

06 | JUNIO 2023



BIFENILOS POLICLORADOS (PCB'S) EN TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN

AUTOR: Ing. Laura Condori



1 INTRODUCCIÓN

Los bifenilos policlorados (PCB's), es un compuesto químico sintético formado por cloro, carbón e hidrogeno, con un leve olor hidrocarburo, son sustancias tóxicas y/o peligrosos que se desplazan a grandes distancias de la fuente de origen de emisión, usando medios como el aire, agua y suelo.

Debido a las características que presenta:

- Estables y resistentes a degradación química, biológica, mecánica y térmica
- Baja volatilidad a condiciones normales de presión y temperatura
- Resistencia al fuego
- Tiene Reducida conductividad eléctrica
- No son solubles en agua
- Gran capacidad de aislamiento
- Punto de ebullición elevado casi 800°C

Fueron utilizados ampliamente en aplicaciones como fluido aislante dieléctrico que no solo se usaban como aislante en los transformadores, sino también de interruptores de potencia, reactores, condensadores, reguladores, reconectores, conductores eléctricos y otros dispositivos. No solo en el área eléctrica si no también, como fluidos de transferencia de calor en sistemas hidráulicos, en la fabricación de pintura y recubrimiento plásticos entre otros.

Se calcula que 1.5 millones de toneladas de PCB's fueron producidos desde 1929 hasta 1979 y comercializados en equipos eléctrico hasta 1986. De toda la fabricación se estima que 750.000 toneladas fueron liberadas al ambiente y el resto se encuentra en equipos eléctricos todavía en servicio, esto considerando que su vida útil es de 25 a 35 años de funcionamiento con un adecuado mantenimiento, por lo que aún no se puede llegar a determinar el contenido de PCB's, de estos equipos instalados en sistemas eléctricos de Bolivia.

En nuestro país se pueden encontrar transformadores de Baja y Media Tensión que contienen aceite refrigerante de PCB y que, en muchos casos, gotean ese lubricante por falta de mantenimiento.

2 OBJETIVO

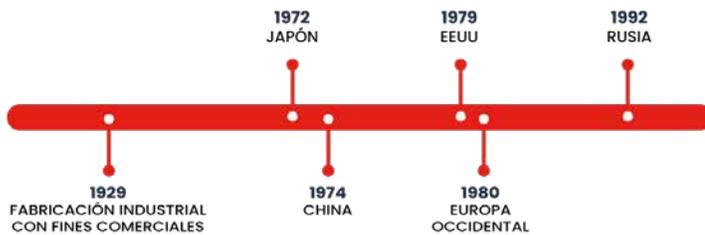
El artículo tiene como objeto señalar que actualmente existen instalados y en funcionamiento, transformadores de distribución con PCB's en la industria, además de mencionar los efectos dañinos tanto en el equipo como en el medio ambiente y la humanidad.

Por último, se propondrá una alternativa ecológica de solución para el reemplazo de estos equipos.

3 INICIO, MANUFACTURAS Y VETO DE LOS PCB'S

En 1881 fueron sintetizados por primera vez en Alemania; Fueron manufacturados industrialmente y para uso comercial en el año 1929 por la empresa MONSTANO (EPA,2013), logrando el máximo de su producción con unas 61.000 toneladas en el año 1970.

RESTRICCIÓN DE FABRICACIÓN



Se prohíbe su uso y producción a nivel mundial en 1992 debido a los daños presentados en la salud y el medio ambiente con la firma del convenio de Estocolmo. En 1998 se firma el convenio Basilea y se ratifica el 2006 con un PLAN DE ACCIÓN DE ELIMINACIÓN PARA LOS PCB's.

Según el cronograma planteado para el plan de acción se tiene:

- Hasta el 2016 30% del inventario producción
- Hasta el 2022 60% del inventario implementado
- Hasta el 2025 retirar equipos fabricados con PCB
- Hasta el 2028 eliminar todas las existencias de PCB

4 EMPRESAS QUE FABRICARON TRANSFORMADORES CON PCB'S

Durante el tiempo de producción de los bifenilos policlorados (PCB's) estos fueron producidos por diferentes empresas. Entre las empresas que produjeron transformadores con contenidos de PCB's están las siguientes:

Nº	PAÍS DE PROCEDENCIA	COMPAÑÍAS QUE FABRICARON TRANSFORMADORES
1	ESTADOS UNIDOS	WESTINGHOUSE, GENERAL ELECTRIC COMPANY, RESAEARCH CONTROELL, NIAGARA TRANSFORMER CORP, STANDARD TRANSFORMER CO, HELENA CORPORATION, GEAVI-DUTY ELECTRIC, KUHLMAN ELECTRIC CO., ELECTRO ENGINEERING WORKS R.E., UPTGRAFF MFG. CO., H.K. PORTR, VAN TRAN ELECTRIC CO., ESCO MANUFACTURING CO., MCGRAW EDISON, WAGNER.
2	ALEMANIA	AEG
3	INGLATERRA	BRUSH, YORKSHIRE Y FOSTER
4	SUIZA	DES ATELIERS Y BBC
5	JAPÓN	TOSHIBA Y MITSUBISHI
6	BRASIL	SIEMENS Y TRAF0
7	BÉLGICA	PAUWELS
8	MÉXICO	CIA MFRA
9	FRANCIA	SAVOISIENNE
10	ITALIA	DI LEGNANO
11	PERÚ	ABB, DELCROSA, BBC. FAMETAL, ENERGOTECNIA, AVI, AUDAZ, ELECTROSERVICE, HIGH POWER, ELECIN, HELELES, RESELEC, OLC, MENAUTT, LASSER, H&P, INDUSTRIAL, ELISE. ELECTRIC POWER, EPLI, ELECTRO VARA FASETRON, NIUSA, HOHAGEN, LIDER

5 PCB's EN TRANSFORMADORES, ¿UN CONTAMINANTE SIN RUMBO?

Si bien los PCB no se liberan de manera intencionada, su aparición se debe al manejo inadecuado de los equipos y los desechos que lo contienen.



Manejo inadecuado de desechos

La liberación del aditivo PCB contamina el suelo, las napas y el agua, y el principal riesgo ocurre si los transformadores explotan o prenden fuego, ya que en ese caso el PCB se transforma en un producto químico denominado dioxina y por lo tanto, según el programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), es uno de los doce contaminantes más nocivos fabricados por el ser humano.

El ministerio de Medio Ambiente y Agua de nuestro país, cuenta con un plan para poder retirar la mayor cantidad de transformadores contaminados existentes a

nivel nacional, para posteriormente ser enviados al exterior, donde cuenta con la tecnología para ser tratados y ser eliminados mediante una reacción química que consiste en tratarlos con sodio metálico.

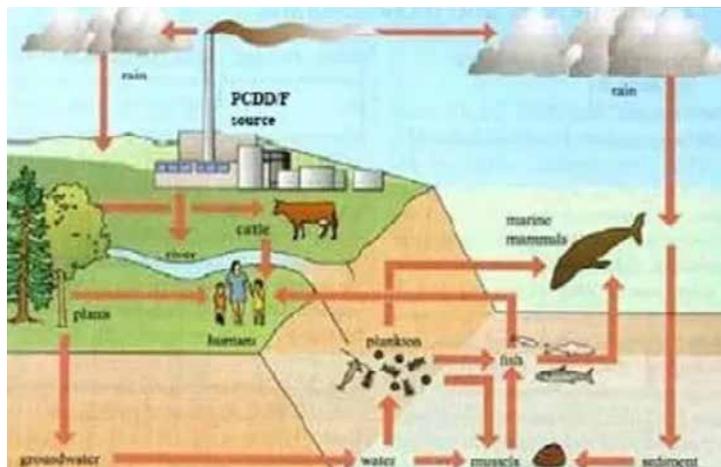
6 EFECTOS EN EL MEDIO AMBIENTE

Los efectos se deben principalmente a que los PCB'S no se descomponen o se degradan fácilmente y permanecen durante muchos años en el ambiente, tendiendo a migrar con facilidad por mecanismos de transporte a través del aire- agua-suelo (evaporación – condensación) por el efecto saltamontes (se refiere al transporte a larga distancia de una sustancia de un lugar a otro)

Es importante indicar que debido a que tienen una gran movilidad, el punto de su emisión o derrame tiene poca relación con el punto de impacto.

Los PCB's quedan adheridos a sedimentos en los cuales se pueden quedar enterrados por mucho tiempo antes de ser liberados al agua y al aire. Estos en el aire pueden llegar a los suelos, con la lluvia o la nieve o simplemente al depositarse las partículas por efectos de la gravedad.

En el agua, los PCB'S pueden ser transportados por corrientes, pudiendo adherirse a sedimentos del fondo o a partículas en el agua. Los PCB'S pesados se depositan preferentemente en sedimentos, estos también pueden liberar PCB's al agua que los rodea.



Vías de contaminación en la cadena alimenticia

Los PCB's se adhieren al suelo y pueden permanecer en él durante meses o años.

En general mientras más átomos de cloro contienen, más lentamente se degradan. La evaporación parece ser un proceso importante a través del cual los PCB's más livianos abandonan el suelo.

7 EFECTOS EN LA SALUD HUMANA

Las personas pueden absorber los PCB's al consumir alimentos contaminados (sólidos o líquidos) y al respirar aire contaminado o a través de la piel.



Efectos

Según estudios científicos realizados sobre la influencia de la concentración de los PCB'S similares a dioxinas sobre la calidad seminal en varones con problemas de fertilidad, enfocándose que los PCB'S si afectan en la esterilidad tanto femenino como masculino (Raiza Paul Caballero Catedra Human Fertility La Universidad Alicante – España).

Según otros artículos científicos se ha demostrado que los PCB'S pueden provocar daños en los sistemas endocrino, inmunológico y nervioso, indican que las mayores concentraciones de PCB'S se los encuentran en el hígado, en el tejido adiposo, el cerebro, la piel, la sangre y en la leche materna, tal como se indica en los estudios de Jacobson JL, Fein GG, Jacobson SW, Shuartz PM, Dowler JK, sobre la transferencia de PCB'S y PBB a través de la placenta humana y hacia la leche materna.

El Addendum to the Toxicological Profile for Polychlorinated Biphenyls, publicación de la Agencia para Sustancias Tóxicas

y Registro de Enfermedades de Estados Unidos – ATSDR (2011), hace referencia a 38 estudios epidemiológicos en humanos y 34 en animales. En todos estos estudios se concluye sobre los riesgos y afectaciones que pueden producir los PCBs a la salud en general y se asocian, al igual que las dioxinas y furanos, con el probable riesgo de aumento a condiciones propicias para el desarrollo de cáncer de algún tipo.

La exposición a los PCBs se ha vinculado con efectos neurológicos, como entumecimiento, dolores de cabeza, infecciones más frecuentes y cambios en la piel, sobre todo sarpullidos en personas de diferentes edades.

La exposición en el trabajo puede ocurrir durante la reparación y mantenimiento de transformadores, a través de derrames, accidentes o incendios de transformadores y a través de la disposición de materiales con PCBs, y los envenenamientos comienzan entre los 800 y 1000 ppm y los primeros síntomas inician en la piel y los ojos.

En la salud humana se puede ocasionar:

1. Efectos agudos: son la reacción que ocurre poco después de la exposición como, por ejemplo: irritación cutánea, irritación ocular por hipersecreción en las glándulas lagrimales, dolor de cabeza y/o fiebre, entumecimiento y desordenes del hígado.
2. Efectos crónicos: son las reacciones que se producen después de una exposición prolongada como, por ejemplo: trastornos inmunitarios, efectos en la reproducción, trastornos del desarrollo neurológico y posible agente cancerígeno, desordenes de la piel y/o hígado, efectos neuromusculares, desordenes metabólicos, entre otros.

8 ¿COMO DAÑA LOS PCB A LOS TRANSFORMADORES?

1. Debilitamiento de los sellos y empaques por envejecimiento.
2. Daño físico o corrosión de los radiadores de enfriamiento.
3. Daño estructural del tanque.
4. Sobrecalentamiento.
5. Puede existir contaminación cruzada en el aceite, es decir presencia de agua, humedad, tierra carbón o químicos.
- 6.



ESTD report based on Area

Signal: ECD2 A, Front Signal				
Name	RT [min]	RF	Area	Amount ISTD Name [ppm]
PCB 70	3.926	0.00002	11078.17871	10.149
PCB 84	4.268	0.00002	16192.40039	17.836
PCB 98	4.601	0.00002	4441.32910	4.530
PCB 104	4.732	0.00002	12351.05176	9.433
PCB 117	4.991	0.00001	15051.92773	7.625
PCB 125	5.130	0.00002	37856.42969	37.937
PCB 146	5.511	0.00002	56530.46484	42.781
PCB 160	5.697	0.00001	20954.50586	11.850
PCB174	5.890	0.00001	57898.09375	35.767
PCB 203	6.219	0.00001	44176.41797	26.565
PCBs 232 y 244	6.538	0.00001	48991.91797	24.703
PCB 280	6.978	0.00001	73551.75000	29.096
PCB 332	7.372	0.00001	33496.42578	11.000
PCB 372	7.640	0.00001	24832.75977	9.950
PCB 448	8.021	0.00001	6209.54980	1.449
PCB 528	8.318	0.00001	19322.93555	4.947
Totals w/o ISTD(s):				285.620

Análisis en laboratorio de la presencia (huella) de PCB

COMO SE DETERMINA

No existe método absoluto que permita externamente identificar si un transformador se encuentra con PCB, se deben sacar muestra y realizar pruebas CONFIRMATORIAS

- **MÉTODO NO ESPECIFICO EN SITIO – COLORIMETRIA: IDENTIFICACIÓN CUALITATIVA DE IONES DE CLORO, PRUEBA PCB COLORIMETRICAS** (presenta menos costo), Si el resultado es positivo (>50 ppm) SE DEBE CONFIRMA mediante cromatografía de gases para análisis de PCB'S
- **MÉTODO ESPECIFICO EN LABORATORIO – CROMATOGRFIA DE GASES** acoplado con un espectrómetro de masas o un detector de captura de electrones según la Norma para equipos en servicio ASTM D 4059, ASTM D 6160, IEC 61619 y EPA 8082, 9079

Este método tiene el fin de detectar la huella del PCB y cuantificar la cantidad de PCB concentrados que están presentes en el aceite del transformador

HASTA QUE PORCENTAJE DE PCB'S ES ACEPTABLE

- EQUIPOS QUE SE PUEDAN TRATAR y libres de PCB Concentraciones con menos de 0.005% o 50 ppm en peso.
- EQUIPOS O DESECHOS COMO CABLES A ELIMINAR que contienen arriba de 50 ppm se deben tomar otras medidas, desecharlos

Si el aceite contaminado es mayor a 50 ppm (mg/kg) no se los hace un tratamiento, debido a que consume más reactivo y no es justificable económicamente, si supera este porcentaje se debe reciclar, y enviar al exterior para desecharlo.

Si es la primera opción se debe realizar un tratamiento de los equipos, existen tecnologías para los tratamientos:

- **TECNOLOGÍAS 1. SEPARACIÓN Y/O CONCENTRACIÓN;** Destrucción (incineración en el exterior) para destrucción de PCB, oxidación a altas temperaturas de los compuestos orgánicos para producir dióxido de carbono y agua donde se alcanza temperaturas superiores a 1200°C con alta turbulencia y exceso de oxígeno.
- **TECNOLOGÍA 2. COGENERACIÓN:** Mezclar combustible que se utilizan en la fabricación de cemento con aceites que contienen PCB, pero que contenga cantidades menores a 50 mg/kg de PCB
- **TECNOLOGÍA 3. DECLORINACIÓN:** reducción con metales alcalinos (método más usado), la combinación de estos metales con los PCB resulta un fluido reutilizable.

DESCONTAMINACIÓN DE EQUIPOS

1. RETROLAVADO: reducir las concentraciones de PCBs a un nivel legalmente permitido para que el trafo se mantenga en servicio, implica vaciar el equipo de su dieléctrico y reponerlo con un aceite libre de PCB.
2. AUTOCLAVE: permite usar el auto clave al vacío con el uso combinado de un disolvente, es una esterilización.



Con esta descontaminación de los equipos se puede recuperar el transformador según ASTM 3487: reacondicionamiento y certificación, pero desde ya el equipo queda mucho propenso a que se contamine fácilmente, y durante el tiempo que estuvo con el aceite contaminado se pudo a ver dañado el equipo, sale mucho más costoso y en Bolivia no se cuenta con empresas que hagan este tipo de trabajos.

RETIRO DE LOS EQUIPOS CONTAMINADOS

Se sigue un protocolo para precautelar a las personas y a derrames del aceite contaminante, con el filtrado del aceite a un turril para ser sellado, posterior empaque del equipo vacío y libre de aceite y por último el almacenamiento menor a 1 año, donde se esperará que el equipo sea enviado con los demás desechos al exterior.

9 ¿QUE MEDIDAS SE TOMARON EN BOLIVIA?

El Ministerio de Medio Ambiente y Agua consideró inicialmente el relevamiento de información en empresas transportadoras, generadores y distribuidoras de energía eléctrica, dando un total de 16,172 equipos contaminados con PCB's.

El inventario nacional obtuvo los siguientes resultados:

EQUIPOS CON PCB'S EN BOLIVIA MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y AGUA



Estadísticas realizadas por el ministerio de medio ambiente y agua

Es reconocido mundialmente que del 7 a 15% de todos los transformadores de aceite mineral, se han contaminado inadvertidamente con PCB.

10 FORMAS POR LAS CUALES UN EQUIPO PUEDE CONTAGIARSE DE PCB

Regularmente las practicas industriales de mantenimiento, almacenamiento y transporte hicieron que los PCB pasaran a otros tipos de equipos y elementos, aumentando así el número de unidades y sistemas contaminado, las principales formas de impregnación son:

- El uso de compuestos orgánicos persistentes para mejorar la calidad del aceite dieléctrico.
- La contaminación cruzada durante labores de fabricación o mantenimiento de equipos.
- El cambio de PCB con aceite mineral u otro tipo de aceite dieléctrico libre de PCB.

11 SOLUCIÓN

La solución para evitar tener contacto alguno con los BIFENILOS POLICLORADOS – PCB's y de tener que poner en contacto con el medio ambiente, es la de incrementar la adquisición de equipos eléctricos, específicamente de TRANSFORMADORES, que sean amigables con el medio ambiente, es decir, con equipos que sean fabricados con materia prima el cual sea reciclable, reutilizable o incluso que sea un material el cual se pueda desechar muy fácilmente.

Un claro ejemplo, es el de un transformador del TIPO SECO, el cual está fabricado con aislamiento de resina epóxica, cuyos materiales de construcción reducen el impacto medioambiental.



Transformador del tipo seco encapsulado en resina epóxica

La reducción del impacto medio ambiental se puede resumir en 4 puntos:

- **Mayor seguridad (bajo riesgo de incendio)**

Gracias al uso de resina epoxica de alta calidad, los transformadores encapsulados en resina reducen al mínimo el impacto medioambiental y son conformes a la norma medioambiental internacional IEC 60076-11.

Los transformadores están fabricados al 100% con materiales piroretardantes y auto extingüibles, por lo que si inflamabilidad es mínima (auto extingüibles) y apenas emiten gases tóxicos o humos opacos (clase de comportamiento al fuego FI). Funcionan en ambientes húmedos, polvorientos, salinos o

contaminados (clase ambiental E2) y ofrecen una alta resistencia a choques térmicos (clase climática C2)

- **Sin liquido refrigerante**

Puesto que no llevan liquido refrigerante, los transformadores encapsulados en resina no presentan riesgos de contaminación y reducen drásticamente su contribución a ella en caso de incendio si los comparamos con los transformadores que utilizan líquidos aislantes.

- **Recuperación de materiales al final de su vida útil**

Se puede considerar que la construcción de los transformadores encapsulados en resina es la que más respeta al medio ambiente, lo cual es especialmente importante cuando la maquina llegue al final de su vida útil y hay que desecharla. Llegado el momento, la resina se considera un material inerte y las bobinas primaria y secundaria se pueden reciclar fácilmente.

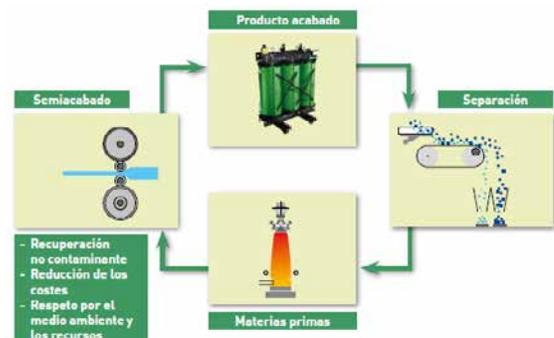
- **Bajas emisiones de CO2**

Reducir el consumo de un transformador también implica disminuir las emisiones de CO2 lo que limita el impacto de la máquina en el medio ambiente.

Tomando como referencia el ahorro potencial, queda claro que, durante sus 20 años de funcionamiento, el Green T.HE garantiza una reducción superior a 112 toneladas de emisiones de CO2 a la atmosfera.

Esta ventaja ambiental, extremadamente importante, también supone una ventaja económica en aquellos países donde se han aprobado leyes sobre emisión de carbono basadas en la cantidad de CO2 emitida.

En estos países, las empresas que no cumplen los límites fijados de dióxido de carbono deben pagar por cualquier exceso, mientras que las empresas comprometidas con la conservación del medio ambiente no tendrán que soportar la carga de este pago adicional, además de poder vender créditos de carbono, lo cual se convierte en una ventaja económica.



Perfil medioambiental

SOLUCIONES DE CALIDAD, RENDIMIENTO Y DURABILIDAD SUPERIOR, PARA LAS APLICACIONES MÁS EXIGENTES

12 BIBLIOGRAFÍA

- » MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y AGUA BOLIVIA: GUIA TÉCNICA PARA LA GESTIÓN AMBIENTAL DE BIFENILOS POLICLORADOS – PCB'S 2022
- » INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES IDEAM: DETERMINACIÓN DE BIFENILOS POLICLORADOS (PCB) EN ACEITES DIELECTRICOS POR CROMATOGRAFÍA DE GASES CON DETECTOR DE CAPTURA DE ELECTRONES.
- » AVICULTURA: <https://www.engormix.com/avicultura/articulos/contaminacion-con-pcb-t29276.htm>
- » TREDI: <https://www.trediargentina.com.ar/noticia/pcb-en-la-salud-humana/>
- » LEGRAND: MANUAL DE TRANSFORMADORES ENCAPSULADOS EN RESINA