
Desarrollo de la Capacidad Nacional para la Gestión y Eliminación
Ambientalmente Adecuada de PCB en Colombia

Manual para la Gestión Integral de
Bifenilos Policlorados - PCB

No. 3.

MUESTREO, TOMA DE MUESTRAS, ANÁLISIS E IDENTIFICACIÓN DE EQUIPOS Y DESECHOS CONTEMPLADOS EN LA NORMATIVA AMBIENTAL DE PCB



REPÚBLICA DE COLOMBIA

Juan Manuel Santos Calderón

Presidente

Gabriel Vallejo López

Ministro de Ambiente y Desarrollo Sostenible

Pablo Vieira Samper

Viceministro de Ambiente

Francisco José Gómez Montes

Dirección de Asuntos Ambientales, Sectorial y Urbana

Andrea López Arias

Coordinadora Grupo de Sustancias Químicas, Residuos Peligrosos y UTO

Con el apoyo de:

Fondo Mundial para el Medio Ambiente - GEF y Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo - PNUD

EQUIPO DE TRABAJO

Coordinación

José Álvaro Rodríguez Castañeda - Coordinador

Nacional Proyecto PCB

Textos

Sergio Alberto Antolínez Esquivel - Consultor Proyecto PCB

Sergio Antonio López Calvachi - Consultor Proyecto PCB

Fabián Mauricio Pinzón Rincón - Consultor Proyecto PCB

EQUIPO TÉCNICO

Edwin Camelo Martínez - Consultor Técnico PCB

Jaime Eduardo Ramírez Henríquez - Consultor Técnico PCB

Claudia Patricia Neira Cuellar - Consultora Técnica PCB

Corrección:

María Emilia Botero Arias

Minambiente - Subdirección de Educación y Participación

Diagramación:

Una Tinta Medios SAS

Manual para la Gestión Integral de Bifenilos Policlorados - PCB

No. 3. Muestreo, toma de muestras, análisis e identificación de equipos y desechos contemplados en la normativa ambiental de PCB

© Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015

Todos los derechos reservados. Se autoriza la reproducción y divulgación de material contenido en este documento para fines educativos u otros fines no comerciales sin previa autorización del titular de los derechos de autor, siempre que se cite claramente la fuente. Se prohíbe la reproducción total o parcial de este documento para fines comerciales.

No comercializable - Distribución gratuita

PROYECTO COL 84851/71268

DESARROLLO DE LA CAPACIDAD NACIONAL PARA LA GESTIÓN Y ELIMINACIÓN

AMBIENTALMENTE ADECUADA DE PCB EN COLOMBIA. Proyecto del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible con el apoyo de GEF y PNUD

Catalogación en Publicación. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Grupo de Divulgación de Conocimiento y Cultura Ambiental

Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible

Muestreo, toma de muestras, análisis e identificación de equipos y desechos contemplados en la normativa ambiental de PCB [recurso electrónico] / Textos: Antolínez Esquivel, Sergio Alberto; López Calvachi, Sergio Antonio; Pinzón Rincón, Fabián Mauricio. --- Bogotá, D.C.: Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015.

40 p. : ; + 1 hoja electrónica. --- (Manual para la Gestión Integral de Bifenilos Policlorados - PCB ; no. 3)

En hoja electrónica Excel, para calcular el muestreo estadístico: anexo 1 Muestreo estadístico aleatorio estratificado para identificación de equipos.xls

Con: Protocolo M2-SAPc-05 Muestreo de aceites dieléctricos y superficies sólidas - bifenilos policlorados (PCB); Protocolo M2-SAPc-01 Determinación de bifenilos policlorados (PCB) en aceites dieléctricos por cromatografía de gases con detector de captura de electrones; y: Protocolo M2-SAPc-04 Determinación de bifenilos policlorados (PCB) por cromatografía de gases con detector de captura de electrones en superficies sólidas.

Proyecto COL 84851/71268 Desarrollo de la capacidad nacional para la gestión y eliminación ambientalmente adecuada de PCB en Colombia

ISBN OBRA COMPLETA: 978-958-8901-11-4

ISBN NÚMERO EN LA SERIE: 978-958-8901-14-5

1. Bifenilpoliclorados 2. Contaminantes orgánicos persistentes 3. Gestión ambiental 4. Aceites dieléctricos 5. Muestreo estadístico 6. Seguridad industrial 6. Sustancias peligrosas I. Tit. II. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible III. Serie

CDD: 628.5



Agradecimientos

Ing. Cristian Julián Díaz Álvarez – Director de Ingeniería Ambiental de la Universidad Central por sus valiosas orientaciones conceptuales y metodológicas para la elaboración de este documento.

Qca. Martha Cecilia Hoyos Calvete – Consultora Ambiental por sus importantes aportes en la revisión de los contenidos finales del documento.

A todas las autoridades y entidades ambientales, empresas relacionadas con el sector eléctrico y energético, así como todos los profesionales que contribuyeron con sus aportes para la estructuración y elaboración de este documento.



Contenido

Introducción 6

1. PROCEDIMIENTO PARA MUESTREO ESTADÍSTICO DE EQUIPOS 8

1.1.	Equipos a ser tenidos en cuenta en el ejercicio de muestreo	10
1.2.	Definición de los estratos	11
1.3.	Identificación de las características de los equipos	11
1.4.	Listado de estratos	12
1.5.	Unificación de estratos	13
1.5.1.	Lineamientos de estratificación	13
1.5.1.1.	Equipos que componen cada estrato y mantenimiento	13
1.5.1.2.	Agrupación de estratos entre empresas	13
1.5.1.3.	Estratos de dos fabricantes con la misma fecha de fabricación	14
1.5.1.4.	Estratos de un fabricante con diferente fecha de fabricación o por intervalos de fechas	14
1.5.2.	Consideraciones adicionales para la unificación de estratos	15
1.6.	Definición del tamaño de muestra	16
1.6.1.	Consideraciones del tamaño de la muestra	16
1.6.2.	Formulación del tamaño de la muestra	16
1.6.3.	Uso de fórmulas automáticas para calcular el tamaño de la muestra	17

1.7. Selección de la muestra y realización de los análisis requeridos 18

1.8. Reinicio del procedimiento de muestreo para periodos posteriores 19

2. TOMA DE MUESTRAS 20

2.1.	Personal para toma de muestras	22
2.2.	Seguridad y protección en la toma de muestras	23
2.2.1.	Manipulación de equipos posiblemente contaminados con PCB	23
2.2.2.	Evaluación de riesgos	23
2.3.	Consideraciones para la toma de muestras	24
2.3.1.	Representatividad	24
2.3.2.	Trazabilidad	24
2.3.3.	Documentación de referencia	25
2.3.4.	Tipo de muestras	25
2.3.5.	Tipos de contenedores	26
2.3.6.	Interferencias	26
2.4.	Procedimiento para la toma de muestras	27
2.5.	Embalaje, transporte y entrega de muestras	28

2.6.	Disposición de los residuos y material contaminado	29
2.7.	Formatos para toma de muestras y registros asociados	30

Glosario	37
-----------------	-----------

3. IDENTIFICACIÓN Y ANÁLISIS DE MUESTRAS PARA CUANTIFICACIÓN DE PCB

Acrónimos – Siglas	38
---------------------------	-----------

3.1.	Análisis cualitativo de PCB	34
3.2.	Análisis semicuantitativo de PCB	35
3.3.	Análisis cuantitativo de PCB	35

Referencias	39
--------------------	-----------



Introducción

En el marco de la gestión ambiental integral de PCB, las actividades asociadas al muestreo, toma de muestras, análisis e identificación de los equipos y desechos, constituyen uno de los pilares fundamentales para la elaboración del Inventario Nacional de PCB y a su vez la principal fuente de información para adelantar un manejo ambientalmente racional de aquellos que se identifiquen contaminados con PCB.

Este documento tiene como propósito brindar algunas recomendaciones para el muestreo, toma de muestras, análisis e identificación de aceites dieléctricos en transformadores y otros equipos eléctricos, así como de superficies sólidas que hayan estado en contacto con los fluidos aislantes.

Dado que resultaría muy complejo y costoso realizar la identificación de cada uno de los equipos sujetos a ser reportados en el Inventario Nacional de PCB, este documento incluye un capítulo inicial con un procedimiento o instructivo, cuyo fin es poner a disposición del lector, una herramienta que describe paso a paso una propuesta metodológica que sirva como guía para la implementación del muestreo estadístico aleatorio estratificado en la identificación de equipos contemplados en la normativa ambiental vigente aplicable a PCB.

En el segundo capítulo se presentan algunos aspectos asociados al proceso de toma de muestras y algunas recomendaciones tanto técnicas como de seguridad, seguido por un tercer capítulo en el que se referencian las principales metodologías y consideraciones para adelantar análisis con fines de identificación y cuantificación de equipos y desechos, para su posterior clasificación en el Inventario Nacional de PCB.

Dadas las características de las temáticas abordadas en este documento, éste se ha estructurado de tal manera que en algunas de sus secciones, donde así se considera necesario, se presentan los procedimientos detallados para la implementación de las metodologías sugeridas, mientras que en otras se limita a sugerir al lector la consulta de los procedimientos oficiales para ello.





1. PROCEDIMIENTO PARA MUESTREO ESTADÍSTICO DE EQUIPOS



Contenido Numeral 1

1.1.	Equipos a ser tenidos en cuenta en el ejercicio de muestreo	10	1.5.1.4.	Estratos de un fabricante con diferente fecha de fabricación o por intervalos de fechas	14
1.2.	Definición de los estratos	11	1.5.2.	Consideraciones adicionales para la unificación de estratos	15
1.3.	Identificación de las características de los equipos	11	1.6.	Definición del tamaño de muestra	16
1.4.	Listado de estratos	12	1.6.1.	Consideraciones del tamaño de la muestra	16
1.5.	Unificación de estratos	13	1.6.2.	Formulación del tamaño de la muestra	16
1.5.1.	Lineamientos de estratificación	13	1.6.3.	Uso de fórmulas automáticas para calcular el tamaño de la muestra	17
1.5.1.1.	Equipos que componen cada estrato y mantenimiento	13	1.7.	Selección de la muestra y realización de los análisis requeridos	18
1.5.1.2.	Agrupación de estratos entre empresas	13	1.8.	Reinicio del procedimiento de muestreo para periodos posteriores	19
1.5.1.3.	Estratos de dos fabricantes con la misma fecha de fabricación	14			

El muestreo estadístico aleatorio estratificado para la identificación de equipos contemplados en la normativa ambiental vigente aplicable a PCB¹, se presenta en este documento como una herramienta metodológica que pretende simplificar el proceso de toma de muestras e identificación o análisis de los equipos (en uso o desuso) a ser reportados en el Inventario Nacional de PCB, mediante la reducción del número de estos equipos, en el bien entendido que resultaría muy complejo y costoso realizar la identificación del 100% de los mismos.

En este sentido, para una mayor facilidad en la implementación de esta propuesta metodológica, a continuación se describe paso a paso un procedimiento que puede servir de guía para adelantar un muestreo estadístico aleatorio estratificado. Se recomienda que las tablas y conteos requeridos se realicen en la hoja de cálculo del anexo 1 del presente documento. Los pasos a seguir son los siguientes:

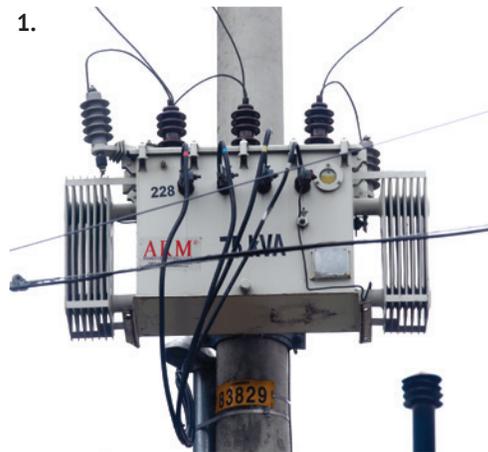
1.1. Equipos a ser tenidos en cuenta en el ejercicio de muestreo

Para ello utilice la última información reportada en el Inventario Nacional de PCB al 31 de diciembre del año inmediatamente anterior a la fecha en que se realiza este procedimiento. Por ejemplo, si este procedimiento se desarrolla en el año 2015, los datos a utilizar son los reportados en el Inventario Nacional de PCB para el periodo de balance 2014.

Identifique los equipos que su empresa o entidad posea, que sean objeto de este estudio de muestreo según la nor-

mativa vigente (transformadores instalados en poste, pertenecientes a la red de distribución de energía eléctrica y los bancos de condensadores en uso), las recomendaciones dadas en los diferentes documentos que componen el Manual de Gestión Integral de PCB, así como los lineamientos brindados en la sección 1.5.1 de este documento para el ejercicio de muestreo.

1.



2.



◀ 1. Transformador instalado en poste

2. Banco de condensadores

¹ La propuesta metodológica presentada corresponde al resultado de la consultoría adelantada por el profesional en Estadística Sergio A. López C. para el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible durante el año 2014 en el marco del Proyecto COL 84851/71268 "Desarrollo de la capacidad nacional para la gestión y eliminación ambientalmente adecuada de PCB en Colombia".

1.2. Definición de los estratos

Los estratos son los bloques primarios de análisis en este estudio porque las decisiones y la clasificación de los equipos se realizarán a nivel de estrato y no a nivel general de toda la población de equipos, es decir, no es una sola la decisión a tomar sino varias, una por cada estrato.

Las dos dimensiones mínimas para la definición de los estratos son: fabricante y año de fabricación. La razón de estas dos dimensiones es que para los equipos producidos por un fabricante determinado en un mismo año, se puede considerar que las políticas de producción de ese fabricante no han cambiado, por tanto se esperaría que sean homogéneos desde el punto de vista del contenido de PCB.

Sin embargo, además de las dos dimensiones mínimas de fabricante y año de fabricación, cada empresa del sector eléctrico puede incluir más dimensiones si las considera pertinentes para su caso, esto sin olvidar las dos primeras dimensiones propuestas. Dos ejemplos de dimensiones adicionales son: tipo de equipo y país de fabricación. Se debe tener en cuenta que si el número de dimensiones de la estratificación aumenta entonces el número de estratos aumenta.

Las fórmulas y los métodos propuestos en este documento, aplican igual en caso de tener una estratificación con un mayor número de dimensiones, con la única diferencia de que será mayor el número estratos a tener en cuenta.

1.3. Identificación de las características de los equipos

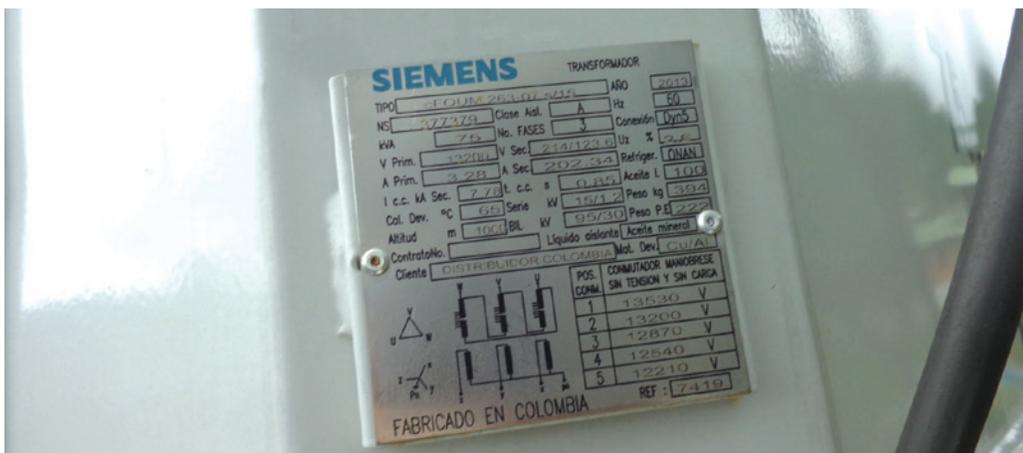
De los equipos que serán incluidos en el análisis según el punto anterior, realice una lista de equipos con la siguiente información, en la hoja de cálculo “Sección A” del anexo 1 de este documento:

- a. Códigos de identificación del equipo
- b. Fabricante
- c. Año de fabricación,
- d. Dimensión adicional 1
- e. Dimensión adicional 2
- f. Dimensión adicional “n”
- g. Estado (uso, desuso, desecho)

Si su empresa incluye dimensiones adicionales, insértelas inmediatamente después de la columna “Año de fabricación” y antes de la columna “Estado (uso, desuso, desecho)”. Se pueden incluir tantas dimensiones adicionales como se considere pertinente, pero se debe tener en cuenta que las dos últimas columnas siempre sean las denominadas “Estado (uso, desuso, desecho)” y “Números aleatorios”.

No llene todavía la columna de números aleatorios, ya que esta columna se llena en un paso posterior.

Para los equipos en desecho, la empresa tiene la posibilidad de incluir en la lista los resultados históri-



◀ 1. Placa de equipo con información de sus características

cos de los equipos, siempre y cuando estos equipos estrato a ser analizado. Un ejemplo de esta lista es cumplan con las características para pertenecer al el siguiente:

Tabla 1. Ejemplo de identificación de características de los equipos

Código identificación	Fabricante	Año de fabricación	Estado	Números aleatorios
TR-049	E	1964	Uso	
TR-102	E	1983	Desuso	
TR-054	E	1985	Desuso	
TR-057	E	1975	Uso	
TR-052	E	1995	Desecho	
TR-050	E	2010	Desecho	
...	
...	

1.4. Listado de estratos

Posteriormente, realice lo siguiente en el archivo de Excel adjunto en el anexo 1 en la hoja de cálculo denominada "Sección B":

- Construya un cuadro resumiendo todos los nombres de los estratos.
- Cuente el número de equipos en cada estrato, diferenciando entre dos grupos: equipos en uso o en desuso por un lado y equipos en de-

secho por otro lado. Sin embargo, cabe aclarar que si bien los equipos considerados en desecho se utilizan para efectos de implementación de la metodología estadística como parte de la población, ello no los exime de ser caracterizados o identificados y analizados para determinar las concentraciones de PCB en el 100% de estos equipos en desecho.

Un ejemplo de ello es el siguiente:

Tabla 2. Ejemplo de listado de estratos para equipos

Fabricante	Año de fabricación	Cantidad de equipos en uso y en desuso	Cantidad de equipos en desecho
E	1975	12	3
E	1991	10	2
E	1995	16	2
F	1980	5	0
F	1981	4	1
...
...
...
...
...



◀ **Equipos con características homogéneas**

1.5. Unificación de estratos

1.5.1. Lineamientos de estratificación

A continuación se presentan los lineamientos principales que se deben tener en cuenta para determinar correctamente los estratos y evaluar sus posibilidades de unificación.

1.5.1.1. Equipos que componen cada estrato y mantenimiento

Para efectos de conservar la homogeneidad de cada estrato formado por fabricante y fecha de fabricación, es necesario asegurarse que el aceite de los equipos no haya sido contaminado, por lo tanto la pertenencia a cada estrato se debería restringir solamente a los equipos que no han sido objeto de mantenimiento, reparación o intervención que involucre la manipulación del aceite presente dentro de los equipos.

1.5.1.2. Agrupación de estratos entre empresas

Si bien la normativa ambiental vigente² establece que los propietarios son quienes deben declarar el inventario de equipos, esto no implica que los estratos deban ser analizados necesariamente por cada empresa propietaria de los mismos.

En principio, los estratos pueden ser contruidos por año de fabricación y fabricante a nivel de un conjunto de empresas y no necesariamente a nivel de una empresa individual.

Lo anterior tiene sentido ya que no existen elementos para suponer que un equipo construido por un fabricante determinado en una fecha determinada sea significativamente diferente, desde el punto de vista de la presencia de PCB, a otro equipo construido por el mismo fabricante con la misma fecha de fabricación operando en una empresa diferente. Esto disminuiría el tamaño y el costo de la muestra en todo el sistema.

En resumen, las empresas tienen la opción, de unificar los universos por estrato y por lo tanto obtener una muestra conjunta por estrato, siempre y cuando los equipos no hayan sido objeto de mantenimiento, reparación o intervención que involucre contaminación del aceite.

De esta manera, el resultado de la muestra conjunta obtenida del universo unificado de cada estrato, puede ayudar a caracterizar al estrato a ser estudiado. La muestra unificada se puede extraer proporcionalmente según el número de equipos que cada empresa aporte al estrato.

² En especial el artículo 7° de la Resolución 222 de 2011 expedida por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible o aquella que la modifique, sustituya o complemente.

Las obligaciones de reporte y las obligaciones de eliminación derivadas de la mencionada caracterización seguirán siendo de las empresas de manera individual, de acuerdo con la normativa vigente.

1.5.1.3. Estratos de dos fabricantes con la misma fecha de fabricación

Teniendo en cuenta que algunos de los fabricantes son bastante similares entre sí, surge la inquietud sobre la posibilidad de poder unir los estratos a los que éstas pertenecen.

Dado que la formación de estratos está basada en la homogeneidad de los elementos que lo componen, se habilita la posibilidad de demostrar que esta homogeneidad existe, siempre y cuando se cumplan las siguientes condiciones:

- a. La primera condición es que el estudio de homogeneidad se haga a nivel de estrato, es decir fabricante y fecha y NO a nivel de fabricante en general. Por ejemplo, no comparar la marca A con la marca B, sino comparar el estrato de la marca A de 1980 con el estrato de la marca B de 1980.
- b. La segunda condición, es que este tipo de uniones se deben sustentar con por lo menos uno de los dos siguientes tipos de estudios:
 - ✓ Estudios publicados en la literatura técnica y científica, que comparen a los dos fabricantes en cuestión, con la misma fecha de fabricación que los estratos a ser estudiados, que establezcan desde el punto de vista del contenido y concentración de PCB, que los dos estratos son equivalentes. Se aclara que los estudios se deben referir al contenido y concentración de PCB y no a las características técnicas de los equipos.

- ✓ Un estudio empírico, realizado por las empresas y basado en dos muestras aleatorias representativas de cada estrato, en el que se demuestre que los dos estratos son equivalentes, desde el punto de vista de contenido y concentración de los PCB.

1.5.1.4. Estratos de un fabricante con diferente fecha de fabricación o por intervalos de fechas

Si las empresas pueden aportar pruebas documentales que demuestren que el comportamiento de un fabricante en particular es homogéneo en un intervalo de fechas establecidas, se puede considerar la posibilidad de unir dos o más estratos pertenecientes a un mismo fabricante pero con diferentes fechas de fabricación.

Los certificados emitidos por el fabricante pueden ser específicos o generales. Los certificados específicos dan fe de la ausencia de PCB en los equipos a nivel del equipo o del lote del mismo. Si las empresas del sector eléctrico pueden obtener este tipo de certificado, podrían clasificar el equipo referido como libre de PCB, asumiendo pleno cumplimiento con la normativa vigente. De tal manera no habría necesidad de vincular dichos equipos al procedimiento de muestreo.

Por otro lado, el certificado de tipo general no da fe de que los equipos estén libres de PCB a nivel individual del equipo o de su lote, como sí lo hace un certificado específico, sino que, por ejemplo, puede ser aquel en el que un fabricante expresa que desde determinada fecha no ha producido equipos con PCB. En ese caso, los certificados generales pueden ser usados para justificar la unión de estratos de un mismo fabricante en diferentes años.

Siguiendo el mismo razonamiento del numeral 1.5.1.2 de este documento, donde se plantea la posibilidad de unir estratos entre empresas, desde el punto de vista estadístico no debería importar que los certificados de tipo general sean emitidos a una empresa en particular, porque desde la perspectiva del muestreo, lo que importa es la homogeneidad del estrato.



1.5.2. Consideraciones adicionales para la unificación de estratos

Analice los estratos teniendo en cuenta los lineamientos expuestos en la sección 1.5.1 para adelantar la estratificación. Si alguno de los casos expuestos para unificar estratos le aplica a su empresa, entonces una los estratos necesarios.

Tenga en cuenta estas consideraciones adicionales para diligenciar la información en el archivo de Excel adjunto - Anexo 1- en la hoja de cálculo denominada “Sección C”:

- a. Si no es posible unir estratos, entonces los datos de las columnas: fabricante, año de fabricación, cantidad de equipos en uso y desuso y, cantidad de equipos en desecho de la **tabla 3** serían iguales a la **tabla 2**.
- b. En todo caso, en adelante se seguirá trabajando con la **tabla 3** sea esta igual o diferente a la **tabla 2**. Nótese que la **tabla 3** incluye dos nuevas columnas cuyo uso se describirá más adelante.
- c. Si se han unido estratos entonces realice los cambios necesarios en la **tabla 1** también en el archivo de Excel adjunto - anexo 1 - en la hoja de cálculo denominada “Sección D”; la

que ahora se llamará 1a de tal forma que ahora refleje los estratos unidos, asignando al grupo de equipos unificados bajo un mismo estrato, la respectiva identificación dada al estrato correspondiente.

Por ejemplo, si se pudieron unir los estratos del fabricante “E” con fecha de fabricación posterior a 1990 dentro de un solo estrato, entonces en las tablas 1a y 2a los equipos con fabricante “E” deben tener una sola fecha de fabricación para reflejar que ahora pertenecen a un mismo estrato. Una sugerencia de notación es que los equipos de estos estratos tengan en la celda correspondiente a la columna fecha un valor como: “posterior a 1990” o “1990-2000” o “1990-2009” según sea el caso. Una notación parecida se puede usar con la columna fabricante, si fuera necesaria. A continuación se muestran las **tablas 3 y 1a**, para el mencionado ejemplo.

Tabla 3. Ejemplo de unificación de estratos cuando así lo amerita

Fabricante	Año de fabricación	Cantidad de equipos en uso y desuso	Cantidad de equipos en desecho
E	1975	12	3
E	posterior a 1990	26	4
F	1980	5	0
F	1981	4	1
...
...
...
...
...

Tabla 4. Ejemplo de ajuste de la identificación de características cuando aplica la unificación de estratos (Tabla 1a del Anexo 1)

Código identificación	Fabricante	Año de fabricación	Estado	Números aleatorios
12	E	1975	Uso	
13	E	Posterior a 1990	Desuso	
15	E	Posterior a 1990	Uso	
19	E	Posterior a 1990	Desecho	
...
...
...

1.6. Definición del tamaño de muestra

1.6.1. Consideraciones del tamaño de la muestra

Para el cálculo del tamaño de la muestra, se debe tener en cuenta que las empresas deben tomar la decisión respecto a la contaminación por PCB analizando estrato por estrato como un universo aparte. Es decir, no se trata de una sola decisión general respecto a los equipos que pertenecen a cada empresa, sino que son varias decisiones las que deben tomarse, una por cada estrato.

Otro elemento a tener en cuenta es que dentro de un mismo estrato los costos de tomar una muestra de equipos clasificados en desecho son diferentes de los costos de tomar una muestra de equipos clasificados en uso o en desuso, por lo tanto, se distinguirán estos dos sub-estratos dentro de cada estrato definido (secciones 1.3, 1.4 y 1.5 de este documento). Es decir, en adelante el término sub-estrato se referirá a los dos grupos formados dentro de cada estrato por los equipos en desecho por un lado y por los equipos en uso o en desuso por otro lado, de acuerdo con los datos de la columna "Estado" de la tabla 1a.

Tomando lo anterior en consideración, el tamaño de muestra se basa en un muestreo aleatorio estratificado con asignación óptima considerando los costos de muestrear equipos en el sub-estrato de desecho y en el sub-estrato de equipos en uso o en desuso dentro de cada uno de los estratos. Las fórmulas utilizadas para calcular el tamaño de muestra en cada uno de los sub-estratos se presentan en la siguiente sección y están implementadas en el archivo de Excel anexo 1 de este documento y explicadas en la sección 1.6.3.

1.6.2. Formulación del tamaño de la muestra

$$n_{ho} = \left(\frac{N_h p q / \sqrt{c_h}}{\sum_{h=1}^2 N_h p q \sqrt{c_h}} \right) \left(\frac{[\sum_{h=1}^2 (\frac{N_h}{N}) p q \sqrt{c_h}]^2}{\frac{d^2}{z^2} + \frac{1}{N} \sum_{h=1}^2 (\frac{N_h}{N}) (p q)^2} \right)$$

Donde:

h=1 o 2. Indicador de los sub-estratos dentro de cada uno de los estratos definidos conforme lo indicado en las secciones 1.2 a 1.5 de este documento. Se debe recordar que para la metodología se definieron dos sub-estratos dentro de cada estrato: Uso y desuso (denotado por h=1) y desecho (denotado por h=2).



$$N = \sum_{h=1}^L N_h$$

N = Tamaño total de la población en el estrato formado según las secciones 1.2 a 1.5 del presente documento.

N_h = El tamaño de la población en el sub-estrato h .

$$n = \sum_{h=1}^L n_h$$

n = Tamaño total de la muestra en el estrato según las secciones 1.2 a 1.5 del presente manual.

n_h = Tamaño de la muestra en el sub-estrato h .

p_h = Proporción de casos de interés, en este caso contaminados con PCB en cada sub-estrato, la proporción por defecto que se define como p igual para todos los estratos en el 5%.

q_h Se determina con la expresión:

$$q_h = 1 - p_h$$

C_h = Costo de obtener un elemento de la muestra en el sub-estrato h .

La relación entre los costos de muestrear elementos asociados a los equipos en uso y desuso y los costos asociados a los equipos en desecho es 100:1.

d = Error de estimación que corresponde al 5% o 0.05

z : Percentil $\left(1 - \frac{\alpha}{2}\right) * 100$ de la distribución normal estándar.

α = Nivel de significancia deseado.

Para el estudio, el valor de z es de 1.96 que corresponde a un nivel de confianza del 95%.

Si en algún sub-estrato se presenta la situación en la cual la fórmula del tamaño de la muestra da como resultado un número mayor que la población de ese sub-estrato, entonces se debe tomar como tamaño de la muestra el tamaño total de la población, es decir se debe hacer censo total de ese sub-estrato. Este caso se puede presentar especialmente con los sub-estratos de equipos en desecho debido al bajo costo relativo de muestrear estos equipos. Las fórmulas implementadas en la hoja de cálculo Anexo 1 (en Excel), ya tienen programado este ajuste.

1.6.3. Uso de fórmulas automáticas para calcular el tamaño de la muestra

A continuación se explica detalladamente el uso de las funciones programadas en el archivo Excel del Anexo 1, para el cálculo del tamaño de la muestra. Estas funciones son:

`"=muestra_nohermeticos_usoydesuso()"`
`"=muestra_nohermeticos_desecho()"`

Todas estas funciones tienen dos argumentos o valores de entrada:

Primer argumento: el tamaño del sub-estrato de equipos en uso y en desuso.

Segundo argumento: el tamaño del sub-estrato de equipos clasificados en desecho.

Así, para la tabla 3 de ejemplo en este documento, los tamaños de muestra son los siguientes:

Tabla 5. Ejemplo de tamaño de muestra

Fabricante	Año de fabricación	Cantidad de equipos en uso y desuso	Cantidad de equipos en desecho	Muestra de equipos en uso y desuso	Muestra de equipos en desecho
E	1975	12	3	9	3
E	posterior a 1990	26	4	17	4
F	1980	5	0	5	0
F	1981	4	1	4	1
...
...
...

En la tabla 5, los cálculos muestrales para el segundo estrato se realizan así:

=muestra_nohermeticos_usoydesuso(26;4) da como resultado 17
=muestra_nohermeticos_desecho(26;4) da como resultado 4

Esto quiere decir que si el segundo estrato está conformado por dos sub-estratos: uso y desuso con 26 equipos y desecho con 4 equipos; entonces, el tamaño de muestra total del estrato es 21, de los cuales 17 deben ser equipos en uso y desuso y 4 deben venir de equipos en desecho.

1.7. Selección de la muestra y realización de los análisis requeridos

En este momento se tiene el tamaño de muestra para los equipos en desecho y los equipos clasificados en uso o en desuso dentro de cada uno de los estratos. Para escoger la muestra dentro de cada uno de estos sub-estratos lleve a cabo los siguientes pasos.

- a. En la columna "número aleatorios" asigne un número aleatorio a cada uno de los equipos listados en la tabla 1a. En el software Excel, esto se puede hacer usando la función =Aleatorio (), esta función generará un número entre 0 y 1.

- b. Fije los números aleatorios asignados en el paso anterior: una vez calculados los números aleatorios se deben fijar como valores ya que de lo contrario se recalcularán cada vez que se oprima <<Enter>> o se guarde el archivo de Excel. Para ello, copie los valores aleatorios que acaba de calcular en la columna "números aleatorios" mediante la función =Aleatorio () y péguelos en la misma columna pero como valores (usando pegado especial, valores).
- c. Para cada una de las tablas 1a y 2a realice lo siguiente: ordene de menor a mayor TODOS los equipos presentes en la tabla y todas las columnas de la tabla (Códigos de identificación del equipo, fabricante, año de fabricación, variables adicionales de estratificación si las hubiera, número aleatorio). Utilice estos criterios de ordenamiento en el mismo orden como aquí aparecen:

- ✓ Criterio de primer nivel: fabricante
- ✓ Criterio de segundo nivel: año de fabricación. Para este criterio se debe verificar que el formato de las celdas se encuentre estandarizado (por ejemplo "General") y no se incluyan formatos de fecha con día y mes, ya que por una parte solo interesa el año de fabricación y por otra parte, estos otros datos (día y mes) podrían afectar el

ordenamiento de los datos. Al finalizar el ordenamiento de los datos por este criterio, se sugiere verificar que sea el correcto.

- ✓ Si existiera otra dimensión de estratificación (u otras dimensiones) deben ser el tercer criterio (o mayor) de estratificación.
 - ✓ Criterio de quinto nivel: números aleatorios
- d. Previamente se calcularon tamaños de muestra por cada sub-estrato. En este momento sus equipos ya están ordenados de manera aleatoria dentro de cada estrato y sub-estrato, lo que resta es escoger en orden de aparición los elementos dentro de cada estrato y sub-estrato hasta completar la muestra calculada por cada sub-estrato. Cuando se haya escogido completamente la muestra para un sub-estrato, se debe seguir con el siguiente sub-estrato.
 - e. Se recomienda obtener, si es posible, dos elementos adicionales a los calculados para la muestra en cada sub-estrato. Estos elementos adicionales son útiles en caso que por alguna razón no se pueda muestrear alguno de los elementos seleccionados.
 - f. Realice los análisis requeridos para caracterizar el estrato según la normativa ambiental vigente.³

1.8. Reinicio del procedimiento de muestreo para periodos posteriores

Guarde todos los resultados y archivos del ejercicio de muestreo que acaba de realizar. Si en el futuro su empresa reporta equipos adicionales en el Inventario Nacional de PCB, su empresa debe usar esta nueva información para completar los anteriores estudios de muestreo. Para ello realice los siguientes pasos.

- a. Repita las instrucciones de las secciones 1.1 a 1.6 con la información unificada de todos los equipos reportados por su empresa. Esta

información unificada incluye los equipos anteriormente reportados y los equipos adicionales recientemente reportados.

- b. Al finalizar la sección 1.6 usted debe contar con los nuevos tamaños de muestra por cada estrato y sub-estrato. El tamaño de muestra debe ser mayor o igual a los calculados anteriormente.
- c. Para los estratos que aún no han sido caracterizados, escoja la muestra siguiendo los pasos de la sección 1.7 con los nuevos tamaños de muestra calculados según la sección 1.6. Luego, lleve a cabo la caracterización del estrato con base en la normativa vigente y analizando todos los equipos seleccionados en la muestra.
- d. Para los estratos que ya han sido caracterizados y sus sub-estratos calcule la diferencia entre el tamaño de muestra nuevo y el tamaño de muestra calculado para el muestreo realizado en el periodo anterior, es decir calcule en cuanto debe aumentar el tamaño de su muestra con respecto al muestreo del periodo anterior.
- e. La muestra adicional, que se deriva de la diferencia en tamaños de muestra descritos anteriormente, debe obtenerse de los equipos adicionales reportados en Inventario Nacional de PCB, siguiendo las instrucciones de la sección 1.7, pero cerciorándose que los equipos adicionales seleccionados en la muestra sean obtenidos de los equipos adicionales reportados. Es decir, la muestra adicional no debe salir de los equipos que ya se analizaron en el ejercicio de muestreo pasado.
- f. En resumen, la muestra adicional es obtenida de los equipos reportados en el Inventario Nacional de PCB al 31 de diciembre del año inmediatamente anterior a la fecha en que se realiza este procedimiento.
- g. Revise la clasificación del estrato en cuestión dependiendo de la nueva información recolectada cuando analice la muestra adicional obtenida (inciso 1.8.c.). Esta clasificación se debe verificar en el marco de la normativa nacional vigente para PCB.⁴

³ En especial el artículo 6° de la Resolución 222 de 2011 "Por la cual se establecen requisitos para la gestión ambiental integral de equipos y desechos que consisten, contienen o están contaminados con bifenilos policlorados (PCB)" expedida por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible o aquella que la modifique, sustituya o complemente.

⁴ En especial el artículo 7° de la Resolución 222 de 2011 expedida por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible o aquella que la modifique, sustituya o complemente.



2. TOMA DE MUESTRAS



Contenido Numeral 2

2.1.	Personal para toma de muestras	22		
2.2.	Seguridad y protección en la toma de muestras	23	2.3.4.	Tipo de muestras 25
2.2.1.	Manipulación de equipos posiblemente contaminados con PCB	23	2.3.5.	Tipos de contenedores 26
2.2.2.	Evaluación de riesgos	23	2.3.6.	Interferencias 26
2.3.	Consideraciones para la toma de muestras	24	2.4.	Procedimiento para la toma de muestras 27
2.3.1.	Representatividad	24	2.5.	Embalaje, transporte y entrega de muestras 28
2.3.2.	Trazabilidad	24	2.6.	Disposición de los residuos y material contaminado 29
2.3.3.	Documentación de referencia	25	2.7.	Formatos para toma de muestras y registros asociados 30

Una vez se ha definido la composición de la muestra de equipos a ser sometidos a análisis para efectos de identificación de su contenido de PCB, así como los diferentes tipos de desechos contaminados con PCB para conocer su concentración, se debe proceder a planear las actividades concernientes a la toma de muestras en cada uno de los elementos a ser analizados. En este capítulo se recogen algunas de las recomendaciones básicas a tener en cuenta para la actividad de toma de muestras en equipos y desechos sobre los que se hará la identificación de contenido de PCB⁵.

2.1. Personal para toma de muestras

De acuerdo con la normativa ambiental vigente aplicable a PCB⁶, la toma de muestras debe ser realizada por personal certificado en competencias laborales para desarrollar dicha labor y que a partir del mes de diciembre de 2013, esta labor no puede ser realizada por personal que no haya sido certificado para la toma de muestras de fluidos aislantes y/o superficies sólidas en la norma de competencia laboral - NCL 220201030 cuyo objetivo es “Realizar muestreo de fluidos aislantes y/o superficies sólidas para la detección de sustancias peligrosas según procedimientos establecidos”.

Por otra parte, se debe tener en cuenta que el personal involucrado en la toma de muestras, debe contar además con las certificaciones y competencias adicionales requeridas por la normatividad aplicable y vigente para trabajo en alturas y en redes energizadas (cuando aplique).



◀ Toma de muestra por personal certificado equipo en desuso

Las actividades asociadas a la toma de muestras no son adelantadas por un perfil laboral único, sino que dependiendo de la estructura y actividades operativas de la empresa propietaria de los elementos a identificar, ésta puede ser llevada a cabo por personal de mantenimiento de líneas (linieros), de mantenimiento y reparación, ensambladores, analistas de laboratorio y personas especializadas en la toma de muestras, entre otros; sin embargo, lo importante es que dicho personal se encuentre acreditado en las competencias laborales indicadas.

La certificación en la NCL 220201030, tiene como propósito principal velar por que el personal que tiene a su cargo la actividad de toma de muestras

⁵ Para las recomendaciones presentadas en este capítulo, se toma como base el resultado de la consultoría adelantada por el profesional en Química Sergio A. Antolínez E. para el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible durante el año 2014 en el marco del Proyecto COL 84851/71268 “Desarrollo de la capacidad nacional para la gestión y eliminación ambientalmente adecuada de PCB en Colombia”.

⁶ En especial el artículo 6° de la Resolución 222 de 2011 “Por la cual se establecen requisitos para la gestión ambiental integral de equipos y desechos que consisten, contienen o están contaminados con Bifenilos Policlorados (PCB)” expedida por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible o aquella que la modifique, sustituya o complemente.



◀ Elementos de protección personal para toma de muestras

en fluidos aislantes y/o superficies sólidas, tenga la competencia en el uso de los elementos de protección personal y la manipulación del aceite dieléctrico y sus residuos. También asegura que se tienen los conocimientos necesarios para la toma de muestras cumpliendo con todas las condiciones de trazabilidad, representatividad y seguridad necesarias para establecer la cuantificación de los PCB contenidos en el aceite dieléctrico.

2.2. Seguridad y protección en la toma de muestras

Se recomienda que para la toma de muestras se tomen como referencia las consideraciones dadas en detalle en el documento N° 6 del *Manual para la Gestión Integral de Bifenilos Policlorados - PCB* sobre “Manejo ambientalmente racional de equipos y desechos contaminados con PCB” en su capítulo 4 denominado “Gestión de riesgos asociados a PCB, Salud y Seguridad”. Sin embargo, se hace alusión en esta sección a algunas consideraciones de manera general.

2.2.1. Manipulación de equipos posiblemente contaminados con PCB

Todos los equipos y contenedores de aceites dieléctricos se deben manipular asumiendo que están contaminados con PCB, a excepción de los casos en los cuales se tenga el certificado de que el equipo se encuentra libre de PCB y éste no ha sido sujeto a ningún tipo de intervención que implique manipulación del fluido aislante. Si no se tiene el certificado se deben manipular extremando las medidas de protección personal y del entorno.

2.2.2. Evaluación de riesgos

Siempre se debe evaluar el riesgo asociado a la toma de una muestra y es el personal a cargo quien cuenta con la potestad de decidir si es viable realizar dicha actividad o no, con base en las condiciones particulares de cada situación.

Esta evaluación comprende dos aspectos a analizar que son: la protección personal y la protección al medio am-

biente. El objetivo principal de esta evaluación es evitar el contacto del aceite dieléctrico con el personal, los elementos y herramientas o el entorno, al tiempo que se toma una muestra para su análisis con las condiciones necesarias de representatividad y trazabilidad.

Antes de todo proceso se deben identificar y evaluar los posibles riesgos (químicos, mecánicos, biológicos, físicos, eléctricos) y se deben adoptar medidas encaminadas a la disminución de estos de acuerdo con los procedimientos establecidos por cada empresa o entidad. Los riesgos más importantes para este procedimiento son el riesgo químico, el cual es permanente al exponerse a la sustancia, y los riesgos eléctrico, mecánico y de trabajo en altura que se deben determinar de acuerdo a cada situación.

El personal debe estar capacitado en la manipulación del aceite dieléctrico con la posibilidad de contaminación con PCB, y cuando sea necesario cumplir con las certificaciones correspondientes en el manejo de riesgo eléctrico y riesgo por trabajo en alturas, adicionalmente a la certificación en competencias laborales (NCL 220201030).

2.3. Consideraciones para la toma de muestras

Antes de iniciar el procedimiento respectivo, se deben considerar las características particulares de cada equipo a muestrear teniendo en cuenta aspectos claves como representatividad y trazabilidad de la muestra y la posibilidad de incorporar contaminantes e interferentes y los riesgos asociados a cada toma de muestras.

2.3.1. Representatividad

La representatividad es una de las características primordiales de una muestra y se concibe como la conservación, por parte de la muestra, de todas las características del aceite contenido en el equipo o recipiente.

Esto implica que la toma de muestras debe realizarse de acuerdo con la técnica de análisis que se va a emplear y con el equipo o contenedor muestreado; asimismo, se debe considerar si se trata de una mues-

tra de fluido aislante o de superficie que ha estado en contacto con el aceite.

Adicionalmente cualquier tipo de interferente que pueda afectar el análisis debe eliminarse durante el muestreo o posteriormente sin que ello afecte la concentración de PCB existente en el fluido aislante.

2.3.2. Trazabilidad

Hace referencia a la rastreabilidad de la muestra en relación con el equipo o contenedor del aceite del cual proviene, de tal forma que el resultado de la muestra pueda rastrearse hasta su origen y determinar si este último está contaminado con PCB.

El éxito de la trazabilidad depende en buena medida de un buen rotulado de la muestra, la documentación de soporte y el cumplimiento de la cadena de custodia, de tal forma que se garantice que la muestra tomada es la misma que llega a ser analizada, sin alteración o contaminación. Para cumplir esto, durante el procedimiento de toma de muestras, se debe asegurar que no hubo contaminación cruzada, que se marcaron de un modo reconocible las muestras tomadas y estas se almacenaron y transportaron de forma correcta. Adicionalmente deben existir los registros y documentación que soportan el proceso.



◀ Diligenciamiento de información soporte y de cadena de custodia de la muestra



◀ Rotulado de la muestra

2.3.3. Documentación de referencia

Se debe tener en cuenta la documentación de referencia que se encuentre vigente de acuerdo con la normativa aplicable en su momento. A continuación se menciona alguna de la documentación de referencia aplicable a la toma de muestras en el momento de elaboración del presente manual, pero se debe aclarar que es responsabilidad del lector verificar la vigencia o modificación de ésta:

- ✓ Protocolo M2-SAPc-05. Muestreo de PCB en aceites dieléctricos y superficies sólidas. IDEAM Versión 1. 2012.
- ✓ Resolución 0792 de 2013 mediante la cual se adoptan los protocolos de muestreo y análisis para la determinación del contenido de PCB en aceites dieléctricos y diferentes matrices ambientales. IDEAM. 2012.
- ✓ Resolución 1409 de 2012. Por la cual se establece el reglamento de seguridad para protección contra caídas en trabajo en alturas. Ministerio de Trabajo. 2012.

- ✓ Resolución 9 0708 de 2013. Por la cual se expide el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas –RETIE. Ministerio de Minas y Energía. 2013.

2.3.4. Tipo de muestras

La toma de muestras para análisis de PCB se realiza tanto a aceites dieléctricos contenidos como a superficies que puedan haber estado expuestas al aceite y por lo tanto podrían estar contaminadas, por lo que se requieren procedimientos diferentes los cuales se describen en el protocolo de muestreo de PCB elaborado por el IDEAM⁷.

Para la toma de muestras en equipos que contienen aceites dieléctricos, el procedimiento se realiza al aceite dieléctrico contenido lo que dependerá de las características propias del equipo; mientras que para la toma de muestras en superficies que estuvieron en contacto con aceites dieléctricos, el procedimiento se realiza a la superficie mediante algodón impregnado con hexano, a partir del cual la muestra es extraída para su posterior análisis.

⁷ Protocolo M2-SAPc-05. Muestreo de PCB en aceites dieléctricos y superficies sólidas. IDEAM Versión 1. 2012

2.3.5. Tipos de contenedores

Teniendo en cuenta que la toma de muestras para análisis de PCB se debe realizar a todo equipo o recipiente que contenga aceites dieléctricos, se deben considerar las características de los contenedores a ser muestreados con el fin de aplicar el procedimiento de toma de muestras de la manera adecuada.

Los contenedores más comúnmente encontrados se pueden clasificar en:

- ✓ Transformadores con válvulas de drenaje o muestreo.
 - ✓ Transformadores, otros equipos y contenedores sin válvulas de drenaje o muestreo.
 - ✓ Transformadores y otros equipos sellados.
 - ✓ Contenedores de desechos.
- ✓ Debe evitarse el contacto de la muestra con plásticos ya que la presencia de ftalatos residuales de su fabricación puede interferir en el análisis a ser adelantado por técnicas cromatográficas. En caso de requerirse, pueden usarse materiales de politetrafluoroetileno (PTFE, teflón) y debe comprobarse que su uso no produce interferencias.
 - ✓ Una vez tomada la muestra el frasco debe ser sellado herméticamente para evitar la inclusión de sustancias ajenas que puedan alterar la muestra.
 - ✓ Los implementos desechables usados no deben ser reutilizados ya que puede haber contaminación cruzada entre las muestras. Los implementos de vidrio y metálicos deben ser lavados meticulosamente con acetona tres veces y luego con hexano hasta que se asegure que no están contaminados con PCB.

2.3.6. Interferencias

Con el fin de eliminar posibles interferencias durante el análisis de las muestras se hacen las siguientes recomendaciones:

- ✓ Todas las herramientas utilizadas en el muestreo deben estar limpias, libres de aceite y por lo tanto de PCB.
 - ✓ Implementos tales como mangueras, jeringas y frascos deben ser nuevos, con el propósito de evitar la contaminación cruzada de las muestras.
 - ✓ Los implementos como mangueras y frascos deben purgarse con una cantidad mínima de aceite de la muestra o con un solvente adecuado puesto que el hecho de que estén nuevos no garantiza que estén libres de impurezas o suciedad.
- ✓ En general, debe procurarse la mínima generación de residuos contaminados con aceite de manera que no se comprometa la idoneidad de la muestra.
 - ✓ Se debe evitar contaminar el exterior del recipiente que contiene la muestra.
 - ✓ Si el equipo ha estado en funcionamiento recientemente, es conveniente esperar para que el fluido aislante se enfríe ya que en algunas ocasiones puede alcanzar temperaturas superiores a los 80 °C, lo cual es peligroso para el trabajador.
 - ✓ Si el equipo tiene válvula de sobrepresión, ésta debe ser accionada un par de veces antes de iniciar la toma de la muestra para asegurar la ventilación de los gases, especialmente si el equipo ha estado en funcionamiento recientemente. Se debe tener en cuenta que el acciona-

miento de la válvula de presión no aplica para transformadores de potencia.

- ✓ En caso de presentarse algún derrame se debe seguir el plan de emergencia y contingencia establecido para ello por la empresa o entidad responsable de los equipos y las recomendaciones dadas en este Manual para la Gestión Integral de Bifenilos Policlorados - PCB

2.4. Procedimiento para la toma de muestras

De acuerdo con la normativa ambiental vigente en materia de PCB, el IDEAM oficializó⁸ entre otros, el protocolo codificado como M2-SAPc-05 para muestreo de PCB en aceites dieléctricos y superficies sólidas, por lo cual se recomienda seguir el procedimiento allí establecido para la toma de muestras en los diferentes tipos de contenedores (ver anexo 2), así como las recomendaciones dadas en el presente manual. También, se debe recordar que el IDEAM adicionalmente cuenta con protocolos para toma de muestras en matrices ambientales tales como: aguas subterráneas, superficiales y residuales⁹.

Debido a que el procedimiento del muestreo depende en gran medida del equipo a muestrear, se recomienda que se realice una inspección previa con el fin de poder efectuar el alistamiento de los implementos correspondientes a cada tipo de muestreo. En igual sentido, de manera previa a la toma de las muestras, se debe haber cumplido por parte del personal a cargo, con la preparación básica necesaria para que el muestreo se pueda desarrollar correctamente.

Entre las principales actividades preparatorias se resaltan:

- ✓ La identificación de los equipos o contenedores a muestrear.
- ✓ La selección de los procedimientos de toma de muestra necesarios para el trabajo a realizar.
- ✓ El reconocimiento de los riesgos que implica la labor que se va a realizar.
- ✓ El alistamiento los implementos de protección personal, herramientas e implementos necesarios para el muestreo a realizar, para lo cual se puede apoyar en listas de chequeo que sean diseñadas para ello.



◀ Toma de muestra en equipo desechado

⁸ Mediante Resolución 0792 de 2013 expedida por el IDEAM, por la cual se adoptan los protocolos de muestreo y análisis para la determinación del contenido de PCB en aceites dieléctricos y diferentes matrices ambientales.

⁹ Correspondiente a los Protocolos codificados como M2-SAPc-06, M2-SAPc-07 y M2-SAPc-08 respectivamente, disponibles para los usuarios en www.ideam.gov.co.

N° 3 Muestreo, toma de muestras, análisis e identificación de equipos y desechos contemplados en la normativa ambiental de PCB

2.Toma de muestras

En la mayoría de casos, no existe ninguna forma de acceder al fluido aislante de un equipo hermético en uso, por lo que solo puede realizarse cuando el equipo sale de funcionamiento y va a ser desechado, ya que se requiere destapar el equipo perdiendo su hermeticidad y funcionalidad. Entre estos equipos se encuentran: transformadores de corriente (CTs), transformadores de potencial (PTs), condensadores y balastos. No se encuentran en cantidades significativas comparados con los transformadores que se pueden muestrear de acuerdo con el protocolo citado, sin embargo en concordancia con lo planteado anteriormente en relación al muestreo estadístico aplicado a equipos herméticos (ver capítulo 1), algunos de estos equipos también deben ser muestreados para determinar su contenido de PCB. Una vez se decide destapar un equipo de estas características, se sigue el mismo procedimiento de los equipos sin válvula de drenaje ni de muestreo, con jeringa y manguera.

Adicionalmente, se debe tener en cuenta que es posible que la muestra tomada para otros tipos de análisis como fisicoquímicos y de gases, sea tomada conjuntamente para análisis de PCB; sin embargo, se debe mantener la rigurosidad en el muestreo que cada destino analítico exige y se debe iniciar con el análisis de PCB, para que en caso de que la muestra resulte contaminada, se evite la contaminación cruzada de elementos

asociados a otros análisis. De acuerdo con lo anterior el muestreo no debe afectar o alterar las características de la muestra, evitando la generación de productos o contaminantes que puedan alterarla o interferir con el análisis. Las condiciones en las cuales se realizan el muestreo y el transporte de las muestras deben ser de la más alta rigurosidad.

Para obtener información detallada del procedimiento correspondiente tanto para toma de muestras en equipos dotados de válvula de drenaje como para equipos sin válvula de drenaje, debe remitirse a los procedimientos detallados oficializados por el IDEAM.

2.5. Embalaje, transporte y entrega de muestras

Posteriormente a la toma de muestras, se continúa con las etapas de embalaje, transporte y entrega de muestras. En estas, se debe procurar que cada muestra conserve todas sus características iniciales. Esto se logra en primer lugar entregándola al laboratorio para su análisis lo más rápido posible. Mientras tanto se debe evitar cualquier interacción de la muestra con el ambiente, ya que en este caso la contaminación se da en ambas direcciones, es decir, el aceite con posible presencia de PCB puede contaminar el entorno y otras sustancias pueden ingresar y alterar la muestra.

Figura 1 Embalaje, transporte y entrega de muestras



Fuente: CIDET, 2014



Igualmente, se debe tener especial cuidado en cuanto al rotulado de las muestras. El correcto diligenciamiento de las etiquetas y rótulos, permite la identificación de las muestras y de sus respectivos equipos o contenedores. Por lo tanto en la etiqueta de la muestra deben encontrarse como mínimo los siguientes datos:

- ✓ Número de identificación de la muestra
- ✓ Fecha de toma de muestra
- ✓ Código de identificación del equipo o elemento
- ✓ Responsable del muestreo
- ✓ Otros que la entidad o empresa considere pertinentes

2.6. Disposición de los residuos y material contaminado

Los residuos se deben almacenar hasta que se obtenga la determinación del contenido de PCB por parte del laboratorio, con lo cual se pueden separar aquellos que se pueden tratar como libres de aquellos con PCB, ya que su manejo difiere tanto en tecnología como en costos.

Todos los residuos generados en esta actividad, se deben clasificar como peligrosos y adicionalmente como medida preventiva, como contaminados con PCB y por lo tanto manejar como tal, hasta tanto se determine la presencia o no de PCB en los mismos. Generalmente los residuos líquidos con contenido de PCB se almacenan en recipientes metálicos o de plástico rígido al igual que los sólidos y se debe garantizar su total hermeticidad. Por tal motivo, las características específicas de cada uno de los residuos resultantes de la aplicación de los procedimientos asociados a la toma de muestras, se deben contemplar en el componente de manejo interno del *Plan*

de gestión de PCB o del *Plan de gestión de residuos peligrosos* (CIDET, 2014).

De acuerdo con lo planteado por CIDET (2014), se pueden destacar algunas buenas prácticas para prevenir o minimizar la generación de los residuos peligrosos y sus posibles efectos en la salud, como estas:

- ✓ Evitar derrames y contacto con el aceite.
- ✓ Utilizar herramientas no desechables sólo cuando sea necesario, con el fin de evitar el uso de solventes en su limpieza que van a generar residuos.
- ✓ Evaluar la posibilidad de usar solventes ecológicos o biodegradables, como son llamados en el mercado por la ausencia de compuestos aromáticos y por ende de menor toxicidad.
- ✓ Utilizar toallas con alta capacidad de absorción con el fin de disminuir la cantidad de residuos sólidos contaminados.
- ✓ Manipular los materiales contaminados y desechos a temperaturas inferiores a 25°C, de ser posible, por el aumento de la volatilidad a temperaturas más altas (CRBAS & FNAM & PNUMA, 2011).
- ✓ Colocación de revestimientos plásticos o de alfombrillas absorbentes debajo de los equipos o contenedores antes de abrirlos si la superficie de la zona de contención no está recubierta uniformemente con algún material de protección (pintura, uretano o resina epóxica) (CRBAS & FNAM & PNUMA, 2011).

2.7. Formatos para toma de muestras y registros asociados

El correcto diligenciamiento de los formatos permite que el proceso de toma de muestras trascienda hasta la caracterización de un equipo como contaminado o no con PCB. Por esta razón cada uno de los registros debe contener información clave que permita garantizar la trazabilidad del resultado.

El formato de toma de muestras, es un insumo fundamental para la trazabilidad de una muestra, ya que en él se consignan todos los datos disponibles para su identificación, tales como los asociados a la orden inicial para la toma de las muestras, la identificación de las mismas, datos tomados *in situ*, registros fotográficos, el equipo o contenedor al que pertenecen, el responsable del muestreo, entre otros.

Con relación a los registros fotográficos, si bien estos no son de carácter obligatorio, si permiten corroborar el estado físico en el que se encuentran los equipos muestreados, ayudando a su identificación tanto cuando están en perfectas condiciones y tienen todas sus características de reconocimiento como cuando por razones diversas tales como la pérdida de las pla-

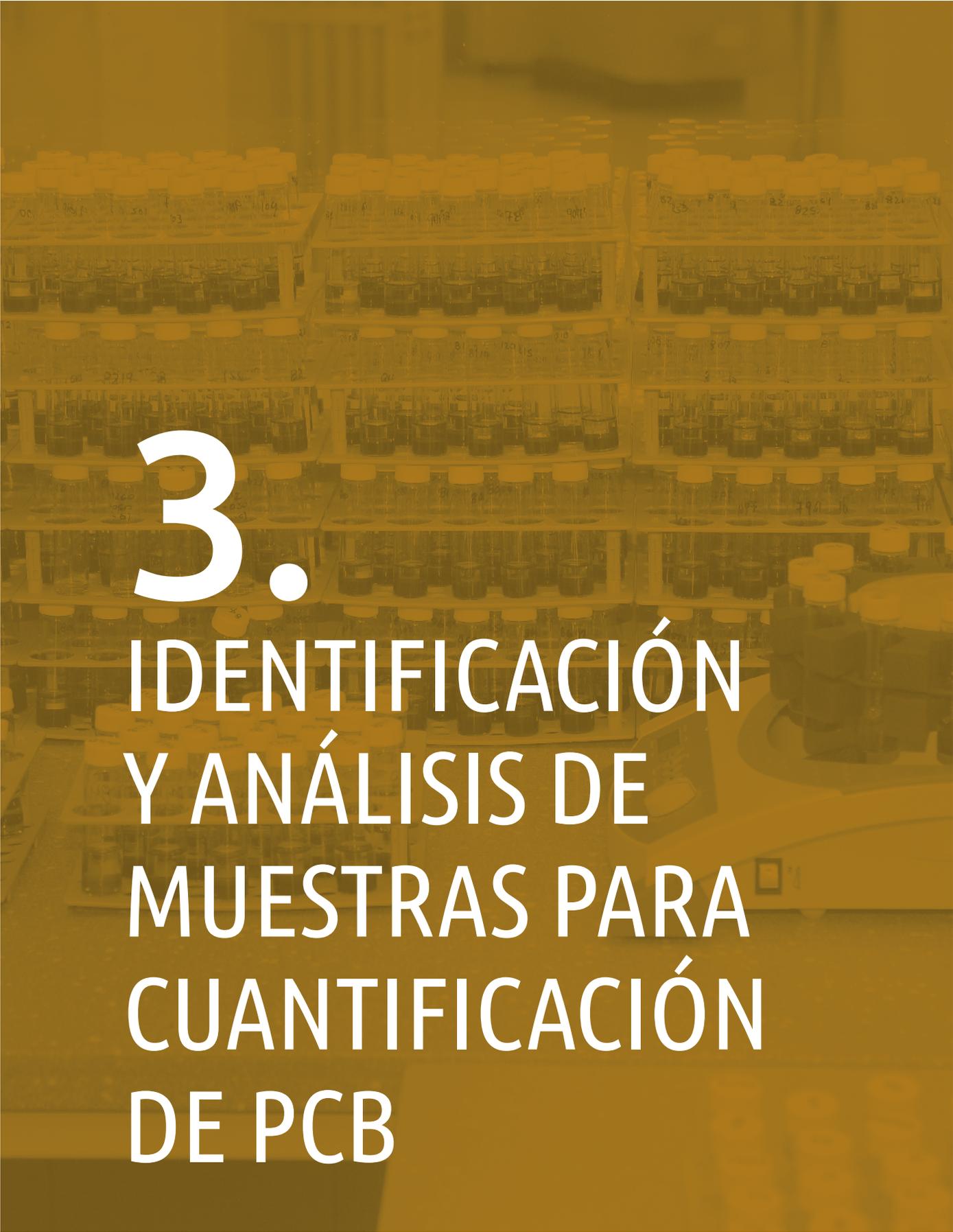
cas o el deterioro de la pintura, no se puede efectuar fácilmente el reconocimiento de un equipo por parte del personal de muestreo. Además permite llevar un inventario de los equipos a los que se les ha tomado muestra. Se deben tener en cuenta dos características para los diferentes registros fotográficos; en primera instancia, es importante que en ellos se pueda observar la identidad de forma reconocible del equipo muestreado y en segunda instancia, que en algunos de ellos se reconozca la zona en la que se encuentra ubicado el equipo.



◀ 1. Diligenciamiento formatos toma de muestra

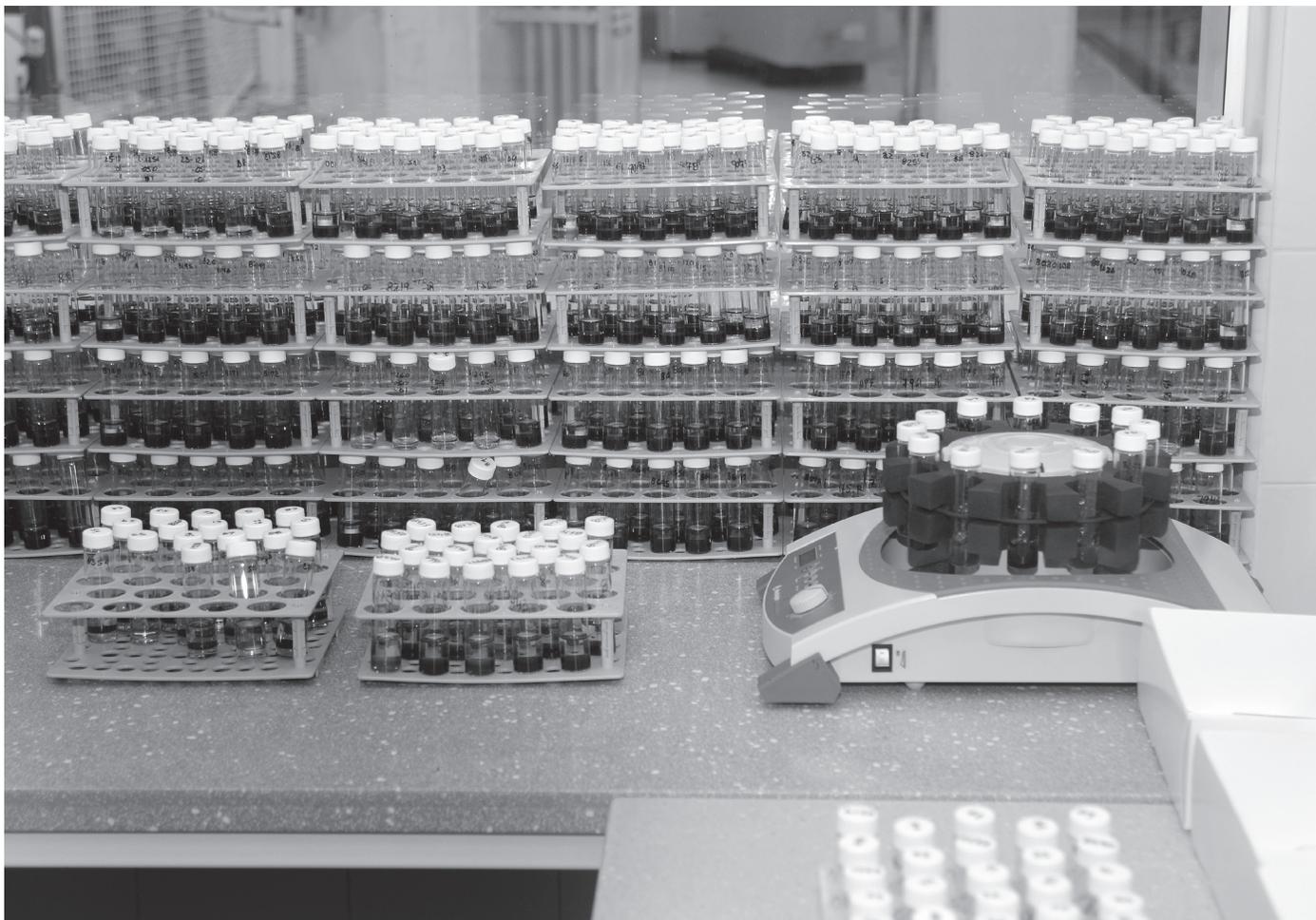
2. Registro fotográfico



A laboratory setting with multiple racks of test tubes containing various colored liquids. The background is slightly blurred and has a warm, golden-brown color overlay. The text is centered over the image.

3.

IDENTIFICACIÓN Y ANÁLISIS DE MUESTRAS PARA CUANTIFICACIÓN DE PCB



Contenido Numeral 3

- 3.1. Análisis cualitativo de PCB 34
- 3.2. Análisis semicuantitativo de PCB 35
- 3.3. Análisis cuantitativo de PCB 35

Al igual que para el caso de toma de muestras, de acuerdo con la normativa ambiental vigente en materia de PCB, el IDEAM oficializó¹⁰ los protocolos M2-SAPc-01 y M2-SAPc-04 relacionados con la determinación de PCB en aceites dieléctricos y en superficies sólidas respectivamente (ver anexos 3 y 4), por lo cual se recomienda seguir los procedimientos allí establecidos para el análisis de muestras, así como las recomendaciones dadas en el presente manual. De la misma manera, se debe recordar que el IDEAM adicionalmente cuenta con protocolos para determinación de PCB en matrices ambientales como aguas, suelos y sedimentos¹¹.

El propósito de este proceso es establecer si un equipo que contiene un aislante dieléctrico se encuentra contaminado con PCB y determinar su grado de contaminación o concentración para, una vez clasificado, establecer las posibles alternativas de manejo ambientalmente racional.

Existen diversos tipos de métodos analíticos a partir de los cuales se puede establecer con mayor o menor certeza la concentración de PCB en las muestras objeto de análisis. Sin embargo, se debe tener en cuenta que en Colombia el único que se considera concluyente para efectos de clasificación de los elementos en el Inventario Nacional de PCB, es el cuantitativo de acuerdo con la normativa ambiental vigente¹².

3.1. Análisis cualitativo de PCB

Consiste en aquellos ensayos analíticos utilizados para identificar o establecer la presencia de PCB en diferentes matrices sin determinar su concentración, por lo cual no resulta concluyente ni es aceptada como parámetro de clasificación para el Inventario Nacional de PCB.

Los kits colorimétricos por ejemplo, son test cualitativos (p.ej.: Clor-N-Oil) que están diseñados para la detección aproximada de PCB en muestras de aceites,



◀ Análisis cualitativo de PCB

10 Mediante Resolución 0792 de 2013 expedida por el IDEAM, por la cual se adoptan los protocolos de muestreo y análisis para la determinación del contenido de PCB en aceites dieléctricos y diferentes matrices ambientales.

11 Correspondiente a los Protocolos codificados como M2-SAPc-02 y M2-SAPc-03 respectivamente, disponibles para los usuarios en www.ideam.gov.co.

12 En especial el artículo 6° de la Resolución 222 de 2011 "Por la cual se establecen requisitos para la gestión ambiental integral de equipos y desechos que consisten, contienen o están contaminados con bifenilos policlorados (PCB)" expedida por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible o aquella que la modifique, sustituya o complemente.



siguiendo el método EPA-9097, en concentraciones cercanas a 20, 50, o 100 ppm de acuerdo al valor establecido para la prueba.

Entre las ventajas de este test se encuentran su bajo costo, su utilidad para realizar una determinación rápida de los equipos contaminados con PCB y que se requiere poca experiencia técnica para el uso de este kit. Sin embargo, una de las principales limitaciones de este test es la obtención de falsos positivos debido a la presencia de compuestos orgánicos halogenados en la muestra. Adicionalmente la presencia de mercurio en la muestra puede causar falsos negativos. Por eso la Environmental Protection Agency -EPA- ha recomendado que solo se use en lugares donde se tenga certeza que este tipo de interferencias no se encuentran presentes.

3.2. Análisis semicuantitativo de PCB

Es un ensayo analítico electroquímico de barrido (*screening*) utilizado para medir la concentración de io-

nes Cloruro, y por ende la posible presencia de PCB, en partes por millón en aceite dieléctrico, pero no resulta concluyente para efectos de clasificación de los elementos en el Inventario Nacional de PCB.

3.3. Análisis cuantitativo de PCB

Es un ensayo analítico utilizado para la determinación y cuantificación de la presencia de PCB y medición de su concentración en diferentes matrices, por lo que en este caso sí es concluyente para efectos de clasificación de los elementos en el Inventario Nacional de PCB.

Los análisis en muchos casos son realizados por personal diferente al que realizó la toma de muestras, por lo que es necesario que se les brinde la mayor cantidad de información a través de los registros correspondientes, con el propósito de poder establecer las mejores condiciones de análisis para que se obtengan resultados más cercanos a la concentración verdadera.



◀ Análisis cuantitativo de PCB

N° 3 Muestreo, toma de muestras, análisis e identificación de equipos y desechos contemplados en la normativa ambiental de PCB

El principal método de análisis para la cuantificación de PCB es la cromatografía de gases con detector de captura de electrones, el cual es particularmente sensible a compuestos halogenados, por lo que puede responder también a otros compuestos orgánicos distintos a los PCB, que contengan cloro u otros halógenos.

Debido a la especificidad del detector de captura de electrones, se recomienda el uso de solventes grado pesticida, que garantizan la ausencia de compuestos organohalogenados que puedan interferir en el ensayo de los PCB.

Adicionalmente puede presentar interferencias por los ftalatos que se extraen de los plásticos fabricados con este tipo de compuestos. Se debe tener especial cuidado con la eliminación de interferencias.

Los resultados obtenidos por este método analítico permiten cuantificar la cantidad de PCB en la muestra con un límite de detección aproximadamente entre 1 y 5 ppm y adicionalmente determinar el tipo de Aroclor que se encuentra en la misma. Esto implica que con esta técnica se puede establecer de manera confiable si una muestra cumple con el límite de 50 ppm a partir del cual se considera que un elemento está contaminado con PCB. La técnica cromatográfica es la única técnica avalada para cuantificar la concentración real de PCB en una muestra, con el fin de clasificar un equipo en Grupo 4 en el Inventario Nacional de PCB¹³.

Es importante recordar que el 11 de septiembre 2015, terminó la transición para los laboratorios que realicen análisis de PCB en cumplimiento de la normativa ambiental vigente, fecha a partir de la cual deben encontrarse acreditados para la cuantificación de los PCB, con el fin de que dichos resultados sean válidos para efectos de clasificación de los equipos y desechos y su posterior reporte en el Inventario Nacional de PCB.

¹³ De acuerdo con el artículo 7 de la Resolución 222 de 2011 expedida por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible o aquella que la modifique, sustituya o complemente.



Glosario

- Análisis cualitativo de PCB.** Ensayo analítico utilizado para identificar o establecer la presencia de PCB en diferentes matrices sin cuantificar su concentración, por lo que no resulta concluyente para efectos de clasificar un equipo o desecho como libre de PCB (no PCB-Grupo 4).
- Análisis cuantitativo de PCB.** Ensayo analítico utilizado para la determinación y cuantificación de la presencia de PCB y medición de su concentración en diferentes matrices, por lo que resulta concluyente para efectos de clasificar un equipo o desecho como libre de PCB (no PCB-Grupo 4).
- Análisis semicuantitativo de PCB.** Ensayo analítico electroquímico de barrido (screening) utilizado para medir la concentración de iones Cloruro, y por ende la posible presencia de PCB en partes por millón en aceite dieléctrico, por lo que no resulta concluyente para efectos de clasificar un equipo o desecho como libre de PCB (no PCB-Grupo 4).
- Bifenilos policlorados (PCB).** Compuestos aromáticos formados de tal manera que los átomos de hidrógeno en la molécula bifenilos (2 anillos bencénicos unidos entre sí por un enlace único carbono-carbono) pueden ser sustituidos por hasta 10 átomos de cloro.
- Contaminación cruzada.** Proceso mediante el cual se favorece la dispersión de la contaminación por PCB, la cual se presenta cuando se llevan a cabo operaciones de toma de muestra, regeneración, filtración, mantenimiento o reparación de transformadores clasificados como no PCB, y se utilizan equipos, tanques, bombas, mangueras u otros elementos contaminados con PCB.
- Desecho o residuo con PCB.** Todos aquellos elementos, sustancias, fluidos, materiales y equipos que se descartan, rechazan o entregan, entre otros, en cualquier estado, que contengan PCB en una concentración igual o superior a 50 ppm, así como cualquier otro material o elemento que entre en contacto directo con estos en alguna actividad, incluida la ropa de trabajo. Se considerarán igualmente las superficies no porosas de los equipos como la cubeta o carcasa metálica, el núcleo de acero magnético y bobinas de cobre entre otros, los cuales se considerarán con PCB cuando presenten un contenido igual o mayor a 10 microgramos / dm².
- Desecho o residuo herméticamente cerrado o sellado.** Residuos o desechos para los cuales se toman las medidas necesarias para evitar que se derramen o generen contaminación cruzada.
- Equipos dados de baja o equipos desechados.** Aquellos equipos que no pueden volver a ser utilizados para el fin con el que fueron fabricados, debido a que sus características técnicas no lo permiten o que se ha tomado la decisión de descartarlos, rechazarlos o entregarlos.
- Equipos en uso.** Son aquellos equipos que se encuentran conectados a una red eléctrica y están en pleno funcionamiento.
- Equipos en desuso.** Aquellos equipos que no están conectados a ninguna red eléctrica o no están en funcionamiento (pueden estar en mantenimiento o almacenados), pero se tiene prevista su utilización futura.
- Equipos herméticos.** Son equipos sellados herméticamente que han sido diseñados para no ser intervenidos y que no cuentan con un mecanismo a través del cual se pueda tomar una muestra de aceite dieléctrico para establecer su concentración de PCB, sin que el equipo se vea afectado en su funcionamiento.

N° 3 Muestreo, toma de muestras, análisis e identificación de equipos y desechos contemplados en la normativa ambiental de PCB

Equipos o elementos no PCB.

Aquellos equipos o elementos de los cuales se certifique que presentan concentraciones de PCB por debajo de las 50 ppm. Se considerarán igualmente las superficies no porosas de los equipos como la cubeta o carcasa metálica, el núcleo de acero magnético y bobinas de cobre entre otros, los cuales se considerarán no PCB cuando presenten un contenido menor que 10 microgramos / dm²

Fluidos dieléctricos.

Son sustancias en estado líquido de origen natural o sintético con propiedades de aislamiento eléctrico y disipación de calor al interior de los equipos eléctricos.

Intervención a equipo con fluido dieléctrico.

Operación que involucre alteración de las condiciones del equipo de las cuales se podría derivar contaminación cruzada una vez ha entrado en funcionamiento. No se considera intervención el llenado de equipos nuevos con fluidos certificados como no PCB, siempre y cuando se empleen equipos y elementos nuevos o que cuenten con certificados que garanticen que son no PCB y se tomen todas las medidas de precaución requeridas.

Muestra herméticamente cerrada o sellada.

Son las muestras para las que se toman las medidas necesarias para evitar que se derramen o sufran contaminación cruzada.

Acrónimos – Siglas

CT	Transformador de corriente	PCB	Bifenilos policlorados
CIDET	Corporación Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico del Sector Eléctrico	PNUD	Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo
CRBAS	Centro Regional de Basilea para América del Sur	PTFE	Politetrafluoroetileno o también conocido como "Teflón".
FNAM	Fondo para el Medio Ambiente Mundial (conocido también como GEF)	PT	Transformador de potencia
EPA	Environmental Protection Agency (USA)	PPM	Partes por millón
IDEAM	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales	RETIE	Reglamento técnico de instalaciones eléctricas
Minambiente	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia	SENA	Servicio Nacional de Aprendizaje
NCL	Norma de competencia laboral	PNUMA	Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (conocido también como UNEP)



Referencias

Antolínez Esquivel, Sergio Alberto (2014). *Guía para el muestreo de aceites dieléctricos para el análisis de PCB.* Proyecto COL/84851-71268 Desarrollo de la Capacidad para la Gestión y Eliminación Ambientalmente Adecuada de PCB. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Bogotá, Colombia.: Antolínez, S.

ASTM (2010). *ASTM D4059 – 00. Standard Test Method for Analysis of Polychlorinated Biphenyls in Insulating Liquids by Gas Chromatography.* : ASTM

Centro Regional Basilea para América del Sur – CRBAS & Fondo para el Medio Ambiente Mundial - FMAM & Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente – PNUMA (2011). *Herramienta para la toma de decisiones - Gestión de PCB en la Industria Minera, en el marco del proyecto CRBAS - FMAM/PNUMA "Mejores Prácticas para el Manejo de PCB en el Sector Minero Sudamericano".* Argentina.: CRBAS & FNAM & PNUMA

Colombia. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM (2013). *Resolución 0792 de 2013 mediante la cual se adoptan los protocolos de muestreo y análisis para la determinación del contenido de PCB en aceites dieléctricos y diferentes matrices ambientales.* Bogotá, Colombia.: IDEAM

Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2011). *Resolución 222 de 2011.* Bogotá, Colombia.: MinAmbiente

Colombia. Ministerio de Trabajo. *Resolución 1409 de 2012. Por la cual se establece el Reglamento de Seguridad para protección contra caídas en trabajo en alturas.* Bogotá, Colombia.: MinTrabajo

Colombia. Ministerio de Minas y Energía. (2013). *Resolución 90708 de 2013. Por la cual se expide el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas –RETIE.* Bogotá, Colombia.: MinMinas

Corporación Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico - CIDET (2014). *Mantenimiento de equipos eléctricos y gestión de PCB.* Medellín, Colombia.: CIDET & Minambiente.

Dirección Nacional de Medio Ambiente de Uruguay - DINAMA (2010). *Procedimientos para la toma de muestra de líquidos dieléctricos potencialmente contaminados con Bifenilos Policlorados (PCB).* Uruguay. DINAMA

Colombia. Ministerio de Minas y Energía. (2013). *Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas RETIE 2013.* Colombia.: MinMinas.

Department of Environmental Services (2013). *How to make & use an oil spill kit.* New Hampshire, USA. DES

Erickson M. (1997). *Analytical Chemistry of PCBs.* Second Edition. CRC Press.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM (2012). *Protocolo M2-SAPc-01. Determinación de bifenilos policlorados (PCB) en aceites dieléctricos por cromatografía de gases con detector de captura de electrones. Versión 1.* Colombia.: IDEAM

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM (2012). *Protocolo M2-SAPc-02. Determinación de bifenilos policlorados (PCB) en aguas por cromatografía de gases con detector de captura de electrones. Versión 1.* Colombia.: IDEAM

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM (2012). *Protocolo M2-SAPc-03. Determinación de bifenilos policlorados (PCB) en suelos*

y sedimentos por cromatografía de gases con detector de captura de electrones. Versión 1. Colombia.: IDEAM

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM (2012). *Protocolo M2-SAPc-04. Determinación de bifenilos policlorados (PCB) por cromatografía de gases con detector de captura de electrones en superficies sólidas. Versión 1.* Colombia.: IDEAM

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM (2012). *Protocolo M2-SAPc-05. Muestreo de PCB en aceites dieléctricos y superficies sólidas. Versión 1.* Colombia.: IDEAM

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM (2012). *Protocolo M2-SAPc-06. Toma de muestras de aguas subterráneas - bifenilos policlorados (PCB). Versión 1.* Colombia.: IDEAM

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM (2012). *Protocolo M2-SAPc-07. Toma de muestras de aguas superficiales - bifenilos policlorados (PCB). Versión 1.* Colombia.: IDEAM

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM (2012). *Protocolo M2-SAPc-08. Toma de muestras de aguas residuales - bifenilos policlorados (PCB). Versión 1.* Colombia.: IDEAM

López Calvachi, Sergio Antonio (2014). *Guía de implementación del muestreo estadístico para la identificación de equipos eléctricos contemplados en la normativa de PCB vigente.* Proyecto COL/84851-71268 Desarrollo de la Capacidad para la Gestión y Eliminación Ambientalmente Adecuada de PCB. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Bogotá, Colombia.: López, S.

Servicio Nacional de Aprendizaje – SENA (2010). *Norma de Competencia Laboral - NCL 220201030.* Bogotá, Colombia.: SENA

U.S. Army Corps of Engineers (2008). *An evaluation of field test kits for environmental sampling.* Public Works Technical Bulletin 200-1-61. USA.: US ACE

U.S. Environmental Protection Agency - EPA. (2004). *PCB Inspection Manual.* USA.: EPA

U.S. Environmental Protection Agency - EPA (2007). *Method 8082a Polychlorinated Biphenyls (PCBs) by gas chromatography.* USA.: EPA

Universidad de Antioquia. GDCON. (2013). *Guía del taller teórico práctico sobre los métodos analíticos para la cuantificación de PCB en aceites, superficies, suelos y sedimentos.* Colombia.: GDCON

