



**Gestión integral de transformadores de una empresa
distribuidora de energía, prácticas actuales e implicaciones
ambientales, 2024.**

*Integral management of transformers of a power distribution company,
current practices and environmental implications, 2024.*

Mayra Villao Alejandro¹



0009-0007-4281-1126

Cristian Laverde-Albarracín²



0000-0002-5611-0167

¹ Universidad Estatal Península de Santa Elena mayra.villaoalejandro6744@upse.edu.ec

² Universidad Técnica Estatal de Quevedo claverde@upse.edu.ec; claverde@uteq.edu.ec

Recepción: 14 de febrero de 2025

Aceptación: 19 de febrero de 2025

Publicación: 05 de abril de 2025

Citación/como citar este artículo: Villao, M. & Laverde, C. (2025). Gestión integral de transformadores de una empresa distribuidora de energía, prácticas actuales e implicaciones ambientales, 2024. Ideas y Voces, 5(1), Pág. 90-115.



RESUMEN

Los sistemas eléctricos incluyen centrales de generación, líneas de transmisión y sistemas de distribución, cada uno con impactos ambientales. No obstante, los sistemas de distribución son de particular significancia, por el uso de transformadores con aceites dieléctricos que muchas veces contienen bifenilos policlorados (PCBs), que constituyen Compuestos Orgánicos Persistentes altamente contaminantes, y cuyos residuos, luego de cumplido un período de vida útil de alrededor de 25 años, están catalogados como peligrosos. En la provincia de Santa Elena, la Unidad de Negocio-Santa Elena (UN-STE) de CNEL EP gestiona 9.923 transformadores que satisfacen la demanda de 136.586 abonados en un área de 6.487 Km². Cada año la UN da de baja alrededor de 100 transformadores, los cuales requieren una gestión apropiada. El estudio analizó la gestión actual de los transformadores de distribución, evaluó sus implicaciones ambientales y propuso estrategias de manejo a distintos plazos. La metodología aplicada incluyó un análisis FODA, revisión documental y la aplicación de entrevistas estructuradas y listas de chequeo dirigidas a funcionarios clave. Los hallazgos permitieron estructurar recomendaciones estratégicas para mejorar la eficacia en el corto plazo y establecer lineamientos de mediano y largo plazo para una gestión ambientalmente responsable.

PALABRAS CLAVE

Aceite dieléctrico, Impacto ambiental, Derrames, Bifenilos policlorados (PCBs)

ABSTRACT

Power systems include generation plants, transmission lines and distribution systems, each with environmental impacts. However, the distribution systems are particularly significant because of the use of transformers with dielectric oils that often contain polychlorinated biphenyls (PCBs), which are highly polluting Persistent Organic Compounds, and whose waste, after a useful life of around 25 years, is classified as hazardous. In the province of Santa Elena, CNEL EP's Santa Elena Business Unit (UN-STE) manages 9,923 transformers that meet the demand of 136,586 subscribers in an area of 6,487 km². Each year the UN decommissioned about 100 transformers, which require appropriate management. The study analyzed the current management of distribution transformers, evaluated their environmental implications and proposed management strategies for different time frames. The methodology applied included a SWOT analysis, document review, and the application of structured interviews and checklists directed at key officials. The findings made it possible to structure strategic recommendations to improve efficiency in the short term and establish medium- and long-term guidelines for environmentally responsible management.

KEYWORDS

dielectric oil, environmental impact, spills, polychlorinated biphenyls (PCB).

INTRODUCCIÓN

Los sistemas eléctricos, compuestos por centrales de generación, líneas de transmisión y sistemas de distribución, suministran energía a los usuarios, generando impactos ambientales, especialmente en áreas urbanas e industriales. El sistema de distribución transforma el voltaje de 69 kV a 13,8 kV en Ecuador, con transformadores de distribución que reducen aún más el voltaje para el consumo final (440 V a 220 V) (Tran et al., 2020); (Juárez Cervantes, 1995). Por su parte, De vito et al., (2024) reporta que estos equipos, cuentan con una vida útil de más de 25 años bajo mantenimiento adecuado, siempre que las condiciones de uso sean óptimas. Nogueira et al., (2022) agrega que estos enfrentan tensiones como estrés eléctrico, térmico y mecánico, y su falla implica interrupciones, pérdidas económicas y altos costos de reemplazo (Khan et al., 2022). Pérez, (2008) también señala que la operación de los transformadores genera una importante cantidad de calor, razón por la cual en su interior cuentan con aceite que es un tipo de aislamiento eléctrico que se utiliza para motores, generadores, transformadores y otros equipos eléctricos. Estos aceites deben tener alta resistencia dieléctrica, estabilidad térmica y química, y una baja viscosidad para facilitar la circulación y el enfriamiento (James & Su, 2008). Los aceites minerales, son utilizados ampliamente en transformadores por su capacidad de aislamiento y enfriamiento, aunque también se emplean aceites sintéticos y naturales como alternativas más recientes (Pagger et al., 2023; Wang et al., 2018). Los aceites minerales destacan por su resistencia al calor y humedad, además de su bajo costo (Rouabeh et al., 2019). Sin embargo, su baja biodegradabilidad y riesgo de incendio plantean desafíos ambientales, impulsando la búsqueda de alternativas más sostenibles (Fernando-Navas et al., 2012). Sin embargo, su manejo es crucial, especialmente si contienen Bifenilos policlorados (PCB), requiriendo una gestión adecuada para prevenir impactos y cumplir normativas ambientales y de seguridad (Miller-Pérez et al., 2009).

Entre 1929 y 1985, muchos contenían PCB, prohibidos mundialmente desde los años 70 y 80. Sin embargo, aún se encuentran en aceites dieléctricos de equipos antiguos (Torner Jimenez & Valdez Castro, 2020).

Los PCB, comprenden una familia de 209 congéneres con baja conductividad eléctrica y alta resistencia térmica, fueron ampliamente utilizados en aceites dieléctricos (Avila et al., 2022), pero su toxicidad y persistencia ambiental los llevaron a ser clasificados como Compuestos Orgánicos Persistentes (COP). De los 187 químicos considerados como tóxicos para los organismos vivos, el Comité Intergubernamental de Negociación sobre COP catalogó a 12 como los más tóxicos, dentro de éstos están los PCB (Miller-Pérez et al., 2009). El Convenio de Estocolmo, ratificado por Ecuador en 2004, establece la producción, uso, exportación e importación, liberación de subproductos, gestión de existencias y eliminación del uso de COP en equipos eléctricos para el año 2025 (Domínguez Hidalgo, 2009); (Comisión económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), 2009). En este marco, el Acuerdo Ministerial 146 de 2016 regula su gestión ambientalmente de los PCB en el país. El Acuerdo indica que los PCB pueden contaminar suelos y aguas, acumulándose en organismos vivos y representando un riesgo para la salud humana, especialmente en entornos laborales con exposición prolongada.

De acuerdo con Montano et al., (2022) determinó mediante evaluaciones de impacto de BPC que los trabajadores pasan el 90 % de su jornada laboral en áreas de exposición, contaminación en lugares de trabajo y efectos en la salud humana implicando una alta exposición. Dado que los PCB fueron ampliamente utilizados en equipos eléctricos, recubrimientos y pinturas, existe la posibilidad que puedan liberarse al ambiente y ser absorbidos por ingestión o inhalación. Ante la imposibilidad de gestionar localmente estos desechos, Ecuador ha optado por la exportación, eliminando 137 toneladas de residuos en 2016 y proyectando 1.200 toneladas a nivel nacional (Rodas, 2018). En el

punto de vista ambiental se han explorado métodos de descontaminación, como la exposición a radiación UV-visible y adsorción, logrando reducir las concentraciones de PCB por debajo de 50 ppm; sin embargo, estas soluciones aún no han sido escaladas a nivel industrial (Gherdaoui et al., 2024).

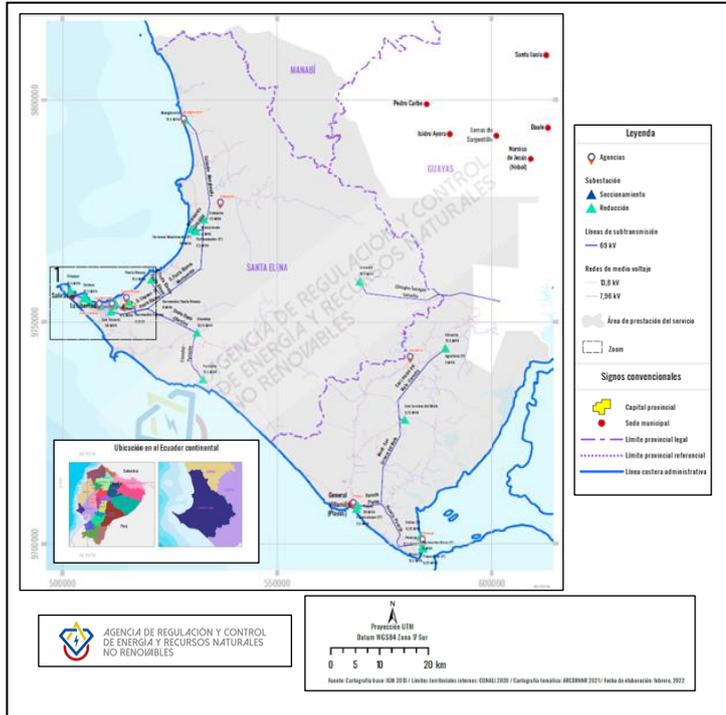
Por otra parte, la gestión de transformadores depende de los administradores de los equipos. En la provincia de Santa Elena, Ecuador, mediante Decreto Ejecutivo el 13 de marzo de 2013, se constituye la Empresa Eléctrica Pública Estratégica Corporación Nacional de Electricidad, CNEL EP (Decreto No 1459- Créase la empresa eléctrica pública estratégica corporación Nacional de electricidad, CNEL EP 2013), está incorporada por 10 Unidades de Negocio (UN) como: Santo Domingo, Sucumbíos, Bolívar, Esmeraldas, Santa Elena, Manabí, Milagro, Guayas-Los Ríos, El Oro y Los Ríos, a la que se incorpora en el 2014 la UN Guayaquil. Siendo CNEL EP la institución encargada de la distribución y comercialización de la energía eléctrica en las regiones respectivas de las UN y responsable de la gestión ambiental en sus respectivas áreas de concesión. La Unidad de Negocio -Santa Elena (UN STE), se constituye en la empresa administradora de la distribución de energía eléctrica en la provincia de Santa Elena y parcialmente en la provincia del Guayas (Figura 1), brindando servicio eléctrico a 136.586 abonados, en 5 cantones costeros (Salinas, La Libertad, Santa Elena, General Villamil Playas y Posorja), contando con 9.923 transformadores de distribución, para satisfacer la demanda de un área de servicio de 6.487 Km² (CNEL EP, 2021). Donde cada año la UN, da de baja alrededor de 100 transformadores, los mismos son entregados a gestores ambientales, desconociéndose el destino final de los mismos.

En orden de realizar una gestión ambiental adecuada, es fundamental documentar la gestión actual de los transformadores de distribución con aceites dieléctricos, analizar sus implicaciones ambientales, evaluar la necesidad de nuevas estrategias de manejo y

proponer acciones de mejora. Este proceso se ha abordado en el presente estudio de investigación aplicada.

Figura 1

Infraestructura eléctrica de CNEL EP Unidad de Negocio Santa Elena.



Fuente: (ARCERNR, 2022)

El estudio respalda la formulación de regulaciones para el manejo seguro de transformadores y aceites dieléctricos con PCB, estableciendo estándares que mejoren la gestión ambiental y la salud ocupacional en la UN STE. Su objetivo es diseñar estrategias de gestión integral para estos equipos en 2024, evaluando sus implicaciones ambientales y detectando no conformidades con la normativa vigente. A partir del análisis estadístico de datos sobre PCB, se proponen acciones y nuevos protocolos para optimizar el sistema de gestión y garantizar el cumplimiento ambiental.

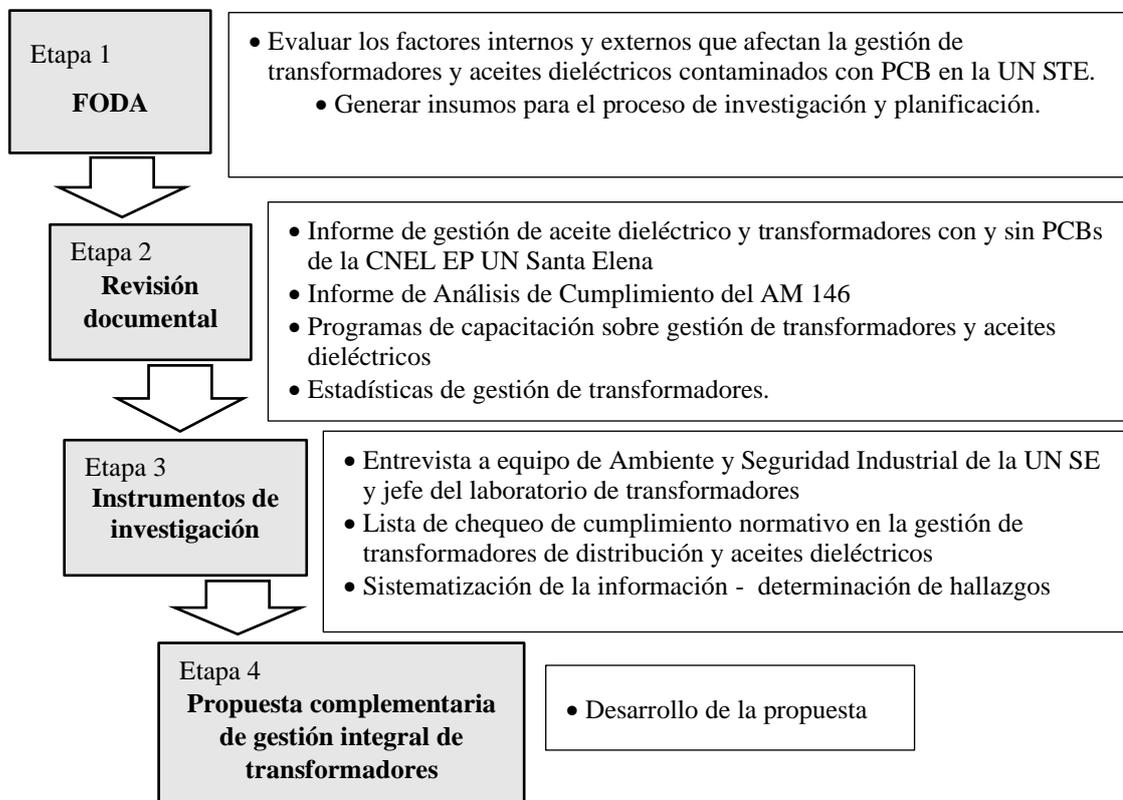
MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación desarrollada se realizó bajo un enfoque mixto, descriptivo, no experimental, de corte longitudinal, porque se recogerá información de varios años, de

acuerdo con su disponibilidad, hasta 2024, sistematizado en el orden de etapas mostrado en la Figura 2.

Figura 2

Etapas metodológicas del proceso de investigación.



1. FODA

El análisis FODA (Fortalezas, Oportunidades, Debilidades, Amenazas) facilita la toma de decisiones estratégicas y la planificación a corto y largo plazo (Morrison, 2013). En este caso, fue utilizado para evaluar los factores internos y externos que afectan la gestión de transformadores y aceites dieléctricos contaminados con PCB de la UN STE. Las fortalezas y debilidades reflejan factores internos, como los recursos, capacidades, infraestructura o tecnología con la que cuenta la organización. Las oportunidades y amenazas son factores externos, como el entorno económico, el marco regulatorio y los

avances tecnológicos que pueden influir en el éxito o el riesgo de la iniciativa. Este análisis ayudó a identificar ventajas competitivas, áreas de mejora y amenazas, permitiendo la implementación de medidas de mitigación para reducir el impacto de factores adversos.

2. Revisión documental

El estudio analizó la gestión de manejo de transformadores en la empresa al 2024, evaluando sus implicaciones ambientales de transformadores, operativos y almacenados, a través de un análisis estadístico del contenido de PCBs en aceites dieléctricos, con el fin de identificar posibles no conformidades normativas. Se revisaron instrumentos internos clave como:

- Cumplimiento del AM 146 (Procedimientos para la Gestión Integral y Ambientalmente Racional de los Bifenilos Policlorados (PCB) en el Ecuador 2016).
- Informes del Plan de Acción sobre PCBs en CNEL EP UN Santa Elena.
- Procesos de inducción realizados por el departamento de Ambiente y Seguridad Industrial de la UN SE.
- Programas de capacitación sobre gestión de transformadores y aceites dieléctricos.
- Estadísticas de gestión de transformadores.

Se compararon los resultados con normativas ambientales como el CODA (2017) y su Reglamento RCODA (2019) y el AM 026 Expedir los Procedimientos para: Registro y Gestión de generadores de desechos peligrosos previo al licenciamiento ambiental, y para transportar materiales peligrosos (2008), entre otros, asegurando una evaluación integral del manejo de estos equipos.

3. Instrumentos de investigación

Para complementar la información de diagnóstico, se realizaron dos entrevistas estructuradas a miembros de los departamentos de Ambiente y Seguridad Industrial y de mantenimiento de transformadores que constó de 18 y 17 preguntas respectivamente, sobre el manejo de aceites dieléctricos y transformadores contaminados con PCB, centrándose en la identificación, tratamiento y disposición final de residuos peligrosos. Se evaluaron metodologías para la determinación de PCB, protocolos de almacenamiento y manejo de transformadores en mal estado, así como las medidas de seguridad y el uso de EPP. Esto con el fin de analizar estrategias sobre la gestión de derrames, emergencias por explosión de transformadores en redes de distribución y la capacitación del personal en contaminantes orgánicos persistentes y de mantenimiento de transformadores.

Los instrumentos estuvieron basados principalmente en las entrevistas previamente validadas en Vera Narváez, (2022), incorporando criterios emitidos por Enríquez Montes, (2016). Finalmente, se llenó una Lista de chequeo de cumplimiento normativo en la gestión de transformadores de distribución y aceites dieléctricos, basada en la normativa ambiental aplicable: Acuerdos Ministeriales 061,146, 026, y lista de chequeo adaptada de Vera Narváez, (2022), previa correcciones de la autora.

4. Propuesta de gestión integral de transformadores

En base en el diagnóstico y la revisión documental de las fases previas, se elaboró una propuesta de gestión complementaria de los transformadores y aceites dieléctricos, priorizando aquellas estrategias que ofrezcan una mayor sostenibilidad y cumplimiento normativo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La CNEL EP UN Santa Elena debe cumplir con las normativas ambientales del Estado, pero aún no ha desarrollado los instrumentos necesarios para gestionar integralmente los transformadores y mantener actualizados los sistemas de inventario de los equipos operativos. En los siguientes apartados se presenta los resultados obtenidos en cada fase de la investigación, que destacan la necesidad de una planificación para la gestión de los transformadores y aceites dieléctricos en la UN SE.

1. Análisis FODA

El análisis FODA de la gestión de transformadores y aceites dieléctricos contaminados con PCB presentados en la Tabla 1, identifica puntos críticos para el desarrollo de estrategias (F-O, F-A, D-O y D-A) que promuevan la sostenibilidad y mejoras en la gestión. Se destaca la necesidad de una gestión estratégica e integral donde su mayor fortaleza es el conocimiento técnico junto a la experiencia operativa de la empresa que facilite la implementación de estos programas de mantenimiento. Sin embargo, existen limitaciones presupuestarias y la obsolescencia de equipos son desafíos aún existentes. Según Rêma et al., (2024), los transformadores requieren de atención constante debido a su depreciación regulatoria, y el monitoreo es esencial para optimizar la vida útil y su confiabilidad.

Tabla 1

Matriz de análisis FODA de la gestión de los transformadores y aceites dieléctricos contaminados con PCB en la UN SE.

	Análisis interno	Análisis externo
	Debilidades	Amenazas
Negativos	Presupuesto limitado para monitoreo, descontaminación de PCBs y reemplazo de generadores por parte de la UN SE.	Regulaciones ambientales e imposición de sanciones en la gestión inadecuada de contaminantes PCBs.

	Dependencia de proveedores externos para la recolección de aceites con PCBs.	Altos costos en procesos de eliminación de residuos PCBs.
	Análisis interno	Análisis externo
	Dificultad en descontaminación y mantenimiento para transformadores próximos a su fin de vida útil.	Riesgo para la salud y medio ambiente por presencia de PCBs generando consecuencias legales a la UN SE.
	Fortalezas	Oportunidades
Positivos	Personal técnico calificado para el mantenimiento y gestión de transformadores.	Apoyo normativo y gubernamental para el control y eliminación de contaminantes PCBs, facilitando financiamiento.
	Experiencia operativa en el manejo de transformadores y aceites dieléctricos.	Conciencia ambiental aumenta la gestión responsable de contaminantes peligrosos.
	Facilidad de recolección y análisis de datos por infraestructura de redes en operación.	Acceso a fondos internacionales para proyectos de eliminación de PCBs.
	Base de datos para aquellos que contienen PCBs, facilitando la planificación y manejo de riesgos.	

En el entorno externo, las oportunidades incluyen el apoyo gubernamental para la prevención y descontaminación, mientras que las estrictas regulaciones ambientales y los altos costos de eliminación de PCBs representan riesgos. Es esencial diseñar estrategias que prioricen el cumplimiento normativo y la sostenibilidad, como el reciclaje de aceites y la modernización progresiva de transformadores. Se prefiere la prevención sobre la remediación. En algunos casos de contaminación de suelo por aceites dieléctricos sin PCB's, la remediación es posible; sin embargo, según Malik & Garg, (2024), los métodos disponibles actualmente son limitados y generalmente no sostenibles.

2. Análisis de la Revisión documental

El análisis documental reveló que existe una evolución de la gestión de transformadores con PCBs en CNEL EP UN Santa Elena, destacando la labor del departamento de

Responsabilidad Social, Seguridad Industrial y Salud Ocupacional (RSSISO) y el Laboratorio de Transformadores. Desde la creación del área ambiental en 2006, se han implementado acciones como el control y monitoreo de PCBs, análisis cromatográficos y colorimétricos, adecuación de bodegas, capacitación del personal, etc. En el estudio cronológico de Villao, (2020) señaló hitos claves como la recopilación e inventario de equipos en desuso en 2011, introducción de pruebas de PCBs en 2012-2013; en 2014, la adquisición de equipos de análisis y la ejecución de pruebas cromatográficas. En 2015, identificación de áreas contaminadas por el MAE, en 2016, (presencia de PCBs en 7 de los 157 equipos analizados). En 2017, se amplió el inventario de 2.182 transformadores (eliminación de 8.050 galones de aceite dieléctrico). Por último, en 2018, se analizaron 2.454 equipos, identificando 114 con posible contaminación. La empresa de CNEL EP, a lo largo de los años ha tomado diversas medidas para gestionar adecuadamente los transformadores y aceites dieléctricos contaminados con PCBs, siguiendo un enfoque de cumplimiento normativo y mejora continua.

Tabla 2

Resumen de acciones de gestión ambiental en los documentos de gestión ambiental, respecto al manejo de transformadores y aceites dieléctricos en la UN SE.

Año	Acciones de gestión ambiental
2018	Se realizaron acciones clave como la programación de análisis para los 8,594 transformadores operativos, la capacitación a contratistas en el manejo de estos equipos, y el control de nuevos transformadores. También se contrató el análisis de 2,454 muestras de aceite (Villao, 2018).
2019	Se realizaron pruebas cromatográficas a los aceites obtenidos del vaciado de 733 transformadores, enviando muestras de los tanques donde se almacenó el aceite libre de PCB para su verificación (Villao, 2019).
2020	Se registraron un total de 8,920 equipos dentro del sistema de distribución, de los cuales 3,958 pertenecen a usuarios particulares y 4,962 a CNEL EP (Villao, 2020).
2021	Se realizó la prueba colorimétrica a 3,670 de los 4,962 equipos pertenecientes a CNEL EP, encontrándose 3,104 con pruebas de PCBs y con un plan de aumentar el inventario a 5,069 equipos (Villao & Baquerizo, 2021a).

En julio de 2021, se observó que se cumplían 12 de 15 normas, destacando el mantenimiento del registro de generador de desechos peligrosos y la

Año	Acciones de gestión ambiental
2022	presentación de la declaración anual a la autoridad ambiental, aunque la disposición final de transformadores contaminados con PCBs seguía pendiente (Villao & Baquerizo, 2021b) El taller de transformadores continuó con las pruebas colorimétricas de los equipos nuevos, realizando 67 pruebas, de las cuales 15 indicaron posible contaminación por PCBs (Villao, 2022)
2023	Se realizaron 238 pruebas colorimétricas, detectando 22 equipos posiblemente contaminados que requerirán análisis cromatográficos adicionales (Villao, 2023a) A pesar de los avances, no se realizó la disposición final de los equipos contaminados (Villao, 2023b)
2024	Se contrató la realización de análisis cromatográficos para los equipos posiblemente contaminados, pero aún no se ha gestionado la disposición final de estos equipos (Villao, 2024a, 2024b)

El estudio demostró que existe un avance continuo y gradual en la gestión de transformadores, aceites dieléctricos, procesos y alto cumplimiento normativo. A pesar de esto, el reemplazo de los equipos contaminados sigue siendo lento pero constante, con tasas de contaminación entre el 4,55% y el 10% a lo largo del tiempo. Evidenciando la necesidad de continuar con estrategias de mitigación y sustitución de equipos para reducir riesgo ambiental y de salud ocupacional.

Figura 3

Distribución temporal de transformadores de distribución analizados para contenido de PCB.



Fuente de datos: RSSISO, *En la parte superior está el número de transformadores cuyo contenido de aceite fue analizado.*

El análisis de la documentación reveló una evolución constante en la gestión de transformadores y aceites dieléctricos, demostrando un compromiso sostenido con el medio ambiente y la seguridad. Sin embargo, aún existen problemáticas que deben ser atendidas, como la posible contaminación de suelo debido al tiempo de actividad eléctrica en el área, cuando se desconocían los efectos negativos que traería el uso de PCBs en aceites. Donde estos eran utilizados para regar el suelo para prevenir el polvo, o aplicados en la piel para tratar enfermedades.

El análisis de la contaminación de suelo por aceites dieléctricos con PCBs reveló que, a pesar de estar prohibidos desde hace años, siguen siendo una amenaza ambiental persistente. Estudios de China, como los de Li et al., (2023) y Zhang et al., (2022), demostraron que los PCBs continúan presentes en suelos agrícolas, reflejando su carácter tóxico y su capacidad de persistencia en el ambiente. Igbo et al., (2022), en Nigeria, la mala gestión de desechos electrónicos contribuye significativamente a la contaminación, afectando la salud pública y los ecosistemas (Hoang et al., 2023; Zhuang, 2019). Este contexto resalta la importancia de abordar de manera científica y técnica los riesgos de contaminación del suelo dentro de las instalaciones industriales, como parte de la gestión ambiental integral.

3. Instrumentos de investigación

Resúmenes narrativos de la aplicación de los instrumentos de investigación y los hallazgos de operaciones subestándar, se presentan a continuación.

A. Entrevista al líder de RSSISO

La gestión de los desechos dieléctricos en la empresa sigue procedimientos establecidos en el Manual de Manejo Integral de Desechos (MN-RSC-AMB-001). Los transformadores con aceites contaminados con PCB son identificados mediante pruebas colorimétricas y confirmados con cromatografía. Los transformadores contaminados se

trasladan a una bodega de desechos peligrosos ubicada en la comuna Chanduy, mientras que los no contaminados se les realiza un vaciado de aceite en tanques y junto a los tanques vacíos se entregan a un gestor para su disposición final.

Para el manejo de estos residuos peligrosos, el personal es dotado de EPP como guantes, gafas, trajes desechables, mascarillas, casco, botas dieléctricas, equipo para derrame de aceite, extintores de CO₂. Los EPP descartables contaminados con aceites, son dispuestos en tanques hasta su posterior almacenamiento en la bodega de desechos.

El laboratorio de transformadores cuenta con un kit de primero auxilios que contiene guantes descartables, férulas, inmovilizadores, gasa, alcohol, mascarillas desechables, algodón, suero fisiológico, yodo líquido.

El personal recibe capacitación cada 6 meses. En caso de potenciales afectaciones al personal operativo por el manejo de desechos de aceites dieléctricos o contaminados con PCB, caso que no se ha presentado, se deberá aplicar un plan de vigilancia de la salud.

Cuando se presentan derrames de aceites en los lugares donde se manipulan los desechos de aceites dieléctricos, al personal kits para el control de derrames de aceites.

Hallazgo 1: cuando se presentan explosiones de transformadores en operación, en su gestión no participa el departamento de RSSISO, de modo que no existe una intervención ambiental de los suelos potencialmente contaminados.

B. Entrevista al jefe del Laboratorio de Transformadores (LT)

En el LT se lleva el registro de la información de los equipos dados de baja, con y sin PCB; los que se encuentran con PCB, son dados de baja con el resultado de la prueba colorimétrica realizada, para lo cual se genera un informe con el registro de la prueba realizada. Si el equipo se encuentra libre de PCB, se registra el resultado de las pruebas eléctricas realizadas, identificando el motivo por el cual se declara en mal estado para la baja.

Hallazgo 2: no se posee instructivos o manuales para la gestión interna y traslado de transformadores contaminados con PCB o tanques de almacenamiento de desechos con aceite dieléctricos.

Hallazgo 3: no existen recipientes especiales destinados para desechos sólidos que hayan tenido contacto con desechos de aceites dieléctricos, Sin embargo, se cuenta con la bodega de desechos peligroso de la empresa, donde se acumulan anualmente.

Hallazgo 4: No se ha recibido capacitación sobre manejo de transformadores y aceites dieléctricos, sin embargo, si se dota con EPP para el manejo aceites dieléctricos.

Hallazgo 5: Los operarios de campo pueden sufrir afectaciones menores. Los casos se evidencian al momento de desmontar del poste los transformadores cuya carcasa se encuentran en mal estado, lo cual genera derrames de aceites no previstos, los cuales suelen derramarse sobre los técnicos que se encuentran haciendo las maniobras de desmontaje.

Hallazgo 6: No se posee instructivo o protocolo en casos de derrames de aceite dieléctrico, sin embargo, se posee kits antiderrames en caso de ocurrencia.

Hallazgo 7: Actualmente no se cuenta con un instructivo en casos de explosión de transformadores en la red de distribución.

En el mantenimiento de los transformadores, una vez realizada la prueba colorimétrica, se dispone a realizar las pruebas eléctricas con equipos especiales acorde a instructivo IT-TEC-MNT-014. En caso de desmontaje, ya sea por ajuste o reemplazo de componentes internos del transformador, estos se manipulan con guantes de neopreno y EPP adecuado.

Hallazgo 8: en cuanto al monitoreo o mantenimiento de los transformadores instalados en la red de distribución, solo se cuenta con base de datos de SIG, la cual detalla información básica de los transformadores instalados en el sistema de distribución

eléctrico. No se cuenta con información que detalle un historial de mantenimientos realizados a los equipos instalados.

C. Lista de chequeo de cumplimiento normativo

En la Tabla 3 se resume los hallazgos con relación al cumplimiento de la normativa. De 54 normas revisadas bajo distintos criterios, aproximadamente el 28% no se están cumpliendo aun integralmente. El mayor número de no cumplimientos se encuentra en el componente de gestión general y manejo de PCB. Por otro lado, se observa una alta eficacia en los componentes de infraestructura y operación.

Tabla 3

Cumplimiento de la normativa de gestión de aceites dieléctricos con PCBs y residuos peligrosos.

Criterio	Respuestas		Porcentaje de cumplimiento	
	Si	No	Si	No
Gestión	11	7	61.1	38.9
Infraestructura y Almacenamiento	10	1	90.9	9.1
Operación y Mantenimiento	11	3	78.6	21.4
Manejo de PCB	7	4	63.6	36.4
Total	39	15	72.2	27.8

Los instrumentos mostraron la necesidad de impulsar estrategias continuas de capacitación e información a distintos niveles del proceso de manejo de transformadores indicando que el mayor peligro para el ambiente y las personas se origina por la falta de información o conocimiento entre los propietarios de equipos con PCB, sobre sus peligros conexos, resaltando que al realizar un estudio de monitoreo en aguas superficiales, sedimentos de fondo, alimentos y muestras de suelo, encontraron acumulación de PCB en todos los niveles tróficos, determinando procesos de bioacumulación.

Los hallazgos de no conformidades permitieron la retroalimentación del sistema de gestión actual, con el fin de incrementar su eficacia, lo que se expresó en medidas de gestión complementarias a las que están en operación actualmente.

4. Propuesta de gestión integral de transformadores

La propuesta de gestión en transformadores que utilizan aceites dieléctricos se enfoca en tres áreas claves: Gestión, mantenimiento y almacenamiento. Se propone involucrar al departamento RSSISO para los incidentes relacionados a la temática, mejora de la base de datos SIG con el historial de mantenimiento y Capacitaciones continuas. Se debe verificar la ausencia de PCB en nuevos transformadores y asegurar el cumplimiento de normativas en el transporte de residuos peligrosos. En almacenamiento, se recomienda mejorar la señalización, segregación de desechos y planes de contingencia. Finalmente, en mantenimiento, se sugiere inspeccionar niveles de aceite y dispositivos de sobrepresión, así como justificar la reutilización de equipos con PCB bajo aprobación regulatoria.

Otros aspectos a evaluar y considerar en el futuro próximo es la transición tecnológica a aceites naturales o sintéticos de alto rendimiento, los cuales se están constituyendo en una alternativa, existiendo una tendencia creciente hacia el uso de aceites dieléctricos naturales, como los derivados de ésteres vegetales, debido a su menor impacto ambiental y mejores propiedades biodegradables (Adekunle & Oparanti, 2023; Severiche & Zambrano, 2014). Por otro lado, aceites sintéticos, están ganando reputación por su alta estabilidad térmica y resistencia a la oxidación, aunque su desventaja es el costo elevado (Okubo & Beroual, 2011; Quitiaquez et al., 2019).

En el mismo contexto, el análisis FODA permitió observar más allá de los instrumentos de investigación, visualizando potenciales estrategias (Tabla 4) para promover una

gestión más eficiente a mediano y largo plazo, que pueden servir de guía para la planificación de la gestión a futuro, entre las que se podría considerar:

Tabla 4

Propuesta de estrategias de mediano y largo plazo para planificación de la Gestión de Transformadores con aceites dieléctricos de CNEL EP UN Santa Elena.

Estrategia	Actividades
F+O	<ul style="list-style-type: none"> • Implementar un programa de mantenimiento predictivo aprovechando el conocimiento técnico y la base de datos obtenida, integrando nuevas tecnologías de monitoreo y diagnóstico. • Aprovechar el respaldo gubernamental para financiar la adquisición de tecnología que mejore la sostenibilidad y el control ambiental.
F+A	<ul style="list-style-type: none"> • Establecer planes de reemplazo y modernización de los transformadores, empezando con aquellos de mayor riesgo ambiental, utilizando el conocimiento técnico del personal y de la base de datos. • Desarrollar políticas de respuesta rápida ante emergencias climáticas, aprovechando la experiencia del personal para minimizar daños y asegurar la continuidad del servicio.
D+O	<ul style="list-style-type: none"> • Realizar alianzas con diferentes proveedores tecnológicos que permita acceder a equipos, sistemas avanzados y de mantenimiento predictivo. • Mejorar la capacitación del personal en gestión integral de transformadores y sostenibilidad, aprovechando programas de formación disponibles y tecnologías innovadoras.
D+A	<ul style="list-style-type: none"> • Optimizar presupuestos de la implementación del plan de reciclaje y reutilización de equipos, mitigando la obsolescencia y residuos peligrosos. • Implementar políticas de control de costos y ahorro de energía en los transformadores para contrarrestar el impacto de los fenómenos climáticos y el aumento en la demanda de energía.

CONCLUSIONES.

El análisis documental permitió realizar un análisis integral y cronológico de las prácticas de manejo de los transformadores y aceites dieléctricos de la empresa desde los inicios de la gestión del departamento ambiental, actualmente denominado departamento de Responsabilidad Social, Seguridad Industrial y Salud Ocupacional (RSSISO), hasta el primer semestre del año 2024. El análisis indicó que las mejoras en los procedimientos

han evolucionado a la par que lo ha hecho el compromiso ambiental de la empresa. Los datos indican que los conceptos y las gestiones se han mantenido en un proceso de mejoramiento continuo que ha implicado procesos complejos y costosos que se han ido generando año a año y que han propiciado un buen nivel de cumplimiento de la exigente normativa ambiental específica.

La documentación también indicó que, el porcentaje de equipos posiblemente contaminados con PCB ha fluctuado entre el 4,5 y el 10 % a lo largo del tiempo, demostrando que el proceso de sustitución es sostenido, pero lento, por el volumen de transformadores operativos y almacenados, concluyendo que aún existen en operación equipos con potencial de contener PCBs.

Los instrumentos de investigación fueron eficaces al momento de determinar no conformidades o hallazgos con relación al cumplimiento de la normativa ambiental específica y aspectos de gestión, tanto de los departamentos de gestión ambiental y de seguridad, como del laboratorio y bodega de transformadores. Se encontraron 8 hallazgos y 15 aspectos normativos no cumplidos, lo cual fue utilizado para diseñar estrategias de gestión.

Los hallazgos y no conformidades normativas fueron clave para establecer 16 actividades de gestión a realizar, planteadas a través de una Propuesta de Gestión de Transformadores con aceites dieléctricos que complementan los aspectos no cumplidos por el manejo actual. La discusión global de los resultados obtenidos permitió plantear, en base al análisis FODA, estrategias de gestión a mediano y largo plazo, en aplicación de los avances científicos esperados en la generación de nuevos aceites dieléctricos y en avances en los procesos de gestión.

Bibliografía

- Adekunle, A. A., & Oparanti, S. O. (2023). A Review on Physicochemical and Electrical Performance of Vegetable Oil-Based Nanofluids for High Voltage Equipment. *Electric Power Systems Research*, 214, 108873. <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2022.108873>
- ARCERNNR. (2022). *Infraestructura eléctrica de CNEL EP Unidad de Negocio Santa Elena*. <https://www.cnelep.gob.ec/unidad-de-negocio-santa-elena/>
- Avila, B. S., Ramírez, C., Téllez-Avila, E., & Combariza, D. (2022). Occupational exposure to polychlorinated biphenyls (PCBs) in workers at companies in the Colombian electricity sector. *International Journal of Environmental Health Research*, 32(5), 941–951. <https://doi.org/10.1080/09603123.2020.1806213>
- CNEL EP. (2021). *Plan estratégico CNEL EP 2021-2025*. <https://www.cnelep.gob.ec/wp-content/uploads/2022/05/PLAN-ESTRATEGICO-CNEL-EP-2021-2025.pdf>
- Comisión económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). (2009). *Convenio de Estocolmo. Observatorio del Principio* 10. <https://observatoriop10.cepal.org/es/media/151>
- De vito, S., Del Giudice, A., & Di Francia, G. (2024). Electric Transmission and Distribution Network Air Pollution. *Sensors*, 24(2), 587. <https://doi.org/10.3390/s24020587>
- Domínguez Hidalgo, E. P. (2009). *Plan de manejo para una disposición final segura del aceite dieléctrico generado por los transformadores de potencia y distribución de la {Empresa} {Eléctrica} {Ambato} {S}.{A}*. [Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica. Maestría en Ciencias de la Ingeniería y Gestión Ambiental]. <https://repositorio.uta.edu.ec:8443/jspui/handle/123456789/2336>
- Enríquez Montes, W. G. (2016). *Evaluación del cumplimiento del manual para el manejo de bifenilos policlorados (PCB's) en CNEL EP unidad de negocios Guayas, Los Rios*. UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO.
- Fernando-Navas, D., Cadavid-Ramírez, H., & Echeverry -Ibarra, D. F. (2012). Aplicación

del aceite dieléctrico de origen vegetal en transformadores eléctricos. *Ingeniería y Universidad*, 16(1), 201–223.
http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0123-21262012000100012&lng=en&nrm=iso&tlng=es

Gherdaoui, C. E., Oumeddour, H., Aldoori, H., Alaoui, C., Delbarre, J.-P., Bouberka, Z., Supiot, P., Lerari, D., & Maschke, U. (2024). Improving transformer oil decontamination: A synergistic approach integrating adsorption and radiative treatment for polychlorinated biphenyls. *Separation and Purification Technology*, 334, 126028. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2023.126028>

Hoang, A. Q., Tue, N. M., Tu, M. B., Suzuki, G., Matsukami, H., Tuyen, L. H., Viet, P. H., Kunisue, T., Sakai, S., & Takahashi, S. (2023). A review on management practices, environmental impacts, and human exposure risks related to electrical and electronic waste in Vietnam: findings from case studies in informal e-waste recycling areas. *Environmental Geochemistry and Health*, 45(6), 2705–2728. <https://doi.org/10.1007/s10653-022-01408-4>

Igbo, J. K., Chukwu, L. O., Oyewo, E. O., Blum, J. L., Schanzer, A., Wirgin, I., Meltzer, G. Y., Roy, N. K., & Zelikoff, J. T. (2022). The Chemistry and Health Outcomes of Electronic Waste (E-Waste) Leachate: Exposure to E-Waste Is Toxic to Atlantic Killifish (*Fundulus heteroclitus*) Embryos. *Sustainability*, 14(18), 11304. <https://doi.org/10.3390/su141811304>

James, R. E., & Su, Q. (2008). *Condition Assessment of High Voltage Insulation in Power System Equipment*. IET. <https://shop.theiet.org/condition-assessment-of-hv>

Juárez Cervantes, J. D. (1995). *Sistemas de distribución de energía eléctrica*. Sans Serif Editores. [chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://core.ac.uk/download/pdf/48392416.pdf](https://core.ac.uk/download/pdf/48392416.pdf)

Khan, S. A., Tariq, M., Khan, A. A., Alamri, B., & Mihet-Popa, L. (2022). Influence of Area and Volume Effect on Dielectric Behaviour of the Mineral Oil-Based Nanofluids. *Energies*, 15(9), 3354. <https://doi.org/10.3390/en15093354>

Li, Y., Hou, F., Shi, R., Li, X., Lan, J., & Zhao, Z. (2023). Contamination Status, Environmental Factor and Risk Assessment of Polychlorinated Biphenyls and

Hexachlorobutadiene in Greenhouse and Open-Field Agricultural Soils across China. *Toxics*, 11(11), 941. <https://doi.org/10.3390/toxics11110941>

Malik, A., & Garg, V. K. (2024). *Bioremediation for Sustainable Environmental Cleanup*. CRC Press. <https://api.taylorfrancis.com/content/books/mono/download?identifierName=doi&identifierValue=10.1201/9781003277941&type=googlepdf>

Miller-Pérez, C., Sánchez-Islas, E., Mucio-Ramírez, S., Mendoza-Sotelo, J., & León-Olea, M. (2009). Los contaminantes ambientales bifenilos policlorinados (PCB) y sus efectos sobre el Sistema Nervioso y la salud. *Salud mental*, 32(4), 335–346. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0185-33252009000400009&lng=es&nrm=iso&tlng=es

Ministerio del Ambiente. (2008). *Expedir los Procedimientos para: Registro de generadores de desechos peligrosos, Gestión de desechos peligrosos previo al licenciamiento ambiental, y para el transporte de materiales peligrosos*. <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/05/AM-026-Procedimientos-Registro-generadores-desechos-peligrosos.pdf>

Ministerio del Ambiente. (2016). *Acuerdo Ministerial 146 - Procedimientos para la Gestión Integral y Ambientalmente Racional de los Bifenilos Policlorados (PCB) en el Ecuador*. <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/05/ACUERDO-MINISTERIAL-DE-PROCEDIMIENTOS-PARA-LA-GESTIÓN-AMBIENTALMENTE-RACIONAL-DE-PCB.pdf>

Ministerio del Ambiente de Ecuador. (2017). *Código Orgánico del Ambiente*. Registro oficial suplemento 983. https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/01/CODIGO_ORGANICO_AMBIENTE.pdf

Ministerio del Ambiente de Ecuador. (2019). *Reglamento al Código Orgánico del Ambiente*. <https://www.gob.ec/regulaciones/reglamento-al-codigo-organico-ambiente>

Montano, L., Pironti, C., Pinto, G., Ricciardi, M., Buono, A., Brogna, C., Venier, M., Piscopo, M., Amoresano, A., & Motta, O. (2022). Polychlorinated Biphenyls (PCBs) in the Environment: Occupational and Exposure Events, Effects on Human Health

- and Fertility. *Toxics*, 10(7), 365. <https://doi.org/10.3390/toxics10070365>
- Morrison, M. (2013). *Strategic Business Diagnostic Tools - Theory and Practice*.
- Nogueira, T., Carvalho, J., & Magano, J. (2022). Eco-Friendly Ester Fluid for Power Transformers versus Mineral Oil: Design Considerations. *Energies*, 15(15), 5418. <https://doi.org/10.3390/en15155418>
- Okubo, H., & Beroual, A. (2011). Recent trend and future perspectives in electrical insulation techniques in relation to sulfur hexafluoride substitutes for high voltage electric power equipment. *IEEE Electrical Insulation Magazine*, 27(2), 34–42. <https://doi.org/10.1109/MEI.2011.5739421>
- Pagger, E. P., Pattanadach, N., Uhlig, F., & Muhr, M. (2023). Properties of New Insulating Liquids and Main Differences. En E. P. Pagger, N. Pattanadach, F. Uhlig, & M. Muhr (Eds.), *Biological {Insulating} {Liquids}: {New} {Insulating} {Liquids} for {High} {Voltage} {Engineering}* (pp. 65–140). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-031-22460-7_4
- Pérez, P. A. (2008). *Transformadores de distribución* (3a. Edición). Editorial Reverté, S. A.
- Presidencia constitucional de la república. (2013). *Decreto No. 1459 - Créase la Empresa Eléctrica Pública Estratégica Corporación Nacional de Electricidad, CNEL EP*.
- Quitiaquez, W., Simbaña, A., Simbaña, I., Isaza, C., Nieto, C., Quitiaquez, P., & Toapanta, F. (2019). Análisis Comparativo entre el Aceite Mineral y el Aceite Vegetal Utilizados como Dieléctricos y Refrigerantes para Transformadores de Potencia. *Revista Técnica "energía"*, 16(1), 79–87. <https://doi.org/10.37116/revistaenergia.v16.n1.2019.338>
- Rêma, G. S., Bonatto, B. D., de Lima, A. C. S., & de Carvalho, A. T. (2024). Emerging Trends in Power Transformer Maintenance and Diagnostics: A Scoping Review of Asset Management Methodologies, Condition Assessment Techniques, and Oil Analysis. *IEEE Access*, 12, 111451–111467. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3441523>
- Rodas, M. (2018). *Informe final cierre del proyecto PCB*. [https://info.undp.org/docs/pdc/Documents/ECU/Informe final cierre del proyecto](https://info.undp.org/docs/pdc/Documents/ECU/Informe%20final%20cierre%20del%20proyecto)

PCB.pdf

- Rouabeh, J., LotfiM'barki, Hammami, A., Jallouli, I., & Driss, A. (2019). Studies of different types of insulating oils and their mixtures as an alternative to mineral oil for cooling power transformers. *Heliyon*, 5. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e01159>
- Severiche, A. R., & Zambrano, D. I. A. (2014). *Manual para el manejo integral de aceites dieléctricos vegetales utilizados en los transformadores de distribución de energía eléctrica de la costa atlántica*.
- Tornero Jimenez, R. J., & Valdez Castro, S. N. (2020). Adsorción e inertización de bifenilos policlorados PCBs sobre ulexita, en el proceso de gestión de aceites dielectricos. *Revista Boliviana de Química*, 37(4). <https://doi.org/10.34098/2078-3949.37.4.2>
- Tran, Q. T., Davies, K., Roose, L., Wiriyaikitkun, P., Janjampop, J., Riva Sanseverino, E., & Zizzo, G. (2020). A Review of Health Assessment Techniques for Distribution Transformers in Smart Distribution Grids. *Applied Sciences*, 10(22), 8115. <https://doi.org/10.3390/app10228115>
- Vera Narváez, W. R. (2022). *Evaluación del proceso de gestión ambiental de desechos de aceites dieléctricos en transformadores de distribución en {CNEL} {EP} {El} {Oro}* [Machala : Universidad Técnica de Machala]. <http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/18845>
- Villao, M. (2018). *Informe de avance de Plan de Acción del Manejo de PCBs en CNEL EP UN Santa Elena: I Semestre 2018*.
- Villao, M. (2019). *Informe de avance de Plan de Acción del Manejo de PCBs en CNEL EP UN Santa Elena: 2019*.
- Villao, M. (2020). *Informe de gestión de aceite dieléctrico y transformadores con y sin PCBs de la CNEL EP UN Santa Elena: 2020*.
- Villao, M. (2022). *Análisis de Cumplimiento del AM 146: Procedimientos para la Gestión Integral y Ambientalmente Racional de PCB en Ecuador: julio 2022*.
- Villao, M. (2023a). *Análisis de Cumplimiento del AM 146: Procedimientos para la Gestión Integral y Ambientalmente Racional de PCB en Ecuador: enero 2023*.

- Villao, M. (2023b). *Análisis de Cumplimiento del AM 146: Procedimientos para la Gestión Integral y Ambientalmente Racional de PCB en Ecuador: julio 2023*.
- Villao, M. (2024a). *Análisis de Cumplimiento del AM 146: Procedimientos para la Gestión Integral y Ambientalmente Racional de PCB en Ecuador: enero 2024*.
- Villao, M. (2024b). *Análisis de Cumplimiento del AM 146: Procedimientos para la Gestión Integral y Ambientalmente Racional de PCB en Ecuador: julio 2024*.
- Villao, M., & Baquerizo, M. (2021a). *Análisis de Cumplimiento del AM 146: Procedimientos para la Gestión Integral y Ambientalmente Racional de PCB en Ecuador: julio 2021*.
- Villao, M., & Baquerizo, M. (2021b). *Informe de gestión de aceite dieléctrico y transformadores con y sin {PCBs} de la {CNEL} {EP} {UN} {Santa} {Elena}: 2021 {Semestre} {I}*.
- Wang, X., Tang, C., Huang, B., Hao, J., & Chen, G. (2018). Review of Research Progress on the Electrical Properties and Modification of Mineral Insulating Oils Used in Power Transformers. *Energies*, *11*(3), 487. <https://doi.org/10.3390/en11030487>
- Zhang, Q., Li, Y., Miao, Q., Pei, G., Nan, Y., Yu, S., Mei, X., & Feng, W. (2022). Distribution, Sources, and Risk of Polychlorinated Biphenyls in the Largest Irrigation Area in the Yellow River Basin. *Water*, *14*(21), 3472. <https://doi.org/10.3390/w14213472>
- Zhuang, X. (2019). Chapter 14 - Chemical Hazards Associated With Treatment of Waste Electrical and Electronic Equipment. En M. N. V. Prasad & M. Vithanage (Eds.), *Electronic {Waste} {Management} and {Treatment} {Technology}* (pp. 311–334). Butterworth-Heinemann. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816190-6.00014-5>