
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. 5.

MANTENIMIENTO DE EQUIPOS CON ACEITES DIELÉCTRICOS



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

Compilación de Textos para el Manual para la Gestión Integral de Bifenilos Policlorados - PCB.

Fabián Mauricio Pinzón Rincón - Consultor Proyecto PCB

EQUIPO TÉCNICO

Claudia Patricia Neira Cuellar - Consultora Técnica PCB

Edwin Camelo Martínez - Consultor Técnico PCB

Jaime Eduardo Ramírez Henríquez - Consultor Técnico 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. 5. Mantenimiento de equipos con aceites dieléctricos

© 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

Mantenimiento de equipos con aceites dieléctricos/ Comp.:
Rincón Pinzón, Fabián Mauricio. -- Bogotá, D.C.: Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015.

58p. – (Serie = Manual para la Gestión Integral de Bifenilos Policlorados - PCB; no. 5/)

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.

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

ISBN NÚMERO EN LA SERIE: 978-958-8901-16-9

1. Bifenilpoliclorados 2. Contaminantes orgánicos persistentes
3. Gestión ambiental 4. Residuos peligrosos 5. Aceites dieléctricos
6. Mantenimiento de equipos 7. Seguridad industrial 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 4

1. CONSIDERACIONES AMBIENTALES EN RELACIÓN CON EL MANTENIMIENTO DE EQUIPOS CON FLUIDOS DIELECTRICOS 6

2. PLANES DE GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS O DESECHOS PELIGROSOS 12

2.1.	Componente: prevención y minimización	15
2.1.1.	Identificación de fuentes y características de peligrosidad	15
2.1.2.	Clasificación y características de peligrosidad	16
2.1.3.	Gestión diferenciada de residuos	18
2.1.4.	Cuantificación de la generación	19
2.1.5.	Alternativas de prevención y minimización	20
2.2.	Componente: manejo interno	22
2.2.1.	Envasado y embalaje de residuos peligrosos	22
2.2.2.	Etiquetado y rotulado, almacenamiento y movilización interna de residuos peligrosos	23
2.2.3.	Plan de contingencia	24
2.2.4.	Medidas para la entrega de residuos al transportador	25
2.3.	Componente: manejo externo	26
2.4.	Componente: evaluación y seguimiento	26
2.4.1.	Responsables de la coordinación y operación del plan	26
2.4.2.	Capacitación	27
2.4.3.	Seguimiento y evaluación	29
2.4.4.	Controles de calidad en los procesos	30
2.4.5.	Cronograma de actividades	30

3. TIPOS DE MANTENIMIENTO DE EQUIPOS CON ACEITE DIELECTRICO 32

3.1.	Diagnóstico de equipos	34
3.2.	Mantenimiento preventivo	37
3.3.	Mantenimiento correctivo (reparación de equipos)	38

4. IDENTIFICACIÓN DE RIESGOS EN EL MANTENIMIENTO DE EQUIPOS 42

Anexos 47

Anexo 1.	Modelos de etiquetas según la NTC 1692	47
Anexo 2.	Lista de chequeo para transporte	48
Anexo 3.	Lista de chequeo condiciones del sitio de almacenamiento	49
Anexo 4.	Lista de control procedimientos externos	50
Anexo 5.	Formato registro de equipos	51
Anexo 6.	Formato de inspección de parte activa	52

Glosario 53

Acrónimos – Siglas 55

Referencias 56

Introducción

Las actividades de mantenimiento de equipos con aceite dieléctrico ocupan un lugar importante dentro de la gestión de los PCB, principalmente porque en las existencias de equipos y desechos contaminados con PCB hay evidencia de un histórico de prácticas que causaron contaminación cruzada.

El mantenimiento de equipos es entonces un punto clave dentro de la cadena de actividades de gestión de la vida útil del activo, dado que en su buen desempeño se obtiene la reducción de la cantidad de equipos y aceites dieléctricos que deben ser manejados como residuos o desechos contaminados con PCB. En ese sentido, resulta necesario identificar y describir instrumentos de gestión y obligaciones en la normativa ambiental que permitan articular acciones y procedimientos para evitar que dichas prácticas inadecuadas continúen y se asegure una larga vida útil para los equipos.

Por lo anterior en el presente documento se combinan dos elementos importantes, en primer lugar, los lineamientos para la elaboración de los planes de gestión integral de residuos o desechos peligrosos para las actividades de mantenimiento y en segundo lugar, un diagnóstico, recopilación y discusión sobre buenas prácticas, realizado por el Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico del Sector Eléctrico - CIDET y con el apoyo de algunas de las empresas prestadoras del servicio de mantenimiento y reparación de equipos más reconocidas a nivel nacional.

Así pues, en un primer capítulo se establecen las bases para la gestión ambiental que aplica al mantenimiento de equipos, desde la perspectiva de cumplimiento de normativa ambiental y la prevención de la contaminación cruzada con PCB. Estas bases se desarrollan en el segundo capítulo, donde se reúnen y describen los elementos principales que se requieren utilizar para formular un Plan de Gestión Integral de Residuos Peligrosos en actividades de mantenimiento; finalmente, en un tercer capítulo se describen los tipos de mantenimiento de equipos, desde las actividades diagnósticas hasta las actividades de reparación de equipos, incluyendo los aspectos ambientales principales de cada uno.



1.

CONSIDERACIONES AMBIENTALES EN RELACIÓN CON EL MANTENIMIENTO DE EQUIPOS CON FLUIDOS DIELÉCTRICOS



1. Consideraciones ambientales en
relación con el mantenimiento de
equipos con fluidos dieléctricos

No. 5. Mantenimiento de equipos con aceites dieléctricos

Teniendo en cuenta que el mantenimiento de equipos eléctricos que contienen aceites dieléctricos implica entrar en contacto con sustancias peligrosas como los solventes orgánicos, aceites dieléctricos usados, ácido sulfúrico, reactivos de laboratorio, entre otros, es necesario identificar los principales elementos ambientales a tener en cuenta, con el fin de prevenir y minimizar los impactos y las posibles afectaciones a la salud humana relacionadas con los residuos de dichas sustancias.

Desde el año 2005 la normativa ambiental cuenta con una herramienta para articular los compromisos para prevenir y minimizar la generación de residuos peligrosos, con las

acciones necesarias para la gestión integral de los PCB, reglamentadas posteriormente de manera específica para estas sustancias en el año 2011, en aras del desarrollo sostenible de las empresas propietarias de PCB.

En primer lugar, el artículo 10 del Decreto 4741 de 2005, establece como obligación para los generadores de residuos o desechos peligrosos la de: *“Elaborar un plan de gestión integral de los residuos o desechos peligrosos que genere, tendiente a prevenir la generación y reducción en la fuente, así como, minimizar la cantidad y peligrosidad de los mismos. En este plan deberán igualmente documentarse el origen, cantidad, características de peligrosidad y el manejo dado a los residuos o desechos peligrosos”.*



◀ Equipo con aceite dieléctrico para mantenimiento.

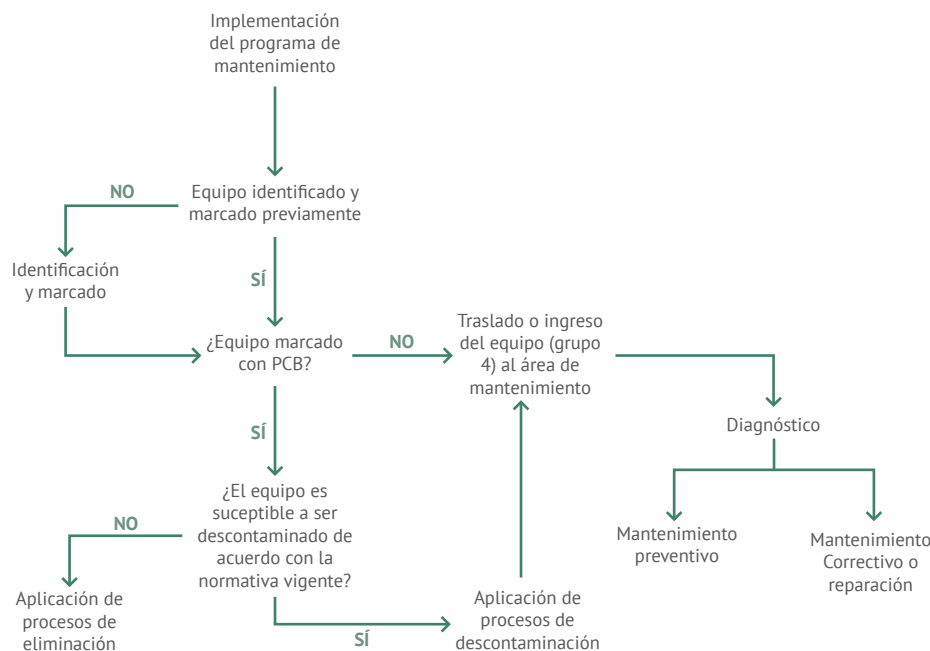
En este sentido, dado que las instalaciones que realizan mantenimiento a equipos con aceites dieléctricos son típicamente generadores de residuos o desechos peligrosos, es preciso desarrollar la formulación e implementación del *plan de gestión integral de residuos o desechos peligrosos*, cuyos componentes serán desarrollados más adelante.

La implementación de los lineamientos de la gestión integral de PCB en el mantenimiento de los equipos con fluidos dieléctricos es la herramienta más importante a la hora de prevenir la contaminación de los equipos, así como para permitir que estos logren una mayor y mejor vida útil. Lo anterior implica que en las instalaciones donde se realicen actividades de mantenimiento, especialmente aquellas con intervención del equipo y del aceite

dieléctrico, la recepción y manipulación de los equipos contaminados con PCB deben ser controladas, tanto por el propietario del equipo, como por un tercero contratado para realizar el mantenimiento.

Según la normativa en materia de gestión de PCB¹, las actividades de mantenimiento de equipos sólo pueden ser realizadas para aquellos equipos que cuenten con clasificación en el grupo 4 (PCB menor que 50 ppm). Esto implica que el propietario dispone de los resultados de análisis cuantitativo que permite clasificar el equipo como libre de PCB (concentraciones de PCB menores a las 50 ppm) o que dicho equipo cuenta con una certificación de fabricante que el mismo no fue fabricado con PCB y nunca ha sido intervenido.

Figura 1. Procedimiento de admisión de equipos para mantenimiento



Para los demás equipos, que no cuenten con la clasificación como grupo 4, deben realizarse primero las actividades de descontaminación, descritas en el documento N° 6 de la serie técnica que constituye este manual: *Manejo ambientalmente racional de equipos y desechos contaminados con PCB*, para luego reclasificar el equipo. El personal del área encargada de la recepción de los

equipos para mantenimiento debe garantizar que se apliquen los procedimientos necesarios para evitar que ingresen equipos contaminados con PCB (concentraciones iguales o superiores a las 50 ppm de PCB).

Por lo anterior, el marcado e identificación de los equipos que serán sometidos a las actividades de

¹ Resolución 222 de 2011 expedida por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible o aquella que la modifique, sustituya o complemente.

1. Consideraciones ambientales en relación con el mantenimiento de equipos con fluidos dieléctricos

No. 5. Mantenimiento de equipos con aceites dieléctricos

mantenimiento, como factor clave en el ingreso, implica que los operarios del área encargada de mantenimiento tengan criterios para identificar las señales visibles y los soportes documentales del cumplimiento de dicho requisito.

Un factor adicional para considerar, frente al tipo de actividades de mantenimiento, es que existen dos posibilidades en cuanto a dónde se realizan: mantenimiento en talleres y mantenimiento en sitio o en campo. Aunque en cualquiera de los dos casos *los planes de gestión integral* deben formularse e implementarse, su formulación e implementación puede corresponder a dos actores distintos: el propietario del equipo o la empresa contratada para realizar el mantenimiento.

Para las dos situaciones, las obligaciones de los dos actores principales se resumen en la **Tabla 1**. Es importante aclarar que en el caso de realizarse mantenimiento de los equipos por parte de la empresa propietaria de los mismos en un área dedicada para ello como un área o departamento de mantenimiento, la empresa asume ambos roles. También es importan-

te resaltar que la actividad de toma de muestra de aceite dieléctrico, siendo importante como medio de verificación de la concentración de PCB en el equipo, no es considerada en sí misma como una intervención al equipo, siempre y cuando éste tenga una válvula que permita la extracción de la muestra de forma que no se tenga contacto con el aceite dieléctrico de su interior.

Lo anterior tiene dos implicaciones básicas: (1) es posible tomar muestras de aceite a equipos sobre los que no se tiene claridad frente a su contenido de PCB y (2) una empresa de mantenimiento puede ofrecer el servicio de toma de muestras y análisis de PCB, sin que eso implique que los equipos que resulten contaminados con PCB deban someterse a etapas de mantenimiento preventivo o correctivo.

En el numeral 2. del presente documento, se presentan los elementos más importantes en la formulación del *plan de gestión integral de residuos o desechos peligrosos*, orientado en el caso general de las actividades de mantenimiento de equipos con fluidos dieléctricos

Tabla 1. Obligaciones y actores en la gestión de los residuos peligrosos del mantenimiento

Obligaciones por actor, según el sitio donde se realiza el mantenimiento		
Actores	En sitio / en campo	Taller de mantenimiento
Propietario del equipo	<ul style="list-style-type: none"> Formular e implementar el plan de gestión de residuos Inscribirse y reportar en el registro de generadores Contratar al gestor de residuos peligrosos Formular e implementar el plan de contingencias y medidas para prevenir y mitigar incidentes con los equipos y residuos 	<ul style="list-style-type: none"> Entregar la información necesaria como soporte de las actividades de marcado, identificación y clasificación del equipo.
Empresa de mantenimiento de equipos	<ul style="list-style-type: none"> Seguir el plan de gestión de residuos Disponer de personal entrenado en prevención y atención a emergencias 	<ul style="list-style-type: none"> Formular e implementar el plan de gestión de residuos Inscribirse y reportar en el registro de generadores Contrata gestor de residuos Formular e implementar el plan de contingencias y medidas para prevenir y mitigar incidentes con los equipos y residuos



ALTIMA MAXIMA 2,30 m

2. PLANES DE GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS O DESECHOS PELIGROSOS

ACCESO
RESTRINGIDO
SOLO PERSONAL
AUTORIZADO

EL USO DE ELEMENTOS DE
PERSONAL ES OBLIGATORIO



KIT
CONTRA
GLORAMES



Contenido Numeral 2

2.1.	Componente: prevención y minimización	15	2.2.3.	Plan de contingencia	24
2.1.1.	Identificación de fuentes y características de peligrosidad	15	2.2.4.	Medidas para la entrega de residuos al transportador	25
2.1.2.	Clasificación y características de peligrosidad	16	2.3.	Componente: manejo externo	26
2.1.3.	Gestión diferenciada de residuos	18	2.4.	Componente: evaluación y seguimiento	26
2.1.4.	Cuantificación de la generación	19	2.4.1.	Responsables de la coordinación y operación del plan	26
2.1.5.	Alternativas de prevención y minimización	20	2.4.2.	Capacitación	27
2.2.	Componente: manejo interno	22	2.4.3.	Seguimiento y evaluación	29
2.2.1.	Envasado y embalaje de residuos peligrosos	22	2.4.4.	Controles de calidad en los procesos	30
2.2.2.	Etiquetado y rotulado, almacenamiento y movilización interna de residuos peligrosos	23	2.4.5.	Cronograma de actividades	30

Según lo establecido por el Ministerio de Ambiente en el documento que recopila los lineamientos para la formulación de los planes de gestión integral de residuos peligrosos (Minambiente, 2005b), los cuatro componentes a considerar se presentan en la **tabla 2**.

Frente a cada uno de los componentes citados en la **Tabla 2**, en los siguientes numerales se presentan algunas consideraciones generales y aplicación al caso particular de las actividades de mantenimiento de equipos.

Tabla 2. Componentes de los planes de gestión de residuos peligrosos

Componente	Actividades	Observaciones
1	Prevención y minimización	<ul style="list-style-type: none">• Es el componente más importante del plan de gestión, determina la naturaleza, cantidad y clasificación de los residuos generados.• Se incluyen actividades que permitan reducir en la fuente y minimizar la cantidad y peligrosidad de los residuos.
2	Manejo interno ambientalmente seguro	<ul style="list-style-type: none">• Establece y articula actividades que el generador debe realizar dentro de sus instalaciones.• Incluye las consideraciones para entrega de los residuos al transportador.
3	Manejo externo ambientalmente seguro	<ul style="list-style-type: none">• Está relacionado con la idoneidad de las empresas contratadas para el manejo de los residuos peligrosos generados.• Promueve la gestión adecuada fuera de las instalaciones del generador.
4	Evaluación y seguimiento del plan	<ul style="list-style-type: none">• Se incluye el ejercicio de verificación de los avances en el cumplimiento de los objetivos y metas planteadas para los componentes anteriores, oportunidades o amenazas, así como irregularidades o desviaciones.

Fuente: recopilación realizada a partir de la información de Minambiente, 2005b.



◀ Toma de muestra de aceite contenido en equipo para mantenimiento, para la determinación de su concentración de PCB

2.1. Componente: prevención y minimización

Siendo el componente más importante de *los planes de gestión de residuos peligrosos*, es necesario plantear objetivos y metas claras, orientadas en tres aspectos principalmente:

- ✓ Evitar el ingreso de aceites dieléctricos o equipos contaminados con PCB.
- ✓ Eliminar o reducir el uso de sustancias peligrosas en las actividades de mantenimiento.
- ✓ Disminuir la cantidad de residuos peligrosos generados en la implementación de las actividades de mantenimiento.

2.1.1. Identificación de fuentes y características de peligrosidad

No son solamente los PCB las sustancias que pueden considerarse peligrosas en el ámbito del mantenimiento de equipos con aceites dieléctricos. Las sustancias utilizadas en el mantenimiento de un equipo pueden ser

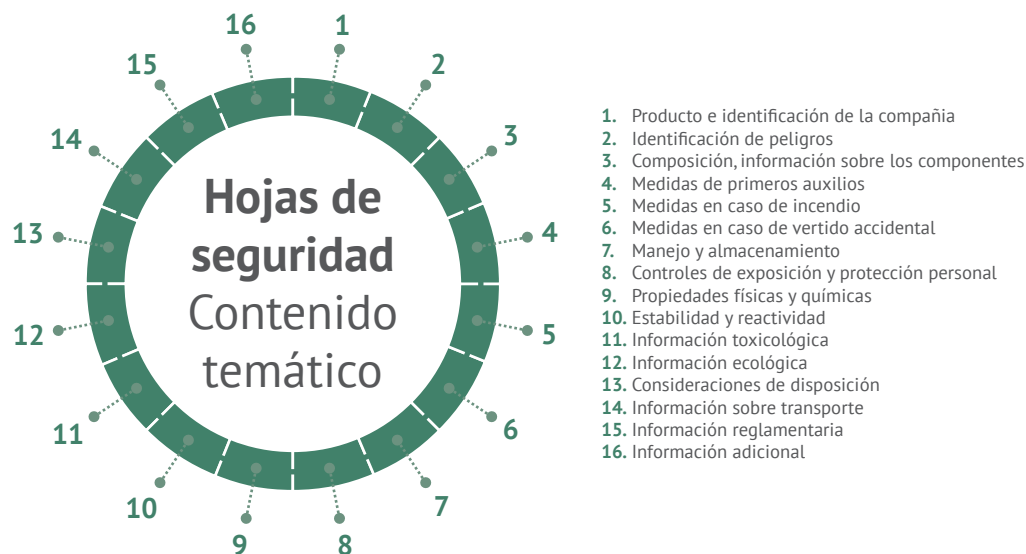
reconocidas como materiales, insumos o residuos peligrosos (según la evaluación que se realice en el proceso, ex ante o ex post), teniendo cada uno de ellos consideraciones para su manejo.

En ese sentido, las hojas de seguridad o fichas de datos de seguridad de materiales (Material Safety Data Sheet MSDS), fichas técnicas, rótulos y etiquetas son las principales herramientas disponibles para identificar las características de peligrosidad de las materias primas, insumos o mercancías que se utilizan durante el mantenimiento. Esto implica que es una documentación técnica que deberá exigirse y ser suministrada por el fabricante, importador o proveedor, preferiblemente en idioma Español.

Las hojas de seguridad² (**figura 2**) son una herramienta de entrenamiento y referencia para los trabajadores, profesionales de seguridad, ambiente y salud, así como un recurso para procedimientos de emergencias (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC), 2011); razón por la cual su conocimiento, uso experto y aplicación juiciosa por parte del personal involucrado coadyuvará a reducir los potenciales riesgos ambientales y ocupacionales.

² La hoja de seguridad de los materiales se considera una herramienta que ofrece principalmente el nombre y tipo de la sustancia química, su clasificación según la Organización de Naciones Unidas, composición y principios activos, las principales características (propiedades fisicoquímicas), los elementos de protección personal requeridos para el manejo seguro, las condiciones de almacenamiento y transporte, y la actuación frente a emergencias (derrames, incendios, exposición).

Figura 2. Esquema de contenido de las hojas de seguridad según la NTC 4435



Elaborado con información de la NTC 4435 “Transporte de Mercancías. Hojas de datos de seguridad para materiales. Preparación”.

Se denomina etiqueta al conjunto de elementos de información escritos, impresos o gráficos relativos a una mercancía peligrosa, que se adhieren o imprimen sobre los diferentes empaques o embalajes de las mercancías (Anexo 1). Por otro lado, se denomina rótulo a las etiquetas que se ubican sobre las unidades de transporte.

2.1.2. Clasificación y características de peligrosidad

Para identificar si un residuo o desecho es peligroso el Decreto 4741 de 2005 determinó tres alternativas o formas de aproximación, a saber:

- a. Con base en el conocimiento técnico sobre las características de los insumos y procesos asociados, se puede identificar si el residuo posee

una o varias de las características que le otorgarían la calidad de peligroso,

- b. A través de las listas de residuos o desechos peligrosos contenidas en los anexos I y II del Decreto 4741 de 2005,.



◀ **Discriminación de residuos peligrosos de acuerdo a su compatibilidad.**

c. A través de la caracterización físico-química de los residuos o desechos generados (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2005a). Procedimientos que permitirían clasificar el residuo peligroso como: corrosivo, reactivo, explosivo, inflamable, tóxico, de riesgo biológico – infeccioso o radioactivo.

Asociado al uso de las sustancias químicas en el mantenimiento de equipos está el hecho de que los residuos que se generen puedan heredar sus características de peligro, por lo tanto en el contexto de los procesos de mantenimiento de equipos pueden citarse ejemplos típicos, como los de la **tabla 3**.

Tabla 3. Residuos peligrosos generados en actividades de mantenimiento de equipos con aceites dieléctricos.

RESIDUO	CARACTERÍSTICA DE PRELIGOSIDAD	CLASIFICACIÓN	ETIQUETA	MANEJO TÍPICO
ACEITE USADO CON PCB	Tóxico	Y10 Sustancias y artículos de desecho que contengan, o estén contaminados por, bifenilos policlorados (PCB), terfenilos policlorados (PCT) o bifenilos polibromados (PBB). A3180 Desechos, sustancias y artículos que contienen, consisten o están contaminados con bifenilo policlorado (PCB), terfenilo policlorado (PCT), naftaleno policlorado (PCN) o bifenilo polibromado (PBB), o cualquier otro compuesto polibromado análogo, con una concentración igual o superior a 50 mg/kg		Exportación para tratamiento
ACEITES USADOS SIN PCB	Ecotóxico o tóxico para el ambiente.	Y8 y A3020 Desechos de aceites minerales no aptos para el uso a que estaban destinados.		Aprovechamiento Tratamiento
SOLVENTES USADOS	Inflamable y tóxico	A3140 y Y42 Desechos de disolventes orgánicos no halogenados pero con exclusión de los desechos especificados en la lista B. A3150 y Y41 Desechos de disolventes orgánicos halogenados.	 	Aprovechamiento
RESIDUOS (LÍQUIDOS O SÓLIDOS) Y ENVASES DE ÁCIDOS O BASES	Corrosivo	Y34 Soluciones ácidas o ácidos en forma sólida. Y35 Soluciones básicas o bases en forma sólida.		Tratamiento
RESIDUOS LÍQUIDOS DE PINTURA	Inflamable	Y12 y A4070 Desechos resultantes de la producción, preparación y utilización de tintas, colorantes, pigmentos, pinturas, lacas o barnices		Tratamiento
MATERIAL SÓLIDO CONTAMINADO DE PINTURA, INCLUYENDO ENVASES	Inflamable	Y12 y A4070 Desechos resultantes de la producción, preparación y utilización de tintas, colorantes, pigmentos, pinturas, lacas o barnices		Tratamiento

RESIDUO	CARACTERÍSTICA DE PRELIGROSIDAD	CLASIFICACIÓN	ETIQUETA	MANEJO TÍPICO
ESTOPAS Y/O ABSORBENTES CONTAMINADOS CON ACEITE SIN PCB	Tóxico	Y8 y A3020 Desechos de aceites minerales no aptos para el uso a que estaban destinados		Tratamiento
TIERRA FULLER, ESTOPAS Y/O ABSORBENTES CONTAMINADOS CON ACEITE USADO CON PCB	Tóxico	Y10 y A3180 Sustancias y artículos de desecho que contengan, o estén contaminados por, bifenilos policlorados (PCB), terfenilos policlorados (PCT) o bifenilos polibromados (PBB)		Exportación para tratamiento.
ESTOPAS Y/O ABSORBENTES CONTAMINADOS CON SOLVENTE	Inflamable, tóxico	Y6 Desechos resultantes de la producción, la preparación y la utilización de disolventes orgánicos		Tratamiento

Fuente: CIDET a partir de información de Minambiente, 2005b

2.1.3. Gestión diferenciada de residuos

Existen otras corrientes de residuos o desechos que deben ser separadas desde la fuente de generación para ser entregadas para su manejo en un esquema de recolección específico (residuos considerados de gestión diferenciada), pues los productores (fabricantes o importadores) son quienes a través de los llamados “programas posconsumo” determinan la forma en la que son recolectados los residuos y llevados a un manejo ambientalmente adecuado.

Los mecanismos de recolección establecidos por los programas posconsumo están diseñados para cubrir las diferentes alternativas de distribución y comercialización de los productos. Es importante señalar que la entrega en puntos de recolección en tiendas, centros comerciales o en campañas no es un mecanismo adecuado para las empresas, dado que estas requieren tener un soporte documental que certifique la adecuada gestión dada a los residuos que generan.

Los canales institucionales de los programas posconsumo tienen procedimientos adecuados para que sean generados los correspondientes soportes documentales del manejo ambientalmente adecuado de los residuos entregados, para presentar cuando la autoridad ambiental lo requiera.

Para mayor información sobre los mecanismos de recolección y manejo de los residuos posconsumo, puede consultarse el sitio web del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible sobre programas posconsumo.

Así mismo, el generador debe considerar que la entrega de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos que no estén incluidos en los programas posconsumo, deberá ser realizada a un gestor que cuente con una licencia ambiental para el desarrollo de las actividades.

2.1.4. Cuantificación de la generación

La generación de residuos o desechos peligrosos tiene que ser registrada, de forma que permita:

1. Llevar control de las actividades o procesos que más generan residuos o desechos peligrosos, para verificar si las medidas tomadas están dando los resultados esperados
2. Saber qué tipo de características de peligrosidad están asociadas a los residuos y en qué actividades se generan.
3. Determinar las cantidades totales de residuos o desechos peligrosos generados por mes, las cuales permiten determinar la categoría como generador (pequeño, mediano o grande) a la cual pertenece, de acuerdo con la clasificación de la normativa nacional, que a su vez se verá reflejada en el registro de generadores de residuos peligrosos, una vez dicho registro sea diligenciado.

En este sentido, el responsable de formular e implementar el plan de gestión deberá asegurar que los registros incluyan por lo menos los siguientes parámetros:

1. Identificación de las actividades generadoras de residuos (flujogramas por tipo de mantenimiento)
2. Clasificación de residuos peligrosos (corrientes determinadas en la normativa nacional sobre residuos peligrosos)
3. Cantidades generadas, documentadas y medidas en las mismas unidades de peso (kg o toneladas) y de tiempo (día, semana o mes).

Como ejemplo, el documento de Lineamientos para la elaboración de Planes para la Gestión de Residuos Peligrosos, elaborado por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (2005b), incluye formatos que pueden ser usados como base por los generadores para dicha tarea.



◀ *Residuos peligrosos generados en actividades de mantenimiento de equipos con aceites dieléctricos*

2.1.5. Alternativas de prevención y minimización

De acuerdo con la **tabla 3**, se evidencia que los impactos ambientales pueden ocurrir principalmente por exposición o liberación al ambiente de las sustancias que contienen los productos o residuos que se manejan en las actividades de mantenimiento -ya sea dentro o fuera del taller-, por lo que resulta importante proponer alternativas de prevención, minimización y manejo seguro de dichas sustancias (**figura 3**).

La gestión de proveedores es una estrategia gerencial que tiene como objetivo seleccionar, mediante criterios definidos, a quienes surtan los productos o servicios necesarios para desarrollar las actividades asociadas al mantenimiento, de tal manera que se promueva la mayor calidad y control a las entradas (insumos necesarios) del proceso de mantenimiento de equipos al menor costo posible desde el punto de vista tanto económico como ambiental.

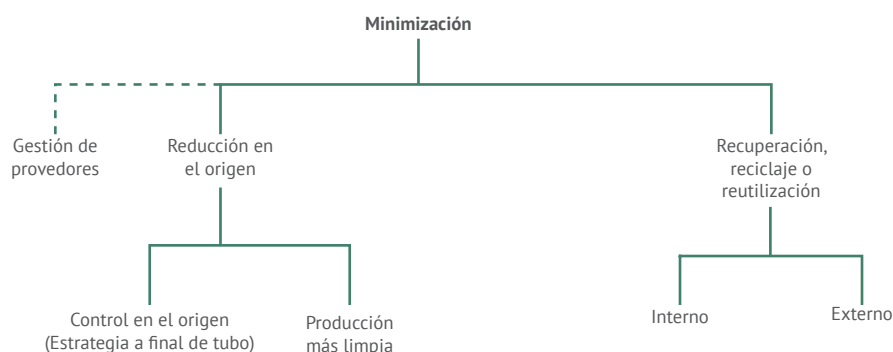
Dicha gestión – fundamentada en los principios de producción y consumo sostenible- exige una **selección**

de materiales y proveedores que propenda por el uso racional de recursos naturales y sustancias peligrosas, y minimicen los residuos a generar.

Por su parte, la minimización de residuos se puede lograr mediante la implantación de alternativas como: a) uso de buenas prácticas, las cuales corresponden a actuaciones sencillas del generador, tendientes a reducir pérdidas sistemáticas o accidentales, sin exigir mayores inversiones³; b) cambios o mejoras tecnológicas, consistente en la adecuación de equipos existentes o adquisición de nuevos equipos con el fin de evitar pérdidas sistemáticas y generación de residuos; c) cambio de materias primas e insumos, lo que requiere el remplazo de algunas materias primas o insumos que contienen sustancias peligrosas, por otras ambientalmente amigables; d) procesos que permitan la reutilización de productos y; e) procesos de acondicionamiento de residuos para incorporarlos nuevamente a los procesos y procedimientos (reciclaje). En la **tabla 4** se presentan ejemplos para cada uno de ellos.

3 Esta estrategia no requiere hacer cambios en tecnología o materias primas, contribuyendo a importantes ahorros económicos y al aumento en la productividad.

Figura 3. Alternativas de minimización



NOTA: antes de tomar la decisión sobre la implementación de una o varias de las alternativas identificadas, se recomienda evaluar su factibilidad utilizando criterios técnicos, legales, financieros y ambientales.



Tabla 4. Alternativas de minimización de residuos

CONCEPTO	EJEMPLO
BUENAS PRÁCTICAS	<ul style="list-style-type: none"> • Revisar periódicamente uniones o juntas de los equipos para evitar fugas durante los procesos de mantenimiento. • Comprar la cantidad de materiales estrictamente necesaria para cada etapa de los procesos de mantenimiento, evitando que sobren materiales. • Reducir el número de envases parcialmente llenos. • Capacitar al personal conforme a cada necesidad. • Utilizar los productos más antiguos dentro del almacenamiento, especialmente las sustancias químicas peligrosas.
CAMBIOS O MEJORAS TECNOLÓGICAS	<ul style="list-style-type: none"> • Uso de automatismos para precisar formulaciones y evitar pérdidas que configuren la presencia de residuos peligrosos.
CAMBIO DE MATERIAS PRIMAS E INSUMOS	<ul style="list-style-type: none"> • Cambiar el uso de tintas de base disolvente por base acuosa. • Eliminar el uso de catalizadores tóxicos. • Evitar el uso de filtros desechables en operaciones de limpieza y filtración.
REUTILIZACIÓN	<ul style="list-style-type: none"> • Reutilizar solventes. • Reutilizar enjuagues. • Segregar y reutilizar disolventes para la limpieza.
RECUPERACIÓN DE RESIDUOS	<ul style="list-style-type: none"> • Usar sistema de recuperación con vapor para disolventes. • Recuperar baños desengrasantes alcalinos mediante un sistema de ultrafiltración.

◀ *Reporte de información en línea*

2.2. Componente: manejo interno

2.2.1. Envasado y embalaje de residuos peligrosos

Una vez identificados los residuos peligrosos, el generador debe depositarlos en envases o contenedores que sean apropiados al estado físico, tomando en cuenta su compatibilidad con otros residuos, las características de peligrosidad y el volumen generado.

A la hora de seleccionar un contenedor es muy importante tener en cuenta las especificaciones técnicas respectivas, que se encuentran en el numeral 3.4 de las Normas Técnicas Colombianas NTC 4702-1/9 "Embalajes y envases para transporte de mercancías peligrosas", observadas en la **tabla 5**:



◀ Residuos sólidos contaminados con PCB envasados y embalados

Tabla 5. Normas Técnicas Colombianas para embalajes y envases para transporte de mercancías peligrosas

NTC	OBJETO
4702-1	Embalajes y envases para transporte de mercancías peligrosas Clase 1. Explosivos
4702-2	Embalajes y envases para transporte de mercancías peligrosas Clase 2. Gases
4702-3	Embalajes y envases para transporte de mercancías peligrosas Clase 3. Líquidos Inflamables
4702-4	Embalajes y envases para transporte de mercancías peligrosas Clase 4. Sólidos Inflamables.
4702-5	Embalajes y envases para transporte de mercancías peligrosas Clase 5. Sustancias comburentes y Peróxidos Orgánicos.
4702-6	Embalajes y envases para transporte de mercancías peligrosas Clase 6. Sustancias Tóxicas e infecciosas.
4702-7	Embalajes y envases para transporte de mercancías peligrosas Clase 7. Materiales Radiactivos.
4702-8	Embalajes y envases para transporte de mercancías peligrosas Clase 8. Sustancias Corrosivas.
4702-9	Embalajes y envases para transporte de mercancías peligrosas Clase 9. Sustancias Peligrosas Varias

Nota: A continuación se citan algunos ejemplos:

Si se tiene un residuo corrosivo líquido, como por ejemplo ácido sulfúrico sucio, se debe utilizar un envase de vidrio o de plástico, el de vidrio se utiliza sólo para cantidades pequeñas. Lo anterior se debe a que los residuos corrosivos son incompatibles con el metal, producen corrosión del material.

El recipiente adecuado para un residuo líquido inflamable (solventes usados) debe ser metálico, no se debería usar un recipiente plástico, lo anterior con el fin de reducir la cantidad del material combustible en caso de incendio.


Fuente: CIDET, 2014

2.2.2. Etiquetado y rotulado, almacenamiento y movilización interna de residuos peligrosos

De acuerdo con el Ministerio de Transporte (2002), los envases y embalajes que contengan materiales peligrosos deben estar rotulados y etiquetados de forma clara, legible e indeleble, de acuerdo con lo establecido en la Norma Técnica Colombiana NTC 1692. El etiquetado tiene como objetivo principal identificar *el residuo peligroso* y permitir reconocer la naturaleza del peligro que representa, alertando a las personas involucradas en el transporte o manejo sobre las medidas de precaución y prohibiciones. Para este fin, se utilizan etiquetas de riesgo⁴, que contienen información relacionada con la identificación del residuo, los datos del generador, el código de identificación del residuo y la naturaleza de los riesgos que representa el residuo (tabla 6).

El rótulo⁵ tiene un tamaño de 25 cm x 25 cm y se ubica sobre la unidad de transporte, estas unidades comprenden: los vehículos cisterna, los vehículos de transporte de mercancías por carretera, los vagones cisterna y, los vagones de mercancía, así como los contenedores de mercancía y las cisternas portátiles destinadas al transporte multimodal (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC), 2005).

Tabla 6. Ejemplo de etiqueta

	<p>NOMBRE DEL RESIDUO: aceites lubricantes usados</p> <p>CLASE 9: materiales y objetos peligrosos diversos</p> <p>LUGAR Y ACTIVIDAD DONDE SE GENERA: procedente del Taller XX ubicado en la ciudad YY, calle AA # BB - CC.</p> <p>RECOMENDACIONES: evitar derrames y rompimiento del envase o embalaje.</p>
---	---

Adaptado de CIDET, 2014.



Foto 1 y 2: Actividades de almacenamiento y movilización interna de residuos contaminados con PCB

4 El tamaño de la etiqueta será de 10 cm x 10 cm y deberá estar fijada firmemente sobre el envase o el contenedor.

5 Se deben colocar rótulos en todas las caras visibles y en la parte delantera de la cabina del vehículo de las unidades de transporte, los rótulos deben corresponder al riesgo principal de las mercancías contenidas en la unidad de transporte, igualmente se debe colocar en cada pared externa el número UN de la mercancía más peligrosa. El número UN corresponde a un número de 4 dígitos usados para identificar una sustancia o material peligroso, éste permite identificar el producto sin importar el país del cual provenga. Deberá tener una base de 30 cm y una altura de 30 cm; llevarán un reborde negro de 15 mm. El material utilizado debe ser resistente a la intemperie y garantizar una señalización duradera. Por facilidad y seguridad estas palcas deben ser removibles.

Por su parte, la normativa exige que el generador de residuos peligrosos no los almacene por más de doce meses, aunque en casos debidamente sustentados y justificados, se podrá solicitar ante la Autoridad Ambiental una extensión de dicho período⁶ (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2005a).

En el **Anexo 3** se incluyen dos listas de chequeo para el almacenamiento, fundamentadas en las “*Guías Ambientales de almacenamiento y transporte por carretera de sustancias químicas peligrosas y residuos peligrosos*” (MAVDT & CCS, 2003). Sin embargo, se debe tener en cuenta que estas listas fueron diseñadas de forma general y para cualquier tipo de almacenamiento de sustancias o residuos peligrosos, por lo que resultará importante conocer las características de las sustancias o residuos peligrosos que genera la actividad de mantenimiento de equipos, con el fin de establecer las incompatibilidades químicas y poder generar un esquema de almacenamiento de acuerdo con estas⁷.

2.2.3. Plan de contingencia

Un plan de contingencia es un documento guía que establece estrategias de respuesta a través de procedimientos operativos normalizados y protocolos de respuesta para la atención de incidentes, entendiéndolo como un evento natural o causado por el hombre, en el que se requiere la intervención de personal de emergencia para evitar o minimizar la pérdida de vidas o el daño a propiedades o a los recursos naturales; en el plan se definen las responsabilidades de las personas que intervienen en la operación, provee una información básica sobre los insumos y recursos disponibles, ya sea que el evento se presente durante una actividad estacionaria (almacenamiento, procesos, cargue y descargue) o durante el transporte (CORANTIOQUIA, CORNARE, CORPOURABA Y AMVA, 2013).

Según la normativa actual, las empresas deben contar con medidas de contingencia para:

- ✓ Atención de accidentes durante las operaciones de transporte de mercancías peligrosas

cuando se realice en vehículos propios, según Decreto 1609 de 2002.

- ✓ Las actividades relacionadas con la gestión de residuos peligrosos, según los lineamientos para la elaboración de los planes de gestión integral de residuos peligrosos según Decreto 4741 de 2005.
- ✓ La ejecución de los proyectos, obras, o actividades sujetos a licenciamiento ambiental o plan de manejo ambiental, en caso de incendios, derrames, escapes, parámetros de emisión o de vertimientos por fuera de los límites permitidos o cualquier otra contingencia ambiental, según Decreto 2041 de 2014.
- ✓ La exploración, explotación, manufactura, refinación, transformación, procesamiento, transporte o almacenamiento de hidrocarburos o sustancias nocivas para la salud y para los recursos hidrobiológicos. Tales actividades deberán estar provistas de un plan de contingencia y control de derrames, según Decreto 3930 de 2010, dicho plan debe ser aprobado por la Autoridad Ambiental competente y en caso de transporte presentarlo a las diferentes Autoridades Ambientales donde se realice el cargue de las sustancias, según Resolución 1401 de 2012. En ambos casos se solicitarán los términos de referencia dados por la autoridad ambiental competente.

Teniendo en cuenta lo anterior, las empresas que realizan mantenimiento de equipos con aceites dieléctricos deberán definir e implementar las medidas de contingencia que les aplique mediante el plan o planes que requiera. La tabla 7 corresponde a un modelo para la identificación de amenazas, riesgos y recursos afectados mediante las operaciones en planta o en el transporte de una empresa que realice actividades con hidrocarburos o sustancias nocivas según CORANTIOQUIA, CORNARE, CORPOURABA Y AMVA (2013).

⁶ Para el resto de consideraciones técnicas, se contemplan las mismas condiciones tanto para residuos como para sustancias peligrosas según lo establecido por el Ministerio de Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (2005a).

⁷ La herramienta fundamental para el conocimiento de las características de sustancias y residuos peligrosos son las fichas de datos de seguridad de materiales (Material Safety Data Sheet MSDS) suministradas por el proveedor o fabricante de las sustancias, y las hojas de seguridad de los residuos, elaboradas por el generador de los mismos, en este caso las empresas que realizan las actividades de mantenimiento de equipos.

Tabla 7. Tabla de identificación de amenazas, riesgos y recursos afectados.

ACTIVIDADES	IDENTIFICACIÓN DE AMENAZAS			IDENTIFICACIÓN DE RIESGOS						RECURSO AFECTADO: GRAVE (G), LEVE (L), MODERADO (M)					OTRAS AFECTACIONES: GRAVE(G), LEVE (L), MODERADO(M)				
	Derrame materias primas	Derrame insumos	Derrame producto terminado	Vertimiento a fuentes superficiales	Contaminación de acuíferos	Efectos sobre la flora y fauna	Efectos por emisión de gases	Efectos sobre la salud humana	Afectaciones a la infraestructura	Otro	HÍDRICO	SUELO	AIRE	FLORA	FAUNA	PAISAJE	SOCIAL	ECONÓMICA	EMPRESARIAL
Cargue de materiales, equipos																			
Descargue de materiales, equipos																			
Procesos de la empresa																			
Almacenamiento de materiales, equipos, residuos																			
Transporte de materiales, equipos, residuos																			
Tratamiento de materiales, equipos																			
Otros																			

Fuente: CORANTIOQUIA, CORNARE, CORPOURABA Y AMVA, 2013

2.2.4. Medidas para la entrega de residuos al transportador

En cuanto al transporte se refiere, para los casos de aceites dieléctricos usados, contaminados o no con PCB, es necesario cumplir con lo establecido en el Decreto 1609 de 2002; haciendo énfasis en las obligaciones del remitente de la mercancía y del transportador (que puede ser la misma empresa o puede ser contratado para pres-



◀ Unidad de transporte externo de residuos peligrosos

tar dicho servicio). En cualquier caso el generador debe verificar que se realice la actividad de manera correcta, pues permanece su responsabilidad sobre el manejo de los residuos peligrosos, desde el cargue hasta su manejo final. Una ampliación de esto se podrá encontrar en el documento *No. 6 Manejo Ambientalmente Racional de Equipos y Desechos Contaminados con PCB* de la serie técnica que constituye el presente Manual.

2.3. Componente: manejo externo

El manejo externo de los residuos generados incluye actividades de almacenamiento, aprovechamiento, recuperación, tratamiento y disposición final, ya sean dentro o fuera del país. Estas actividades deben ser contratadas con empresas o instalaciones (gestores o receptores) que cuenten con las licencias, permisos, autorizaciones y demás instrumentos de control y manejo ambiental a que haya lugar, de conformidad con la normativa aplicable (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2005b).

Para conocer los receptores o gestores autorizados para el almacenamiento, tratamiento, aprovechamiento, recuperación, reciclaje y disposición final de residuos peligrosos, el generador puede consultar los listados que las autoridades ambientales urbanas o regionales tengan disponibles al público⁸. En general, es recomendable realizar auditorías a las empresas contratadas para alguna actividad de la gestión de residuos peligrosos con el fin de garantizar el adecuado funcionamiento de estas, usando formatos o modelos como el presentado en el **anexo 4**.

Por su parte, el Registro de generadores de residuos peligrosos se circunscribe a lo establecido en la Resolución 1362 de 2007 expedida por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, la cual aplica para los generadores de una cantidad mensual igual o superior a 10 kg/mes de residuos peligrosos; aclarando que la autoridad ambiental tiene la potestad de obligar a inscribirse y realizar el registro a generadores de menos de 10 kg/mes. Para la inscripción, cada establecimiento deberá llevar a cabo los siguientes pasos:

a) solicitud de inscripción en el registro por parte del generador a la autoridad ambiental de la jurisdicción donde esté ubicado, b) asignación de número de registro, por parte de la autoridad ambiental y, c) diligenciamiento de la información por parte del generador.

Adicionalmente, se deben tener en cuenta las consideraciones relativas al Inventario Nacional de PCB expuestas en el documento *No. 2 Consideraciones para la Implementación del Inventario Nacional de PCB* de la serie técnica que constituye este manual, aplicables a los propietarios de los equipos.

2.4. Componente: evaluación y seguimiento

El proceso de planeación, implementación y verificación de las actividades establecidas en el plan de gestión de residuos es una actividad que se desarrolla permanentemente, basada en las metas e indicadores de los componentes previamente explicados, lo que le permite a quien formula determinar si su plan está teniendo el resultado esperado y qué tipo de acciones pueden implementarse para corregir, mejorar o mantener los logros alcanzados.

2.4.1. Responsables de la coordinación y operación del plan

Si bien algunas empresas cuentan con personal entrenado en temas ambientales que formulen y coordinen la implementación del *plan de gestión de residuos*, son las personas que realizan las labores de mantenimiento quienes deben enfrentar los mayores riesgos en la manipulación de las sustancias o productos químicos, así como de los residuos o desechos peligrosos generados.

En ese sentido, al formular e implementar los procedimientos de manipulación de sustancias y residuos, deberá promoverse la coordinación entre los operarios encargados del mantenimiento de equipos y los encargados del área de gestión ambiental, para que las actividades en la gestión del activo (mantenimiento) no impidan la rea-

⁸ Es necesario verificar la información disponible en sitios web o a través de los medios de contacto disponibles (teléfono, oficinas de atención, chat virtual, entre otros).

lización de actividades de gestión de residuos (registro de generación, manejo interno y externo ambientalmente adecuado) y se pueda llevar un seguimiento adecuado a los indicadores de desempeño del plan.

Cuando las actividades de mantenimiento son desarrolladas en las instalaciones del propietario de los equipos, la coordinación debe darse entre empleados de la misma compañía, por lo que los procedimientos deben socializarse en capacitaciones o entrenamientos orientados hacia los empleados.

En los casos de mantenimiento de equipos en sitio (o en campo), donde intervienen personas ajenas a la organización contratadas para desarrollar dicha actividad, la coordinación corresponde a asegurar que se sigan las instrucciones de manejo interno de los residuos peligrosos generados, a través de los procedimientos establecidos por el propietario de los equipos en su plan de gestión de residuos.



◀ Alistamiento de insumos para mantenimiento en campo de equipos eléctricos.

2.4.2. Capacitación

Las actividades de capacitación que se requieren para complementar las medidas incorporadas en los planes de gestión integral de residuos peligrosos deberán incluir los dos escenarios posibles, según quién sea el actor encargado del mantenimiento de los equipos con aceites dieléctricos: a) propietario o b) empresa de mantenimiento.

Para el caso de mantenimiento realizado por el mismo propietario es importante desarrollar un material de consulta y socializarlo con frecuencia a los encargados de las áreas de mantenimiento, no solamente para asegurar que estén claras las medidas necesarias de manejo interno y entrega al transportador o gestor externo, sino para revisar y actualizar las acciones, procedimientos e indicadores de desempeño de dichas actividades.

Un contenido básico para la capacitación de encargados del área de mantenimiento de equipos con aceites dieléctricos puede incluir:

1. Listado de residuos peligrosos que se generan en la actividad
2. Medidas de prevención y minimización de la generación
3. Procedimientos de manejo interno adecuado de los residuos
4. Consulta y uso de hojas de seguridad de las sustancias químicas
5. Elementos de seguridad y salud en el trabajo – riesgos por sustancias químicas
6. Qué hacer en caso de emergencia con sustancias o residuos peligrosos
7. Listado de contactos en caso de emergencia
8. Uso de los registros, controles operativos, indicadores de desempeño

9. Oportunidades de mejora, recopilación de experiencias, lecciones aprendidas, procesos de mejora de las actividades de mantenimiento

De otra parte, al contratar las actividades de mantenimiento con terceros es necesario desarrollar estrategias de socialización y verificación de la implementación en campo de las medidas de prevención, minimización y manejo interno, ya que los contratistas deben seguir las medidas contenidas en el *plan de gestión integral de residuos peligrosos* desarrollado por el propietario.

En ese sentido, el contenido básico para la capacitación de personal externo encargados del mantenimiento en sitio (campo) puede incluir lo siguiente:

1. Requisitos de seguridad y salud en el trabajo
2. Medidas de prevención y minimización de la generación de residuos peligrosos
3. Manejo interno adecuado de los residuos

4. Uso de registros, controles operativos y requisitos de información del *plan de gestión de residuos*

5. Qué hacer en caso de emergencias con sustancias o residuos peligrosos

Además de lo anterior, es importante mantener una base de información actualizada y de consulta permanente con un resumen de los componentes del *plan de gestión integral de residuos peligrosos*, así como un compendio de las hojas de seguridad de las sustancias o residuos peligrosos que se han identificado y las referencias a la normativa ambiental aplicable.

Dentro de los contenidos dedicados a prevención y minimización, es pertinente hacer un énfasis adecuado sobre las medidas propuestas para evitar que ingresen a mantenimiento equipos con PCB. Esto promueve que los operarios conozcan y entiendan la importancia de realizar adecuadamente las pruebas y de verificar los requisitos documentales de los equipos que ingresan



◀ *Actividades de mantenimiento de equipos eléctricos en campo*

para ser intervenidos, con el objetivo de que las apliquen de manera regular y se garantice minimizar el riesgo de contaminación cruzada.

Finalmente, como una oportunidad de mejora continua en el proceso de implementación del *plan de gestión integral de residuos peligrosos*, es importante dar a conocer los logros, avances y las oportunidades de mejora identificadas sobre la marcha. Se pueden socializar los resultados de actividades como la prevención y minimización, la eliminación del uso de sustancias peligrosas, la reducción de cierta cantidad de residuos peligrosos, el aprovechamiento o reciclaje de residuos, entre otros.

2.4.3. Seguimiento y evaluación

Según Minambiente (2005b), los indicadores pueden considerarse como herramientas para el seguimiento y control de las estrategias diseñadas, así como para hacer un seguimiento progresivo al desempeño y a los resultados de las medidas.

A continuación se presentan ejemplos de indicadores de evaluación y seguimiento a la implementación del *plan de gestión integral de residuos peligrosos*, según la orientación de las medidas:

Tabla 8. Ejemplos de indicadores de evaluación y seguimiento

Actividad	Tipo de indicador	Ejemplo	Unidad
Prevención y minimización	Calidad ambiental	Cantidad de solventes tóxicos sustituidos / cantidad de solventes utilizada	Porcentaje
	Valor relativo	Cantidad de residuos peligrosos generada por equipo sometido a mantenimiento	Kg / equipo
	Valor absoluto	Cantidad de residuos generados al mes	Kg / mes
	Destinación	Cantidad de materiales secundarios aprovechados por mes	Kg / mes
	Valor absoluto	Concentración de PCB en aceites dieléctricos regenerados	ppm (mg/kg) de PCB
Manejo interno	Cumplimiento	Implementación de procedimientos de manejo interno de residuos	Unidades
	Cumplimiento	Fracción de operarios y empleados que presentan y aprueban un examen de conocimiento en el tema	Porcentaje
	Valor relativo	Cantidad de contingencias atendidas adecuadamente / contingencias totales	Porcentaje
	Valor absoluto	Emergencias presentadas relacionadas con residuos peligrosos	Unidades
Manejo externo	Valor relativo	Cantidad de residuos peligrosos entregados para aprovechamiento / cantidad de residuos peligrosos generada	Porcentaje

Fuente: recopilación con base en tipos de indicadores propuestos por Minambiente, 2005b.

2.4.4. Controles de calidad en los procesos

Además de la formulación e implementación de los anteriores indicadores, las empresas o áreas de mantenimiento pueden implementar un muestreo estadístico para verificar las condiciones en las que los equipos, clasificados en grupo 4, están ingresando a las activi-

dades y las cantidades de PCB que se pueden acumular en los equipos utilizados para bombeo, almacenamiento y regeneración de aceites.

Para ello puede proponerse un esquema de seguimiento, basado en objetivos y mediciones como el que se muestra en la **tabla 9**:

Tabla 9. Ejemplo de esquema de seguimiento

Objetivos	Actividades	Resultados posibles
<p>Determinar la efectividad del mecanismo de control de ingreso de PCB al proceso</p> <p>Determinar el nivel de control de ingreso</p> <p>Identificar confiabilidad en la aplicación de procedimientos de toma de muestra y análisis de PCB en aceites</p>	<ul style="list-style-type: none"> Analizar PCB en equipos admitidos a mantenimiento con intervención del aceite. Establecer la cantidad de equipos que deben ser analizados para confirmar contenido de PCB mediante análisis cuantitativo. Implementar el procedimiento de toma de muestra y análisis de acuerdo con lo establecido por el IDEAM en equipos o aceites con PCB en una concentración conocida. 	<ul style="list-style-type: none"> Porcentaje de equipos con contenidos de PCB mayores a 50 ppm en relación al total de equipos programados para ser sometidos a mantenimiento. Promedio de concentración de PCB en equipos que ingresan a mantenimiento. Frecuencia de toma de muestra y análisis de PCB en aceite para equipos que ingresan a mantenimiento Porcentaje o fracción de equipos a ser verificados con toma de muestra y análisis cuantitativo en relación al total de equipos programados para ser sometidos a mantenimiento. Fracción del equipo de trabajo que está certificado en competencias para la toma de muestras de aceites dieléctricos en relación con el total de personal dedicado a toma de muestras. Relación del número de equipos contaminados con PCB encontrados en actividades desarrolladas en campo y en taller.

Con los resultados anteriores, las empresas que desarrollan actividades de mantenimiento pueden evaluar y ajustar las medidas de control de ingreso de equipos al mantenimiento, establecer o modificar los perfiles o características de los equipos que han presentado inconformidades, proponer procedimientos simplificados y eficaces para control, entre otros.

2.4.5. Cronograma de actividades

La elaboración de un cronograma de actividades ayuda a mantener control sobre la implementación de me-

didias periódicas como capacitación o socialización de resultados, además permite planear actividades de mejora, revisión o actualización.

Estos cronogramas pueden ser anualizados, tal como recomienda el documento de *Lineamientos para la elaboración de planes para la gestión de residuos peligrosos* del Minambiente (2005b) aunque la frecuencia de su revisión y actualización depende de las actividades desarrolladas por el propietario.





3.

TIPOS DE MANTENIMIENTO DE EQUIPOS CON ACEITE DIELECTRICO



Contenido Numeral 3

3.1.	Diagnóstico de equipos	34
3.2.	Mantenimiento preventivo	37
3.3.	Mantenimiento correctivo (reparación de equipos)	38

3.1. Diagnóstico de equipos

En el caso particular de los transformadores, el diagnóstico ha estado fundamentado en la determinación de la resistencia del aislamiento junto con la medición de la rigidez dieléctrica del aceite. Sin embargo, hoy en día se han incorporado ensayos tales como el factor de potencia del aislamiento, contenido de humedad, tensión interfacial, acidez del aceite, el análisis de respuesta en frecuencia, termografía infrarroja, análisis de vibraciones y ruidos, entre otros, que permiten obtener un diagnóstico acertado del estado actual del equipo.

De igual forma, el análisis de gases generados en el interior del transformador mediante cromatografía de gases disueltos en aceite se ha constituido en una herramienta más a la hora de monitorear el estado en que se encuentran los equipos eléctricos, como los transformadores, sin necesidad de retirarlos de operación.

El proceso de diagnóstico, en equipos como los transformadores que utilizan el aceite dieléctrico como aislante, permite: a) identificar los factores que influyen en el deterioro del sistema de aislamiento; b) identificar el estado actual de las partes que conforman el equipo; c) establecer el nivel de cumplimiento técnico del equipo respecto de los exigidos por las normas técnicas para el funcionamiento del equipo y; d) Definir pruebas y actividades de rutina para determinar la gestión del equipo durante su vida útil.



◀ *Actividades de diagnóstico de
equipos en campo*

Tabla 10. Técnicas de diagnóstico

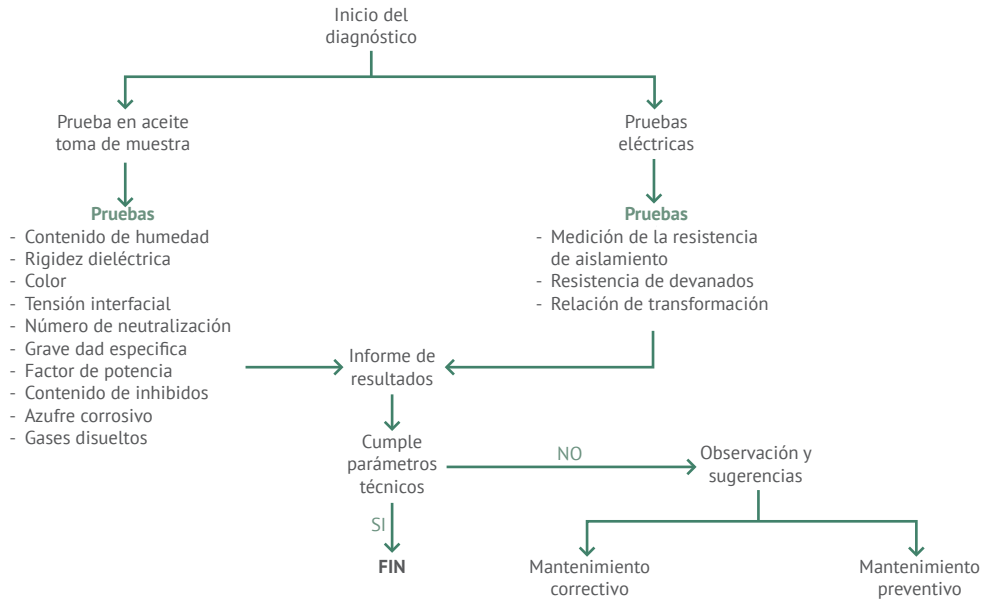
	TÉCNICA DE DIAGNÓSTICO	CONDICIÓN DE SERVICIO	ESTATUS DE LA TÉCNICA	MUESTRA DE ACEITE
MECÁNICO	Corriente de excitación	Fuera de servicio	Aplicación general	No aplica
	Impulso de baja tensión	Fuera de servicio	Aplicación general	No aplica
	Análisis de respuesta en frecuencia	Fuera de servicio	Aplicación general	No aplica
	Capacitancia	Fuera de servicio	Aplicación general	No aplica
TÉRMICO	Análisis de gases disueltos			
	Cromatografía de gases	En servicio	Aplicación general	Aplica
	Método de hidrogeno equivalente	En servicio	Aplicación general	Aplica
	Deterioro de papel y aceite			
	Cromatografía líquida	En servicio	En desarrollo	Aplica
	Análisis de furanos	En servicio	En desarrollo	Aplica
	Detección por HOT SPOT			
	Sensores invasivos	En servicio	En desarrollo	No aplica
	Termografía por infrarrojos	En servicio	Aplicación general	No aplica
	DIELÉCTRICO	Análisis del aceite		
Humedad, rigidez, resistividad, etc.		En servicio	Aplicación general	Aplica
Relación de transformación		En servicio	Aplicación general	No aplica
Medidas tipo descargas parciales				
Método de Ultrasonido		En servicio	En desarrollo	No aplica
Métodos eléctricos		En servicio	En desarrollo	No aplica
Factor de potencia y capacitancia		Fuera de servicio	Aplicación general	No aplica
Respuesta a frecuencia dieléctrica		Fuera de servicio	Aplicación general	No aplica

Fuente: CIDET, 2014.

Un resumen de las actividades incluidas en el diagnóstico puede observarse en la **figura 4** (Proceso de diagnóstico), incluidas referencias a las normas técnicas para pruebas en aceite y pruebas adicionales en esta etapa de la gestión del activo.

Figura 4. Proceso de diagnóstico

Flujograma proceso de diagnóstico



Descripción

El diagnóstico se ha fundamentado en la determinación de la resistencia de aislamiento junto con la medición de la rigidez dieléctrica del aceite.

Pruebas

El conjunto de pruebas eléctricas, físicas y químicas que se deben realizar al sistema de aislamiento son las correspondientes al aceite dieléctrico NTC 1465 – ASTM D3487 – IEC 60296, al aislamiento sólido y adicionales.

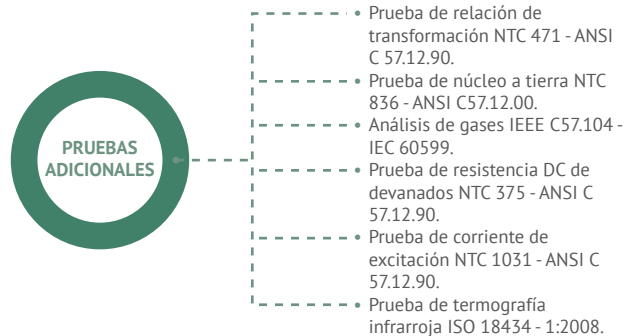
Pruebas al aislamiento sólido

- Prueba de resistencia de aislamiento (NTC 836 – ANSI C57.12.00)
- Prueba de factor de potencia del aislamiento (ASTM D924).

Pruebas al aceite dieléctrico (NTC 1465 – ASTM D3487 – IEC 60296)

Prueba	Normas	
Rigidez dieléctrica	ASTM D877 - D1816	IEC 60335-1; IEC 60598-1
Número de neutralización	ASTM D974	IEC 62021-1; IEC 62021-2
Tensión interfacial	ASTM D971 - D2285	EN 14210
Color	ASTM D1500	ISO 2049
Contenidos de agua	ASTM D1533	IEC 60814
Densidad relativa	ASTM D1298 ASTM D4052	ISO 3675
Factor de potencia	ASTM D924	ASTM D924
Inspección visual	ASTM D1524	AST D1524

Pruebas adicionales:



Fuente CIDET, 2014

A continuación se describen las diferentes actividades que se realizan en el mantenimiento del equipo a partir de los resultados obtenidos en el diagnóstico.

3.2. Mantenimiento preventivo

Cuando la condición operativa del equipo requiere ser verificada frente a las condiciones de operación adecuadas, el paso a seguir es ingresar el equipo al proceso de mantenimiento, en el cual se realiza un diagnóstico completo del equipo (externo e interno) para definir el nivel de intervención requerido. En la **figura 5** (Proceso de mantenimiento preventivo) se presentan las actividades y el procedimiento típicamente desarrollado dentro del mantenimiento preventivo, incluyendo consideraciones básicas sobre las condiciones operativas.

El mantenimiento preventivo puede dividirse en dos clases:

a. Mantenimiento preventivo al sistema de aislamiento

En el sistema de aislamiento de un equipo, como el de un transformador sumergido en aceite, la presencia

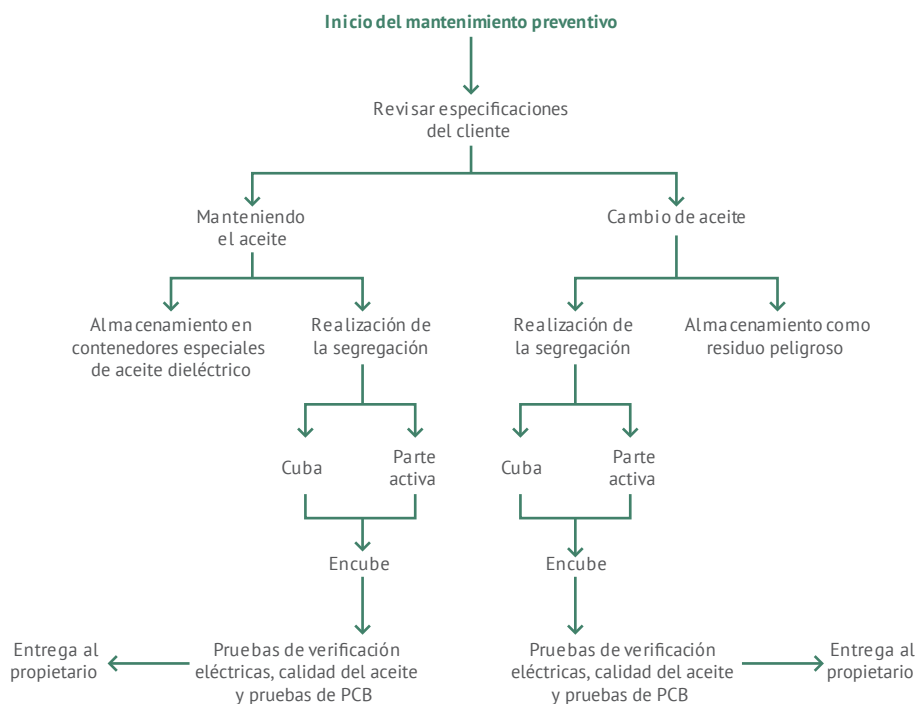
de PCB no está considerada como una “contaminación” desde el punto de vista netamente operativo o funcional, ya que el PCB no afecta la vida útil del equipo. Sin embargo, desde el enfoque ambiental y de salud, la presencia y concentración de PCB en el aceite es un parámetro fundamental para el proceso de admisión del equipo al mantenimiento, de acuerdo con lo planteado en el procedimiento de admisión (**ver figura 1**).

b. Mantenimiento preventivo de estructura

Además de las pruebas realizadas en el diagnóstico, se realizan actividades adicionales que requieren una revisión detallada, un cambio de elemento, un ajuste, entre otros. Entre los elementos que se deben revisar periódicamente son: cambiador de “taps”, pasa-tapas, sistema de ventilación, medidores de temperatura, medidores de nivel de aceite, Relé Buchholz, válvula de sobrepresión, tanque y respirador de sílica gel.

Figura 5. Proceso de mantenimiento preventivo

Flujograma mantenimiento preventivo



Descripción

Los equipos eléctricos, como los transformadores, tienen una expectativa de vida útil aproximada de 30 a 40 años. Los procesos de falla en este tipo de equipos son en ocasiones complejos y requieren un trabajo mancomunado entre la experiencia y la academia para su resolución, generándose bancos de información y buenas prácticas que trascienden en el tiempo. Las condiciones operativas para el mantenimiento son:

Condición operativa	Definición	Proceso
Normal	No presenta problemas operativos. No presenta evidencias de degradación	Diagnóstico (Seguimiento)
Envejecido operación normal	Aceptable, pero sin defectos operativos	Diagnóstico (Seguimiento)
Deficiente	No presenta un impacto en la confiabilidad en el corto plazo, pero la vida útil del equipo puede verse afectada fuertemente en el largo plazo a menos que se tomen medidas remediales.	Preventivo
Defectuoso	Puede permanecer en servicio, pero en el corto plazo la confiabilidad se reduce. Puede no ser posible mejorar las condiciones operativas aplicando medidas correctivas.	Reparación
Fallando	No puede permanecer en servicio.	Salida de servicio

Elaboración propia con información de Conseil International des grands Réseaus Électriques - CIGRE, 2003

3.3. Mantenimiento correctivo (reparación de equipos)

Continuado con el proceso de gestión del activo, la reparación es la última actividad que se puede realizar antes de retirar un equipo de operación, ya que durante su vida útil un equipo pasa por procesos de mantenimiento en repetidas ocasiones, de tal manera que su desempeño en operación sea confiable y seguro. Sin embargo, las condiciones de falla, la sobrecarga operativa, el envejecimiento, entre otros, son factores que llevan el equipo a condiciones de alerta de falla y por ende al estado de intervención que requiere.

El proceso de reparación consiste en el cambio de algunas o todas las partes del transformador, para lo cual

la Norma Técnica Colombiana NTC 1954 “*Electrotecnica. Transformadores reconstruidos y reparados. Requisitos*”, define claramente lo que es un transformador reparado parcialmente, totalmente o reconstruido:

- ✓ **Transformador reparado parcialmente:** aquel al cual se le cambian algunos de sus componentes de la parte activa (núcleo y bobinas) y además garantiza haber cumplido con los ensayos de rutina. El término reparado parcialmente, implica que el transformador conserva parcial o totalmente su aislamiento original y por tanto no reinicia su vida útil.
- ✓ **Transformador reparado totalmente:** es aquél al cual se le han cambiado totalmente



sus bobinas, los aislamientos y líquido aislante y por tanto, reinicia su vida útil.

- ✓ **Transformador reconstruido:** cuando se rediseña y al cual se le han modificado sus características nominales, y por tanto reinicia su vida útil.

Las operaciones generales para realizar la reparación de un transformador son:

Recepción del transformador

El proceso de reparación de equipos eléctricos como los transformadores, inicia con la recepción e identificación del equipo; cuyo primer paso es realizar una inspección visual inicial y registro de los datos de identificación y estado exterior del mismo y sus accesorios. Este paso debe realizarse previamente a la intervención del transformador de acuerdo con el procedimiento de admisión de equipos presentado anteriormente (ver figura 1).

Prueba de PCB

Antes de cualquier intervención al equipo, se debe proceder a la extracción de la muestra de aceite para la verificación de contenido de PCB. Al hacer la verificación del equipo y su contenido de PCB, se promueve en el personal la manipulación segura del mismo, tomando las medidas necesarias para evitar a su vez riesgo de contaminación cruzada de otros elementos usados en el proceso de reparación, como recipientes, partes del equipo, maquinaria de tratamiento de aceite, entre otros.

Extracción del aceite

Como parte de los elementos que contienen los planes de gestión integral de residuos o los mismos sistemas de gestión, los prestadores del servicio de reparación deben tener claramente definidos los procedimientos para el manejo seguro y ambientalmente adecuado del aceite usado extraído de los equipos.

Proceso de desarme y desmonte del transformador

En esta etapa se remueven las piezas o accesorios del equipo, buscando su recuperación y reutilización.

Pruebas al aceite

En cumplimiento de la normativa ambiental vigente, la empresa debe utilizar en sus actividades de mantenimiento aceites dieléctricos libres de PCB. Lo anterior incluye certificación del proveedor del aceite, así como la realización de ensayos analíticos realizados por la empresa, según los lineamientos establecidos en la mencionada normativa.

Encube y llenado de aceite

Una vez cumplidas las etapas de reparación descritas, se procederá a realizar el encube, llenado de aceite y sellado del transformador y realización de la prueba de hermeticidad.

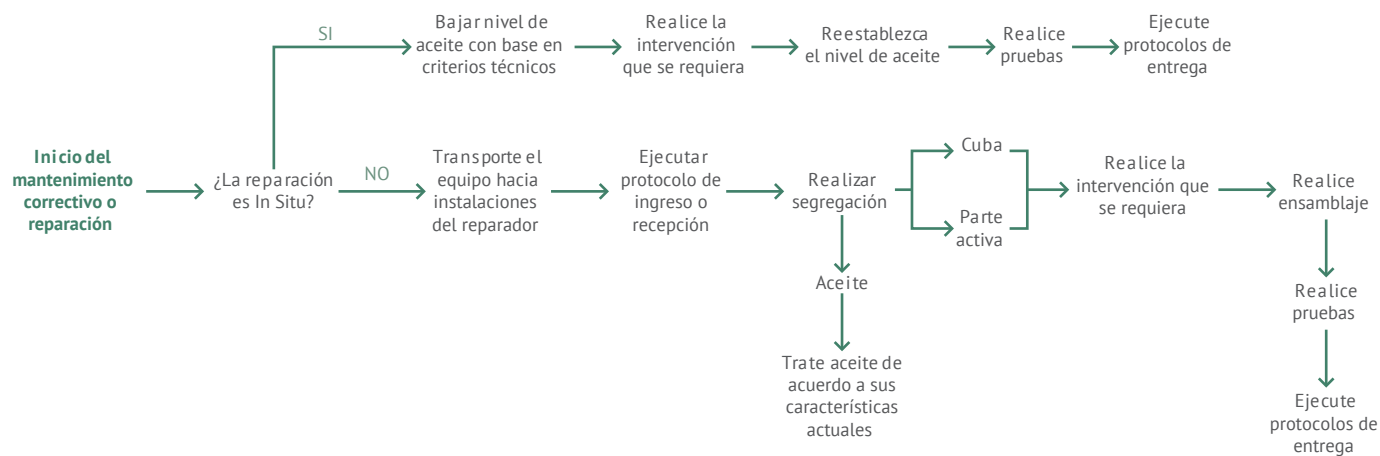
Pruebas eléctricas finales

Las pruebas eléctricas finales exigen la medida de resistencia del aislamiento y los devanados; así mismo, la medida de relación de transformación, la prueba de tensión aplicada, la medida de pérdidas sin carga y con cargas.

En la figura 6 se presenta un esquema de las actividades principales desarrolladas en el proceso típico de **mantenimiento correctivo**.

Figura 6. Proceso de mantenimiento correctivo

Flujograma proceso de mantenimiento correctivo




Descripción

La reparación es la última actividad que se puede realizar antes de retirar un equipo de operación, ya que durante su vida útil un equipo pasa por procesos de mantenimiento en repetidas ocasiones, de tal manera que su desempeño en operación sea confiable y seguro.

Las operaciones generales asociadas a la reparación de un transformador son:

- Recepción del Transformador
- Prueba de PCB
- Extracción del Aceite
- Proceso de desarme y desmonte del transformador
- Pruebas al Aceite
- Encube y Llenado de Aceite
- Pruebas Eléctricas Finales





4. IDENTIFICACIÓN DE RIESGOS EN EL MANTENIMIENTO DE EQUIPOS



Teniendo en cuenta las similitudes y acciones en común en las distintas etapas del mantenimiento de los equipos (diagnóstico, preventivo y correctivo), la identificación de los riesgos a los que están expuestas las personas que trabajan en este tipo de actividades se propone en la **tabla 11**.

Las consideraciones y recomendaciones para la minimización o mitigación de los riesgos incluyen alternativas que guardan correspondencia con el No. 6 *Manejo Ambientalmente Racional de Equipos y Desechos Contaminados con PCB* de la serie técnica que conforma este Manual, especialmente con el apartado dedicado a los aspectos de seguridad para el manejo de los PCB.



◀ *Actividades de mantenimiento de equipo en campo*

Tabla 11. Matriz de riesgos asociados a mantenimiento de equipos con aceite dieléctrico

Etapas	Actividades	Identificación de riesgos	Consideraciones para la prevención y minimización de riesgos
Identificación y registro de equipo	Diligenciamiento de formato de registro (Anexo 5)	<ul style="list-style-type: none"> Riesgo eléctrico Riesgo de atrapamiento Caída de altura Exposición a vapores y gases Derrame y contacto con aceites dieléctricos 	<ul style="list-style-type: none"> Aplicar protocolos de inspección de equipos con aceite dieléctrico Usar equipo para trabajo en altura y usar elementos de protección personal Emplear personal entrenado en trabajo en alturas y riesgo eléctrico. Conservar distancias de seguridad Desenergizar el equipo eléctrico en caso de ser necesario Ventilar el área de trabajo Usar elementos para contención de derrames.
Pruebas en aceite	Toma de muestra	<ul style="list-style-type: none"> Riesgo eléctrico Riesgo de atrapamiento Caída de altura Quemadura por alta temperatura del equipo Derrame y contacto con aceites dieléctricos Riesgo de contaminación con fluido en la piel Contaminación cruzada 	<ul style="list-style-type: none"> Usar equipo de seguridad para trabajo en altura y usar elementos de protección personal Emplear personal entrenado en trabajo en alturas y riesgo eléctrico. Conservar distancias de seguridad Desenergizar el equipo eléctrico en caso de ser necesario Ventilar el área de trabajo Usar elementos para contención de derrames No reutilizar kits para tomar muestras
Pruebas en aceite	Análisis por cromatografía	<ul style="list-style-type: none"> Contacto con sustancias químicas (solventes, desengrasantes, estopas, muestras de aceite, entre otros). Derrame y contacto con los residuos peligrosos generados 	<ul style="list-style-type: none"> Usar elementos de protección personal Realizar la clasificación manipulación, almacenamiento y gestión de los residuos peligrosos de acuerdo con las características de peligrosidad.
Pruebas eléctricas	Desenergizar el equipo y desconectar alimentación	<ul style="list-style-type: none"> Riesgo eléctrico Caída de altura 	<ul style="list-style-type: none"> Seguir el protocolo “reglas de oro” de seguridad para desenergizar el equipo contempladas en el reglamento técnico de instalaciones eléctricas – RETIE expedido por el Ministerio de Minas y Energía. Usar elementos para trabajo en altura y personal certificado para ello Usar elementos de protección personal
Pruebas eléctricas	Conexión de equipos de prueba al transformador	<ul style="list-style-type: none"> Riesgo de caída por manipulación de cables de equipos de prueba 	<ul style="list-style-type: none"> Delimitar de área de trabajo y uso de elementos de protección personal y elementos para trabajar en alturas.
Manipulación y transporte	Alistamiento	<ul style="list-style-type: none"> Derrame y contacto con aceites dieléctricos Riesgo ocupacional. Derrame y contacto con los residuos peligrosos generados. 	<ul style="list-style-type: none"> Usar elementos para contención de derrames Usar elementos de protección personal. Implementar la clasificación manipulación, almacenamiento y gestión de los residuos peligrosos de acuerdo con las características de peligrosidad
Manipulación y transporte	Transporte	<ul style="list-style-type: none"> Derrame y contacto con aceites dieléctricos Accidentes de transporte en general (incendio-volcamiento-choque). 	<ul style="list-style-type: none"> Usar elementos para contención de derrames Usar elementos de protección personal Kit de emergencia para transporte Implementar el plan de contingencia

Etapas	Actividades	Identificación de riesgos	Consideraciones para la prevención y minimización de riesgos
Intervención	Drenado y desensamble	<ul style="list-style-type: none"> Derrame y contacto con aceites dieléctricos Derrames y contacto con los residuos peligrosos generados 	<ul style="list-style-type: none"> Usar elementos para contención de derrames Usar elementos de protección personal Implementar la clasificación, manipulación, almacenamiento y gestión de los aceites dieléctricos y otros residuos peligrosos de acuerdo con las características de peligrosidad. Implementar el plan de contingencia
Intervención	Limpieza	<ul style="list-style-type: none"> Derrame y contacto con aceites dieléctricos Derrames de solventes Exposición a vapores y gases Derrames y contacto con los residuos peligrosos generados 	<ul style="list-style-type: none"> Usar elementos para contención de derrames Usar elementos de protección personal Ventilar el área de trabajo Implementar la clasificación, manipulación, almacenamiento y gestión de los aceites dieléctricos y otros residuos peligrosos de acuerdo con las características de peligrosidad Implementar el plan de contingencia
Intervención	Pintura	<ul style="list-style-type: none"> Exposición a vapores y gases Derrames y contacto con pinturas, solventes 	<ul style="list-style-type: none"> Usar elementos de protección personal Ventilar el área de trabajo Usar elementos para contención de derrames
Tratamiento de aceite	Regeneración – Cambio de aceite dieléctrico.	<ul style="list-style-type: none"> Derrame y contacto con aceites dieléctricos usados Contaminación cruzada de los aceites dieléctricos • Derrames y contacto con los residuos peligrosos generados 	<ul style="list-style-type: none"> Usar elementos para contención de derrames Usar elementos de protección personal Implementar la clasificación, manipulación, almacenamiento y gestión de los aceites dieléctricos y otros residuos peligrosos de acuerdo con las características de peligrosidad. Implementar el plan de contingencia
Ensamble	Inyección de aceite	<ul style="list-style-type: none"> Derrame y contacto con aceites dieléctricos 	<ul style="list-style-type: none"> Usar elementos para contención de derrames Usar elementos de protección personal Clasificación manipulación, almacenamiento y gestión de los aceites dieléctricos y otros residuos peligrosos de acuerdo con las características de peligrosidad. Implementar el plan de contingencia

Anexos

Anexo 1. Modelos de etiquetas según la NTC 1692

Tipo de Mercancía	Etiqueta	Ejemplo	Tipo de Mercancía	Etiqueta	Ejemplo
Clase 1. Explosivos		Pólvora negra. TNT. Azida de plomo. Nitroglicerina. ANFO.	Clase 5.1 Sustancias oxidantes		Nitrato amónico.
Clase 2.1 Gases inflamables		Hidrógeno. Acetileno.	Clase 5.2 Peróxidos orgánicos		Peróxido de Benzoilo. Peróxido de acetona. Peróxido de metiletilcetona.
Clase 2.2. Gases no inflamables		Helio.	Clase 6.1 Sustancias tóxicas		Metanol. Cloruro de metileno. Sales de Cianuro. Mercurio. Plaguicidas.
Clase 2.3 Gases tóxicos		Bromo. Cloro.	Clase 6.2 Materiales infecciosos		Muestras de diagnóstico o ensayos.
Clase 3. Líquidos inflamables		Acetato de etilo. Alcohol. Varsol. Gasolina.	Clase 7. Materiales radiactivos		Uranio. Plutonio. Torio.
Clase 4.1 Sólidos inflamables		Naftaleno	Clase 8. Sustancias corrosivas		Ácido sulfúrico. Hidróxido de sodio. Hipoclorito sódico.
Clase 4.2 Sólidos espontáneamente combustibles		Sodio metálico. Potasio metálico	Clase 9. Materiales peligrosos varios		Aceite usado y en general materias peligrosas para el medio ambiente.
Clase 4.3 Sólidos inflamables al contacto con el agua		Carburo de calcio.			

Nota: las etiquetas deben tener forma de rombo, de dimensiones mínimas de 100mm x 100mm, salvo en el caso de los bultos que por sus dimensiones sólo puedan llevar etiquetas más pequeñas, los rótulos por su parte tienen medidas de 250 mm x 250 mm.

Anexo 2. Lista de chequeo para transporte

LISTA DE CHEQUEO PARA TRANSPORTE DE RESIDUOS PELIGROSOS

FECHA:

EMPRESA TRANSPORTADORA:

NOMBRE DEL CONDUCTOR:

CELULAR:

CC CONDUCTOR

ARP CONDUCTOR:

CLASES DE RESIDUOS A TRANSPORTAR:

CARACTERÍSTICAS DEL VEHÍCULO

PLACAS DEL VEHÍCULO:

CERTIFICADO DE GASES VIGENTE

TIPO DE VEHÍCULO:

Vactor:

Furgón:

Camión:

Otro:

Cuál?

PASE VIGENTE DEL CONDUCTOR:

FECHA DEL ÚLTIMO MANTENIMIENTO PREVENTIVO:

EL VEHÍCULO SE ENCUENTRA EN ÓPTIMAS
CONDICIONES PARA EL TRANSPORTE?

SÍ

NO

INSPECCIÓN DURANTE EL CARGUE

EL VEHÍCULO CUENTA CON:

JUEGO
HERRAMIENTAS

SÍ

NO

CINTA REFLECTIVA

SÍ

NO

2 EXTINTORES

SÍ

NO

BOTIQUÍN DE PRIMEROS
AUXILIOS

SÍ

NO

LINTERNA

SÍ

NO

EQUIPO PARA RECOLECCIÓN

SÍ

NO

SISTEMA DE
COMUNICACIÓN

SÍ

NO

FICHA DE SEGURIDAD DEL
RESIDUO

SÍ

NO

SISTEMA ELÉCTRICO

SÍ

NO

DISPOSITIVO SONORO DE
REVERSA

SÍ

NO

HACHA

SÍ

NO

JUEGO DE SEÑALIZACIÓN

SÍ

NO

MATERIAL
ABSORBENTE

SÍ

NO

PALA ANTICHISPA

SÍ

NO

EL CONDUCTOR CUENTA CON:

CASCO

BOTAS

GUANTES

TAPABOCAS

OVEROL

GAFAS

CERTIFICADO DEL CURSO PARA TRANSPORTE DE MERCANCÍAS PELIGROSAS

PLAN DE CONTINGENCIA

Número UN

Visible en las 4 caras del
vehículo?

SÍ

NO

Cuántas

RÓTULOS

SÍ

NO

TIPO Y DIVISIÓN

Anexo 3. Lista de chequeo condiciones del sitio de almacenamiento

DESCRIPCIÓN FÍSICA DEL SITIO		CUMPLE	
		SÍ	NO
1	¿El lugar de almacenamiento está alejado de zonas densamente pobladas, de fuentes de captación de agua potable, de aéreas inundables y de posibles fuentes externas de peligro?		
2	¿El lugar está ubicado en un sitio de fácil acceso para el transporte de los residuos y para situaciones de emergencia?		
3	¿Las paredes externas y las divisiones internas son de material sólido que resista al fuego durante tres horas?		
4	¿Las puertas en las paredes interiores están diseñadas para resistir el fuego con una resistencia de tres horas?		
5	¿Existen en las instalaciones de la organización salidas de emergencia diferentes a las puertas principales de ingreso de las mercancías?		
6	¿Las salidas de emergencia están señalizadas?		
7	¿El piso es antideslizante, impermeable, libre de grietas y resistente a las sustancias o residuos que se almacenen?		
8	¿Los drenajes al interior del lugar están conectados a pozos colectores para la posterior disposición del agua residual?		
9	¿Los drenajes están sellados y protegidos de daño por el paso de vehículos y movimiento de estibas?		
10	¿Todas las sustancias peligrosas almacenadas están ubicadas en un sitio confinado mediante paredes, diques o bordillos perimetrales?		
11	¿El techo está diseñado de tal forma que no permita el ingreso de aguas lluvias a las instalaciones, pero que permita la salida del humo y el calor en caso de un incendio?		
12	¿El lugar cuenta con ventilación adecuada?		
13	¿EL lugar opera con iluminación adecuada?		
14	¿Si se almacenan sustancias inflamables se cuenta con equipos de protección contra relámpagos?		
15	¿Están señalizadas todas las aéreas de almacenamiento y estanterías con la clase de riesgo correspondiente a la sustancia química peligrosa?		
16	¿Están señalizados todos los sitios de almacenamiento con las correspondientes señales de advertencia, obligación, prohibición e información?		
17	¿Cuenta el lugar con dispositivos de detección de fuego y sistema de respuesta?		
18	¿Se tiene en el lugar las hojas de seguridad de todas las sustancias almacenadas en un sitio visible y señalizado?		
ACTIVIDADES INHERENTES AL SITIO DE ALMACENAMIENTO		CUMPLE	
		SÍ	NO
1	¿Están definidas y documentadas las responsabilidades de cada actor asociado a la operación de almacenamiento?		
2	¿El proveedor de las sustancias químicas peligrosas suministra las hojas de seguridad?		
3	¿Todas las sustancias químicas peligrosas están debidamente etiquetadas o marcadas?		
4	¿Cuenta con un registro actual de las sustancias químicas peligrosas almacenadas que garantice el conocimiento de la cantidad y ubicación de las sustancias?		
5	¿La bodega de almacenamiento permanece limpia y ordenada?		
6	¿Planea regularmente inspecciones ambientales y de seguridad?		
7	¿Almacena las sustancias químicas peligrosas agrupando las que tienen riesgos comunes y evitando la proximidad de las incompatibles?		
8	¿Ha dejado un pasillo peatonal perimetral entre los materiales almacenados y los muros?		
9	¿El apilamiento de recipientes y bultos es menor a tres metros de altura?		
10	¿Los estantes son suficientemente estables y firmes, de forma que sea mínimo el riesgo de derrumbamiento de los mismos?		
11	¿Los estantes son de un material resistente a las sustancias almacenadas?		
12	¿Las sustancias peligrosas o residuos almacenados tienen las debidas protecciones para evitar caídas y derrames?		
13	¿Tienen en cuenta las recomendaciones de la hoja de seguridad para la ubicación de las sustancias peligrosas dentro de la bodega?		

Anexo 4. Lista de control procedimientos externos

CONTROL DE PROCEDIMIENTOS EXTERNOS PARA RESIDUOS PELIGROSOS									
Nombre del residuo peligroso	Clasificación del Residuo Peligroso	Cantidad (kg/mes)	Fecha	Procedimientos Externos					Nombre de la empresa gestora
				Almacenamiento	Aprovechamiento	Tratamiento (térmico, fisicoquímico, biológico)	Disposición final	Otro	



Anexo 5. Formato registro de equipos

Logotipo empresa reparadora		INSPECCIÓN EXTERNA DE TRANSFORMADORES						FECHA: DD / MM / AA	
CLIENTE:					O.T.:				
AÑO FABRICACIÓN		N° DE SERIE		POTENCIA (KVA)		TENSIÓN NOM. (V) AT/BT		N° DE FASES	
GRUPO DE CONEXIÓN		DERIVACIONES		FABRICANTE		In AT/BT (A)			
INSPECCIÓN EXTERNA									
	NO TIENE	BUENO	MALO	INCOMPLETO	LIMPIAR	COMPLETAR	CAMBIAR		
1. PLACA									
2. INDICADOR DE NIVEL									
3. BORNE PUESTA A TIERRA									
4. VÁLVULA DE SOBREPRESIÓN									
5. HERRAJES AT									
6. HERRAJES BT									
7. CONMUTADOR									
8. DISPOSITIVO DE PURGA									
9. AISLADORES DE AT									
10. AISLADORES DE BT									
11. RELE									
12. IMAGEN TÉRMICA									
13. RUEDAS									
14. TERMÓMETRO									
15. DESHUMECTADOR									
TANQUE				INSTALACIÓN DE ACCESORIOS					
	REPARAR	LIMPIAR	PINTAR	VÁLVULA DE SOBREPRESIÓN					
1- TANQUE PRINCIPAL				CONMUTADOR EXTERNO					
2- TAPA				DISPOSITIVO DE PURGA					
3- RADIADORES				FIJACIÓN EXTERNA BUJES AT					
ACEITE									
TIPO ACEITE:		CANTIDAD: (LITROS)			PRUEBA DE CONTENIDO DE PCB				
PRUEBAS FÍSICO-QUÍMICAS		MÉTODO		RESULTADO	Método				
Color									
Rigidez dieléctrica (kV)					1ª Muestra				
Gravedad específica									
N° Neutralización (mg KOH/g)					2ª Muestra				
Tensión interfacial									
Factor de potencia (A 20°C)									
Contenido de humedad (ppm)									
DEVANADOS									
RELACIÓN DE TRANSFORMACIÓN				RESISTENCIA DE AISLAMIENTO (MΩ) MEGGER					
Pos. Conmutador	Fases			VOLTAJE DE PRUEBA: _____ kV. TEMPERAT.: _____ °C					
	U	V	W	TIEMPO (MIN.)	AT – BT	AT – TIERRA	BT – TIERRA		
1				0,5					
2				1,0					
3				3,0					
4				5,0					
5				8,0					
				10,0					
RESULTADOS DE INSPECCIÓN									
MANTENIMIENTO			REPARAR:			PROBAR:			
COLOCAR PLACA DE REPARADO:			CAMBIAR ACEITE:			RECICULAR ACEITE:			
REALIZÓ				INTERVENTOR					

Anexo 6. Formato de inspección de parte activa

LOGOTIPO DE LA EMPRESA REPARADORA		TRANSFORMADORES DE DISTRIBUCIÓN			
DATOS DE PARTE ACTIVA PARA REPARACIÓN					
CLIENTE:				CONSECUTIVO:	
AÑO DE FABRICAC.	Nº DE SERIE	POTENCIA (kVA)	TENSIÓN NOM. (V)	No. FASES	UZ(%)/ °C
					/
GRUPO DE CONEXIÓN	DERIVACIONES	FABRICANTE		CONTRATO	In AT/BT (A.)
DEVANADOS					
ELEMENTO	AT	BT	DIMENSIONES Formaleta Cilindro Casquillo		
CALIBRE CONDUCTOR			MEDIDA	DIMENSIÓN (mm)	
NÚMERO TOTAL DE ESPIRAS					
CANTIDAD ESPIRAS/CAPA			D		
CANTIDAD DE CAPAS			Bf		
Nº DUCTOS DE REFRIGERACIÓN			Af		
UBICACIÓN DUCTOS (CAPAS)			Altura (h)		
AISLAMIENTO ENTRE CAPAS			Espesor material		
AISLAMIENTO ENTRE AT Y BT					
AISLAMIENTO CONTRA CILINDRO					
ANCHO Y ESPESOR CABEZALES					
DENSIDAD DE CORRIENTE					
SENTIDO DE ARROLLAMIENTO					
LONGITUD DE SALIDAS					
UBICACIÓN DE LA BOBINA					
CONFIGURACIÓN DEVANADOS			DIMENSIONES BOBINA (mm.)		
			A=		
			B=		
			C=		
NÚCLEO (DIMENSIONES EN mm)					
DIMENSIÓN (mm)	MONOFÁSICO	TRIFÁSICO	DIMENSIÓN	MONOFÁSICO	TRIFÁSICO
Ai			Po medida (w)		
Av			Io medida (%)		
Hi			Inducción (T)		
Hv			Voltios/Espira		
Área (mm ²)					
NOMBRE:		FIRMA		FECHA	
INTERVENTOR:					



Glosario

Para efectos del presente documento se deberán tener en cuenta además de las definiciones establecidas por las normas NTC 317 y NTC 1954 y en el Reglamento técnico de instalaciones eléctricas RETIE, las siguientes:

- Aceite no inhibido:** aceite mineral para el transformador en el cual ningún inhibidor sintético de oxidación ha sido adicionado. (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, 1998)
- Aceite inhibido:** aceite mineral para el transformador en el cual un inhibidor sintético de oxidación ha sido adicionado. (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, 1998)
- Askarel:** (se prohíbe la utilización de este hidrocarburo). Término genérico de un grupo de hidrocarburos aromáticos intencionales, resistentes al fuego, clorados, usados como líquidos de aislamiento eléctrico. Ellos tienen la propiedad de que bajo condiciones de arco, cualquier gas producido consistirá predominantemente de hidrógeno clorado no combustible con la pequeña cantidad de gases combustibles. (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, 1998)
- Buje:** estructura aislante que incluye un conductor central o que provee un paso central para un conductor; apto para montarse en una barrera conductora o de otro tipo, con el propósito de aislar el conductor de la barrera y conducir corriente de un lado al otro de la misma. (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, 1998)
- Contaminación cruzada:** proceso mediante el cual se favorece la dispersión de la contaminación por PCB, que se presenta cuando se llevan a cabo operaciones de toma de muestra, regeneración, filtración, mantenimiento o reparación de transformadores NO PCB, y se utilizan equipos, tanques, bombas, mangueras u otros elementos contaminados con PCB. (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2011)
- Cromatografía de gases:** es una técnica con alta sensibilidad y precisión, la cual tiene la capacidad de analizar muestras de poca dimensión. Esta técnica permite identificar fallas de bajo y gran impacto, como efectos corona, descargas internas, sobrecalentamiento del aceite dieléctrico o del aislamiento sólido, entre otros, a partir del comportamiento de los gases generados. Igualmente esta técnica permite separar los componentes de una muestra debido a su diferente afinidad entre dos fases inmiscibles entre sí, una estacionaria (líquida o sólida) y otra móvil (gas o líquida) y de esta manera identifica la concentración de cloruros de cloruros presentes en la muestra para su clasificación. (CIDET, 2014).
- Devanados de alta y baja tensión:** los términos alta tensión y baja tensión son usados para distinguir el devanado que tiene mayor tensión nominal del que tiene menor tensión nominal. (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, 1998)
- Devanado primario:** es el devanado conectado a la entrada de energía. (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, 1998)
- Devanado secundario:** es el devanado conectado a la carga. (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, 1998)

- Desecho o residuo con PCB:** todos aquellos elementos, sustancias, fluidos, materiales y equipos que se descartan, rechazan o entregan, en cualquier estado que contengan PCB en una concentración igual o superior a 50ppm, así como cualquier otro material o elemento que entre en contacto directo con estos en alguna actividad, incluida la ropa de trabajo. (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2011).
- Eliminación de PCB:** todos aquellos procesos físicos, químicos, térmicos biológicos diseñados para la destrucción ambientalmente segura de los desechos con PCB. (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2011)
- Equipo:** término general que incluye materiales, herramientas, dispositivos, aplicaciones, brazos, aparatos y todo aquello que hace parte de una instalación eléctrica. (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, 1998)
- Generador de residuos peligrosos (RESPEL):** este grupo comprende a todas aquellas personas que por su actividad generan residuos peligrosos. Este conjunto de actores es amplio y diverso, en función de los diferentes tipos de residuos peligrosos que se pueden generar. Abarca tanto al sector público como al privado e incluye: actividades productivas, sector comercial, sector de servicios, sociedad de consumo, empresas de aprovechamiento, valorización y tratamiento de residuos, sector institucional.
- Su papel más importante, además de cumplir con las obligaciones y responsabilidades que definen la Ley y los reglamentos, es incorporar los procesos de autogestión que permitirán evitar y minimizar la generación de los residuos peligrosos. De igual manera, la información que suministren acerca de sus procesos productivos, administrativos y operacionales, permitirá diseñar los programas prioritarios de atención en la región, así como también definir las estrategias de desarrollo tecnológico y económico que sustentarán el manejo adecuado de los residuos peligrosos a través de receptores externos.
- Para aquellas corrientes de residuos generadas por los consumidores para las cuales se hayan establecido sistemas de recolección selectiva (p. ej.: sistemas de devolución o retorno), a través de la aplicación del principio de responsabilidad extendida, el responsable de la gestión será el fabricante o importador de los productos o sustancias con característica peligrosa. De esta forma se introduce al fabricante o importador como otro actor dentro de este grupo. (Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, 2007)
- Hermético:** Un equipo es considerado como a prueba de agua, a prueba de polvo, etc., cuando se construye de tal forma que la cubierta de encerramiento excluya el material especificado bajo condiciones específicas. (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, 1998)
- Impacto ambiental:** cualquier alteración en el sistema ambiental biótico, abiótico y socioeconómico, que sea adverso o beneficioso, total o parcial, que pueda ser atribuido al desarrollo de un proyecto, obra o actividad. (Minambiente, 2014)
- Mantenimiento:** conjunto de acciones o procedimientos tendientes a preservar o restablecer un bien, a un estado tal que le permita garantizar la máxima confiabilidad. (RETIE, 2013)
- Mantenimiento de transformadores:** proceso o conjunto de actividades que tienen como objetivo optimizar el tiempo en operación (la vida útil) del equipo, aplicando técnicas de diagnóstico en el mantenimiento, preventivo o correctivo.



Nivel de aislamiento:	capacidad de aislamiento expresado en términos de la tensión disruptiva. (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, 1998)
Núcleo:	elemento hecho de un material magnético, que sirve como parte de un camino para el flujo magnético. (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, 1998)
PCB:	bifenilos policlorados; compuestos aromáticos formados de tal manera que los átomos de hidrógeno en la molécula bifenilo (2 anillos bencénicos unidos entre sí por un enlace único carbono-carbono) pueden ser sustituidos por hasta diez átomos de cloro (Minambiente, 2011). Conocido comúnmente como askarel. (RETIE, 2013)
Prevención:	evaluación predictiva de los riesgos y sus consecuencias. Conocimiento a priori para controlar los riesgos. Acciones para eliminar la probabilidad de un accidente. (RETIE, 2013)

Acrónimos – Siglas

AMVA	Área Metropolitana del Valle de Aburrá		ra Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible)
CCS	Consejo Colombiano de Seguridad		
CIDET	Corporación Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico del Sector Eléctrico	Minambiente	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia
CORANTIOQUIA	Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia	MSDS	Material Safety Data Sheet
CORNARE	Corporación Autónoma Regional de las Cuencas de los Ríos Negro y Nare	NTC	Norma Técnica Colombiana
CORPOURABA	Corporación para el Desarrollo Sostenible del Urabá	PBB	Bifenilos polibromados
FNAM	Fondo para el Medio Ambiente Mundial (conocido también como GEF)	PCB	Bifenilos policlorados
ICONTEC	Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación	PCT	Terfenilos policlorados
IDEAM	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales	PNUD	Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo
MAVDT	Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (ahora Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible)	PPM	Partes por millón
		RETIE	Reglamento técnico de instalaciones eléctricas

Referencias

- ASTM. Standard Practice for Sampling Electrical Insulating Oils for Gas Analysis and Determination of Water Content.: ASTM, 1991 (ASTM 3613).
- ASTM. Method of Test for Nonvolatile Matter in Trichlorotribluoroethane (Withdrawn 1991):. ASTM, 1991 (ASTM D3445).
- ASTM. Standard practices for Sampling Electrical Insulating Liquids. Manual de manejo de PCB.: ASTM, 2007 (ASTM D923).
- ASTM. Standard Specification for Mineral Insulating Oil Used in Electrical Apparatus.: ASTM, 2009 (ASTM D3487).
- Burbano. (2014). Transformadores. En: J. M. Burbano, Taller de mantenimiento (págs. 51-90). Bogotá: Oveja Negra.
- CHEC, EPM. (2012). Procedimiento de toma de muestras de aceite dieléctrico para pruebas de PCB. Colombia.
- Colombia (2002). Decreto 1609 de 2002. Por el cual se reglamenta el manejo y transporte terrestre automotor de mercancías peligrosas por carretera. Colombia.
- Colombia. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial – MAVDT & Consejo Colombiano de Seguridad - CCS (2003). Guías ambientales de almacenamiento y transporte por carretera de sustancias químicas peligrosas y residuos peligrosos. Bogotá D.C., Colombia.
- Colombia (2005a). Decreto 4741 de 2005. Por el cual se reglamenta parcialmente la prevención y el manejo de los residuos o desechos peligrosos generados en el marco de la gestión integral. Colombia.
- Colombia. Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial. (2005b). Lineamientos para la elaboración de planes de gestión integral de residuos o desechos peligrosos a cargo de generadores. Bogotá, D.C, Colombia.
- Colombia. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, Dirección de Desarrollo Sectorial Sostenible & Organización de Control Ambiental y Desarrollo Empresarial OCADE (2007). Gestión Integral de Residuos o Desechos peligrosos. Bases conceptuales. Bogotá, Colombia.
- Colombia. Senado de la República. (2009). Manual de Buenas Prácticas Ambientales. Bogotá, Colombia.
- Colombia. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2010). Plan nacional de aplicación del Convenio de Estocolmo sobre contaminantes orgánicos persistentes - COP en la República de Colombia. Bogotá, Colombia.
- Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2011). Resolución 222. 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). Colombia.
- Colombia. IDEAM. (2012). Protocolo M2-SAPc-01. Determinación de bifenilos policlorados en aceites dieléctricos por cromatografía de gases con detector de captura de electrones. Bogotá, Colombia.
- Colombia. IDEAM. (2012). Protocolo M2-SAPc-05. Muestreo de PCB en aceites dieléctricos y superficies sólidas. Bogotá, Colombia.
- Conseil International des Grands Réseaux Électriques -CIGRE. (2003). *Life management techniques for power transformer*.
- CORANTIOQUIA, CORNARE, CORPOURABÁ y AMVA. (2013). Términos de referencia para la elaboración del plan de contingencia para el manejo de derrames de hidrocarburos o sustancias nocivas. Antioquia, Colombia.
- Corporación Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico del Sector Eléctrico - CIDET. (1996). Transformadores de distribución manual de inspección durante la reparación.: CIDET., Medellín.
- Corporación Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico – CIDET y Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2014). Mantenimiento de equipos eléctricos y gestión de PCB. Medellín, Colombia.: CIDET & MinAmbiente
- Duran Rincón, M., & Contreras, N. (2006). Alternativa de tratamiento para tierras fuller contaminadas con aceite dielectrico. *Scientia et Technica*, vol. XII, núm. 32.



US EPA. Screening Test Method for Polychlorinated Biphenyls in transformer.: US EPA, 2001 (Method USEPA 9079)

Hidalgo, H. (2009). Recuperación integral de transformadores contaminados con PCB. *II Simposio Iberoamericano de Ingeniería de Residuos*.

ICONTEC. *Transformadores. Medida de la resistencia de los devanados*. Bogotá, Colombia.: ICONTEC, 1970 (NTC 375).

ICONTEC. *Transformadores. Determinación de la tensión de cortocircuito*. Bogotá, Colombia.: ICONTEC, 1975 (NTC 1005).

ICONTEC. *Electrotecnia. Ensayos mecánicos a transformadores de distribución*. Bogotá, Colombia.: ICONTEC, 1994 (NTC 3609).

ICONTEC. *Electrotecnia. Transformadores reconstruidos y reparados. Requisitos*. Bogotá, Colombia.: ICONTEC, 1996 (NTC 1954).

ICONTEC. *Transformadores. Ensayo del dieléctrico*. Bogotá, Colombia.: ICONTEC, 1997 (NTC 837).

ICONTEC. *Electrotecnia. Transformadores de potencia y distribución. Terminología*. Bogotá, Colombia.: ICONTEC, 1998 (NTC 317).

ICONTEC. *Transformadores. Ensayos para la determinación de pérdidas y corriente sin carga*. Bogotá, Colombia.: ICONTEC, 1998 (NTC 1031).

ICONTEC. *Transformadores. Relación de transformación. Verificación de la polaridad y relación de fase*. Bogotá, Colombia.: ICONTEC, 1999 (NTC 471).

ICONTEC. *Transporte de Mercancías Peligrosas, definiciones, clasificación, marcado, etiquetado y rotulado*. Bogotá, Colombia.: ICONTEC, 2005 (NTC 1692)

ICONTEC. *Transporte de Mercancías. Hojas de datos de seguridad para materiales. Preparación*. Bogotá, Colombia.: ICONTEC, 2011 (NTC 4435)

ICONTEC. *Especificaciones para aceites minerales nuevos. Aislantes para transformadores, interruptores y equipo eléctrico*. Bogotá, Colombia.: ICONTEC, 2013 (NTC 1465).

ICONTEC. *Requisitos generales para talleres para la reconstrucción, reparación y mantenimiento de transformadores de distribución*. Bogotá, Colombia.: ICONTEC, s.f. (DE 103/13).

IEC. Method of sampling liquid dielectrics. En: **IEC, IEC Method of sampling liquid dielectrics.**: IEC, 1974 (IEC 60475).

IEC. Terminal & tapping markings for power transformers.: IEC, 1978 (IEC 60616).

IEC. Guide for the maintenance of silicone transformer liquids.: IEC, 1988 (IEC 60944).

IEC. Guide for maintenance of transformer esters in equipment. Synthetic organic esters for electrical purposes.: IEC, 1992 (IEC 61203).

IEC. Guide to the interpretation of dissolved and free gases analysis. Mineral oil-impregnated electrical equipment in service.: IEC, 1999 (IEC 60599).

IEC. Guide for the sampling of gases and of oil from oil-filled electrical equipment and for the analysis of free and dissolved gases.: IEC, 2005 (IEC 60567).

IEC. Specifications for silicone liquids for electrical purposes.: IEC, 2005 (IEC 60836).

IEC. Specification for unused synthetic organic esters for electrical purposes.: IEC, 2010 (IEC 61099).

IEC. Fluids for Electrotechnical applications - Unused mineral insulating oils for transformers and switchgear. : IEC, 2012 (IEC 60296).

International Copper Association Latin America. (2012). *Guía básica para la implementación de la gestión de activos en empresas de energía*. Santiago, Chile.

ISO. Asset management-Overview, principles and terminology. : ISO, 2014 (ISO 55000).

Johns, E. (2012). **Las empresas perciben el rol que la tecnología juega en el aumento de la eficiencia.** *Revista One touch ElectroIndustria*, edición abril de 2012 on line.

Lachmam, M. (1994). **Low-Voltage Single - Phase Leak age Reactance Measurement on Transformers – Significance and Application - Part I.** M. F. Lachmam, *Doble Engineering*, "Low-Voltage Single-Phase Leakage Reactance Measurement on Transformers – Minutas de la Sexagésimo primera Conferencia Internacional Anual de Clientes de Doble.

Lachman, S. (1995). **Influence of Single-Phase Excitation On Transformer Leakage Reactance Measurement.** *Minutas de la Sexsagésima Segunda Conferencia In-ternacional Anual de Clientes de Doble.*

Lachman, S. (1995). **M. F. Lachman, Doble ELow-Voltage Single-Phase Leakage Reactance Measurementon Transformers – Influence of Magnetizing Reactance.** *M. F. Lachman, Doble Engineering, Y. N. Shafir, ZTZ ServiceCompany, "Low-Voltage Single-Phase Leakage Reactance Measurementon Transform. Minutas de la Sexsagésima Segunda Conferencia Internacional Anual de Clientes Doble.*

Núñez, J. (2009). *Guía para el mantenimiento de transformadores de potencia.* Valparaiso, Chile: Tesis.

Proyecto CRBAS-FNAM/PNUMA. (2011). **Herramienta para la toma de decisiones - Gestión de PCB en la industria minera.** Buenos Aires, Argentina.

Ruiz Giraldo, J., & Mayor Cardona, D. A. (2013). *Manual interactivo de mantenimiento industrial para transformadores en aceite. Serie Tecnología Eléctrica Universidad Tecnológica de Pereira.*

United Nations Environment Program - UNEP (2002). Transformadores y condensadores con PCB: desde la gestión hasta la reclasificación y eliminación. Châtelaine (Geneva), Switzerland.

United Nations Economic Comission for Europe – UNECE (2011). Recomendaciones relativas al transporte de mercancías peligrosas, reglamentación modelo. (Libro Naranja) Volumen 1, Edición No. 17. Ginebra, Suiza.: UNECE, 2011



