado

con fluidos de PCBs hayan sido posteriormente contaminados por PCBs y aparatos que puedan contener PCBs. Esta consideración independiente de dichos conceptos requerirá su previa definición, por lo que el artículo 2 (Definiciones) verá añadidas nuevas definiciones que faciliten el desglose de las declaraciones e inventarios de PCBs.

Además, de forma resumida el artículo tercero trata también otros puntos de interés:

- Obligaciones relativas a los análisis químicos y tomas de muestras, que se llevarán a cabo cuando sea preceptivo, así lo dispongan las autoridades competentes, o sean necesarios para su identificación o catalogación.
- Obligaciones generales de los poseedores de PCBs y aparatos que los contengan, como la entrega a un gestor autorizado para su descontaminación o eliminación. También se define de manera exacta bajo qué condiciones se entenderá cuándo

un aparato puede ser declarado como totalmente descontaminado, después de ser sometido a operaciones de descontaminación.

Se señala asimismo, cómo, cuando un transformador con PCB sea sometido a alguna operación de tratamiento o sustitución para reducir la concentración de PCB a valores comprendidos entre 50 y 500 ppm en peso, sólo podrá ser declarado transformador con concentración de PCB entre estos límites transcurrido un año desde la fecha en que se realizó dicha operación, y siempre que, analizada una nueva muestra de dieléctrico, se confirme que su concentración de PCB se sigue manteniendo entre 50 y 500 ppm. Estos análisis se llevarán a cabo de acuerdo con el artículo 3.

- Obligaciones específicas de los poseedores de PCBs y aparatos que los contengan. En este punto se tratan aspectos como la descontaminación o eliminación de transformadores eléctricos con concentración de PCB superior a 500 ppm. Además cita como prioritarios para su tratamiento, aquellos aparatos cuyas condiciones los hagan especialmente peligrosos para las personas o el medio ambiente, ya sea por su alto contenido en PCB, como por su ubicación, etc.

Los poseedores de aparatos con PCB estarán obligados a descontaminarlos, incluidos los PCB contenidos en los mismos, en las fechas que se indican a continuación para cada uno de los grupos de aparatos siguientes:





FECHA DE FABRICACIÓN	DESCONTAMINACIÓN
Desconocida	Antes del 1/1/2007
Anterior a 1965	Antes del 1/1/2007
Entre 1965 y 1969	Antes del 1/1/2008
Entre 1970 y 1974	Antes del 1/1/2009
Entre 1975 y 1980	Antes del 1/1/2010
Posterior a 1980	Antes del 1/1/2011

Tabla 6.- Obligatoriedad de descontaminar los aparatos fabricados con PCBs, según su fecha de fabricación.

A Aparatos fabricados con fluidos de PCB:

Los aparatos fabricados con fluidos de PCB deben descontaminarse según las fechas que figuran en la tabla 6.

B Aparatos contaminados con PCB:

Se eliminarán en los años y porcentajes mínimos siguientes, referidos a la cantidad total en peso de los mismos que posean al comienzo de cada año:

Año	Porcentaje mínimo (%)
2006	20
2007	25
2008	33
2009	50
2010	100

La cantidad total en peso de estos aparatos deberá obtenerse como resultado de la suma de las cantidades poseídas de aparatos contaminados por PCB y que puedan contener PCB.

C Aparatos que puedan contener PCB:

Estarán obligados a someterlos a los análisis químicos a que hace referencia el artículo 3, en los porcentajes mínimos que se indican a continuación, referidos a la cantidad total en peso (sólido más líquido) de los mismos que posean al comienzo de cada año:

Año	Porcentaje mínimo (%)
2006	33
2007	50
2008	100

Si estos análisis químicos revelan una concentración real de PCB igual o superior a 50 ppm deberán ser declarados como aparatos contaminados con PCB en la declaración referente al año en que se ha realizado el análisis, o como aparatos eliminados o descontaminados si así lo fuesen durante dicho año.

Modificación del Artículo 5

Se contemplan nuevas obligaciones de los poseedores en rela-

ción a las comunicaciones a las Comunidades Autónomas, tanto de previsiones de actuación como, en su caso, de comunicación de cantidades ya descontaminadas o eliminadas, acompañando las justificaciones oportunas.

Modificación del Artículo 6

Se establecen plazos para la declaración del tratamiento de aparatos inventariados y de los transformadores como medida que acredite y garantice los tratamientos exigidos a los mismos.

Etiquetado y Marcado (artículo 7)

Los poseedores de PCBs deberán proceder al etiquetado y marcado de todos los aparatos en su posesión sometidos a inventario, precisando como mínimo los siguientes datos:

- Fecha del marcado.
- Aparato: número de identificación asignado y modelo de serie si se conoce.
- Tipo de aparato: transformador, condensador, recipiente, etc.
- Fecha de fabricación del aparato.
- Volumen del fluido/PCB en decímetros cúbicos.
- Concentración de PCB en ppm (real o > 500 ppm si es un aparato que puede contener PCB).
- Grupo: fabricado con PCB, contaminado con PCB o aparato que puede contener PCB.
- Peso total del aparato en Kilogramos (sólido más líquido).

Los aceites contaminados con menos de 500 ppm de PCBs podrán continuar en servicio más allá del 2010, siempre que los transformadores estén en servicio, y cumpliendo con las especificaciones del Real Decreto 228/2006 acerca de análisis químicos, declaraciones y previsiones de descontaminación, etc.

Disposición Adicional Única

Se imponen una serie de obligaciones a los responsables de centrales eléctricas y transformadoras, reguladas por el Real Decreto 3275/1982, de 12 de noviembre, sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en centrales eléctricas y centros de transformación, exigiéndoles el análisis de los dieléctricos, aceites y otros fluidos de todos los aparatos que puedan contener PCBs y la posterior comunicación de los resultados a las autoridades competentes de las Comunidades Autónomas.

7.- GESTIÓN DE TRANSFORMADORES Y CONDENSADORES CON PCBs

La actividad, de acuerdo con la ley, comienza cuando una empresa que tiene en sus instalaciones transformadores y condensadores con PCBs desea destruirlos. Para ello debe contactar con un Gestor Autorizado.

Una vez puesto en contacto el productor con el gestor y aclarado el tipo de Residuo Peligroso, esta-

do en que se encuentra, medidas de seguridad y localización del mismo, se procede al envío de la oferta mediante fax o correo.

Aceptada la oferta mediante pedido se realiza toda la documentación legal para proceder a la retirada del residuo, lugar y fecha indicada previamente por el cliente o el gestor, todo ello acorde con la Ley Básica de Residuos Tóxicos y Peligrosos anteriormente mencionada.

Después de solicitar los datos al productor del residuo, el primer paso es el envío, por parte del Productor, de la Solicitud de Admisión o Documento de Aceptación de los residuos peligrosos, para que el gestor proceda a la aceptación de los mismos.

Una vez aceptados, es el propio gestor quien se encarga de enviar la comunicación previa de traslado a las autoridades competentes según la Ley Básica de Residuos Tóxicos y Peligrosos y la Normativa vigente.

En el momento de la recogida el gestor entrega al productor un documento propio, de cambio de titularidad de los residuos (Documento de Control y Seguimiento de Residuos Peligrosos) que le exime de las responsabilidades legales en caso de accidente durante el transporte o en la recogida en la Planta de Tratamiento.

Después de la recepción e inventariado del material en la Planta de Descontaminación, se procede al envío a las Autoridades Administrativas del Documento de Control y Seguimiento debidamente firmado y sellado por el cliente y el gestor correspondiente.

8.- CONCLUSIONES FINALES

La legislación actual sobre la destrucción de PCBs, exige que en el año 2010 se hayan eliminado todos los transformadores que actualmente utilicen este tipo de fluido aislante.

Los aceites aislantes que estén contaminados con más de 50 ppm de PCBs se consideran, a todos los efectos de mantenimiento de transformadores como si fueran PCBs, lo que obliga a tomar medidas de protección personal y de reparación en caso de avería. Todo ello con el objetivo de eliminar o minimizar cualquier tipo de riesgo para el Medio Ambiente y para la salud humana.

Los aceites contaminados con menos de 500 ppm de PCBs podrán continuar en servicio más allá del 2010, siempre que los transformadores estén en servicio, y cumpliendo con las especificaciones del Real Decreto 228/2006 acerca de análisis químicos, declaraciones y previsiones de descontaminación, etc. Cuando el transformador se ponga fuera de servicio, el tratamiento será el mismo que el de uno con PCB puro.

Los transformadores que tengan aceite contaminado con más de 500 ppm deberán destruirse antes del año 2010, salvo que se descontaminase el aceite mediante un tratamiento especial, y siempre y cuando sea capaz de obtener la declaración de transformador descontaminado mediante los trámites establecidos en el artículo 3 del Real Decreto 228/2006.

Con el proceso de tratamiento



de sodio metálico se pueden descontaminar todos los aceites que tengan menos de 2.000 ppm, lo que supondrá un importante beneficio para las empresas que tengan aceites contaminados, ya que evitarán la destrucción obligatoria de aquellos equipos que contengan aceites con más de 500 ppm antes de 2010.

Debido a las graves consecuencias que se derivan de los PCBs, ya se está presentando una resistencia laboral significativa a manipular aceites de este tipo por motivos de seguridad. Algunas empresas, e incluso algunos países, han decidido ya descontaminar todos los transformadores a partir de un contenido de 2 ppm de PCB en el aceite.

Todos los tratamientos deben

confiarse a empresas autorizadas a tal efecto por los Organismos Ambientales Oficiales de la Comunidad Autónoma afectada, y por el Ministerio de Medio Ambiente si fuese necesario, de acuerdo a la legislación vigente. Por lo tanto, cualquier tipo de actividad con este tipo de aparatos eléctricos debe encomendarse a un Gestor Autorizado, quien asumirá la titularidad del PCB y tendrá la obligación de entregar el certificado de descontaminación o destrucción lo antes posible (máximo 6 meses).

9.- BIBLIOGRAFÍA

- Medidas de Prevención para los Trabajadores frente al Riesgo Eléctrico en Instalaciones de Alta y Baja Tensión: Normas de Seguridad. Juan Antonio Calvo Sáez.

- Real Decreto 1378/1999, de 27 de agosto, por el que se establecen medidas para la eliminación y gestión de los policlorobifenilos, policloroterfenilos y aparatos que los contengan.

- Real Decreto 228/2006, de

Los transformadores que tengan aceite contaminado con más de 500 ppm deberán destruirse antes del año 2010, salvo que se descontaminase el aceite mediante un tratamiento especial, y siempre y cuando sea capaz de obtener la declaración de transformador descontaminado mediante los trámites establecidos en el artículo 3 del Real Decreto 228/2006.

24 de febrero, por el que se modifica el anterior Real Decreto 1378/1999, de 27 de agosto, por el que se establecen medidas para la eliminación y gestión de los policlorobifenilos, policloroterfenilos y aparatos que los contengan.

- Real Decreto 773/1997, de 30 de mayo, sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la utilización por los trabajadores de equipos de protección individual.

- Plan Nacional de Descontaminación y Eliminación de Policlorobifenilos (PCB), Policloroterfenilos (PCT) y aparatos que los contengan (2001-2010). Resolución de 9 de abril de 2001, de la Secretaría General de Medio Ambiente.

- Norma UNE-EN 61619, por la que se determina y describe el método analítico para analizar el contenido en PCB de un fluido.

- Guía sindical para la eliminación de PCB. Dolores Romano y Estefanía Blount. Instituto Sindical de Trabajo, Ambiente y Salud (ISTAS) y Confederación Sindical de Comisiones Obreras (CC.OO.).

- Servicio de Prevención y Control de la Contaminación de la Consejería de Medio Ambiente del Gobierno de Cantabria.

- Departamento de Ingeniería Ambiental y Departamento de Química de la Universidad de León.

- Los Transformadores y el incendio: José Manuel Pérez Cervantes.