FACULTAD DE POSTGRADO
TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN

MODELO DE GESTIÓN DE DESECHOS DERIVADOS DEL MANTENIMIENTO DE SUBESTACIONES ELÉCTRICAS DE LA ENEE

SUSTENTADO POR:

LINDA GABRIELA MALDONADO ZAMBRANO
PAMELA MICHEL ARIAS GARCIA

PREVIA INVESTIDURA AL TÍTULO DE

MÁSTER EN
SISTEMAS DE GESTIÓN DE CALIDAD INTEGRADOS

TEGUCIGALPA M.DC. FRANCISCO MORAZÁN, HONDURAS, C.A.

ENERO, 2026

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA CENTROAMERICANA

UNITEC

FACULTAD DE POSTGRADO

AUTORIDADES UNIVERSITARIAS

RECTORA

ROSALPINA RODRÍGUEZ

VICERRECTOR ACADÉMICO NACIONAL

JAVIER ABRAHAM SALGADO LEZAMA

SECRETARIO GENERAL

ROGER MARTÍNEZ MIRALDA

DECANA FACULTAD DE POSTGRADO

ANA DEL CARMEN RETTALLY VARGAS

FACULTAD DE POSTGRADO

MODELO DE GESTIÓN DE DESECHOS DERIVADOS DEL MANTENIMIENTO DE SUBESTACIONES ELÉCTRICAS DE LA ENEE

Linda Gabriela Maldonado Zambrano
Pamela Michel Arias García

Resumen

La investigación desarrollada en el área de la Sub estación Santa Fe, de la Empresa Nacional de Energía Eléctrica (ENEE) se enfocó en el análisis y diseño de un modelo de gestión para los desechos peligrosos derivados de las actividades de mantenimiento de la sub estación eléctrica, con el propósito de prevenir riesgos ambientales y a la salud ocupacional.

La recolección de la información se realizó a través de observación directa, revisión documental, entrevistas al personal técnico y levantamiento de información en campo. Los resultados evidenciaron la necesidad de implementar medidas de control que garanticen el cumplimiento de la normativa ambiental vigente y reduzcan el riesgo de contaminación del suelo, agua y exposición del personal.

Como única propuesta, se diseñó un centro de acopio para el almacenamiento temporal de residuos peligrosos, acompañado de lineamientos técnicos y administrativos que conforman un modelo integral de gestión de desechos, orientado a mejorar las prácticas operativas actuales, fortalecer el control ambiental y promover una gestión segura y sostenible dentro de la ENEE.

Palabras claves: Residuo peligroso, impacto ambiental, disposición final.

GRADUATE SCHOOL

MANAGEMENT MODEL OF WASTE DERIVED FROM THE MAINTENANCE OF ENEE ELECTRICAL SUBSTATIONS

LINDA GABRIELA MALDONADO ZAMBRANO
PAMELA MICHEL ARIAS GARCIA

Abstract

The research conducted in the Santa Fe Substation area of the National Electric Energy Company (ENEE) focused on the analysis and design of a management model for hazardous waste derived from maintenance activities at the electrical substation, with the purpose of preventing environmental and occupational health risks.

Information was collected through direct observation, document review, interviews with technical personnel, and on-site data collection. The results revealed the need to implement control measures that ensure compliance with current environmental regulations and reduce the risk of soil and water contamination, as well as personnel exposure.

As the sole proposal, a collection center was designed for the temporary storage of hazardous waste, accompanied by technical and administrative guidelines that make up a comprehensive waste management model, aimed at improving current operational practices, strengthening environmental control, and promoting safe and sustainable management within ENEE.

Keywords: Hazardous waste, environmental impact, final disposal.

1 DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi Dios, quien ha cuidado mi vida, ha provisto lo necesario y me ha dado la salud, sabiduría y fortaleza a lo largo de este camino recorrido, sin lugar a duda ha sido bueno.

A mis amados padres, Norlinda Zambrano y José Luis Maldonado quienes, con sus oraciones, palabras de ánimo y su amor constante, me han guiado y acompañado incondicionalmente.

A mis queridos hermanos Luis José y Abel, a Alexi, mis amigos y familia que han sido también un pilar fundamental a lo largo de mi vida, también dedico este triunfo.

Linda Gabriela Maldonado Zambrano

Dedico este trabajo, en primer lugar, a mi Padre Celestial por darme la oportunidad de disfrutar y vivir esta experiencia, la cual me ayudó a crecer y madurar como profesional.

A mi amada abuela, Rosinda García (Q.D.D.G), por su lealtad, sacrificio, y apoyo incondicional durante todo el tiempo que estuvo en esta tierra; por motivarme a ser cada día mejor, y acompañarme a lo largo de mi vida.

A mi hija Jimena María Castro Arias, por ser ese motorcito que impulsa mi vida diaria para ser mejor madre para ella, y ser de ejemplo a su vida. Te amo hija, sos el tesoro más grande que tengo.

A mi amado esposo, Melvin Castro por su apoyo incondicional y por qué ha estado presente a lo largo de este camino de vida, en ámbitos académicos, y espirituales. Gracias por motivarme a ser siempre mejor, por consolarme, por sembrar a Dios en mi corazón y enseñarme a que el amor puede ser inquebrantable.

Y le dedico este trabajo a todas aquellas personas que de alguna manera me ayudaron en muchos ámbitos a lograr con este propósito (Rubén, Dilcia, Omar Alejandro, Suu).

Pamela Michel Arias García.

2 AGRADECIMIENTO

Agradecemos al Ing. Ambiental Christian Andino, al Ing. Eléctrico Juan Padilla y abogado José Cristóbal Vásquez por brindar su apoyo y permitirnos realizar el trabajo de investigación dentro de la subestación Santa Fe, a cada de los catedráticos que compartieron sus conocimientos y experiencia a lo largo de este proceso de estudio.

A nuestro Asesor Ing. Luis Jiménez por guiarnos para esta investigación con un alto nivel de excelencia.

3 ÍNDICE DE CONTENIDO

1 DEDICATORIA ix
2 AGRADECIMIENTO x
3 ÍNDICE DE CONTENIDO xi
CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN 1
1.1 INTRODUCCIÓN 1
1.2 ANTECEDENTES DEL PROBLEMA 1
1.3 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA 2
1.3.1 ENUNCIADO DEL PROBLEMA 2
1.3.2 FORMULACION DEL PROBLEMA 3
1.3.3 PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN 4
1.4 OBJETIVOS DEL PROYECTO 4
Objetivo General: 4
Objetivos Específicos: 4
1.4 JUSTIFICACIÓN 5
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO 6
2.1 ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL. 6
2.1.1 Análisis del Macro-entorno 6
2.1.2 Análisis del Micro-entorno 8
2.1.3 Análisis Interno 10
2.2 CONCEPTUALIZACIÓN 13
2.3 TEORÍAS DE SUSTENTO 15
2.3.1 BASES TEÓRICAS 15
2.3.1.1 Ley General del Ambiente 15
2.3.1.2 Reglamento para el manejo integral de los residuos sólidos en Honduras 16
2.3.2 METODOLOGÍAS DESARROLLADA 17
2.3.2.1 Metodología Total Quality Management (TQM) 17
2.3.2.2 Ciclo PHVA 20
2.3.3 INSTRUMENTOS UTILIZADOS 22
2.3.3.1 Herramientas del Control de la Calidad 22
2.4 MARCO LEGAL 29

3. CAPÍTULO III. METODOLOGÍA 34
3.1 CONGRUENCIA METODOLÓGICA 34
3.1.1 CONCEPTUALIZACIÓN DE VARIABLES 35
Fuente: Elaboración propia. 42
3.1.4 OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES 43
3.2 HIPÓTESIS 46
3.3 ENFOQUE Y MÉTODOS 46
En la siguiente tabla se encuentra el detalle el tipo de los métodos, en enfoque de cada uno de ellos y en que se basa el método de investigación: 47
3.4 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN 50
3.4.1 POBLACIÓN 53
3.4.2 MUESTRA 55
3.4.3 TÉCNICAS DE MUESTREO 57
1. Unidad de Análisis 57
3.5 TÉCNICAS, INSTRUMENTOS Y PROCEDIMIENTOS APLICADOS 59
3.6 FUENTES DE INFORMACIÓN 60
3.6.1 FUENTES PRIMARIAS Y SECUNDARIAS 60
4 CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y ANÁLISIS 61
5 CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 94
5.1 CONCLUSIONES 94
5.2 RECOMENDACIONES 97
6. CAPÍTULO VI. APLICABILIDAD 99
6.1 NOMBRE DE LA PROPUESTA: Centro de Acopio para Almacenamiento de Residuos Peligrosos. 99
6.2 JUSTIFICACIÓN DE LA PROPUESTA CENTRO DE ACOPIO PARA ALMACENAMIENTO TEMPORAL DE RESIDUOS PELIGROSOS. 99
6.3 ALCANCE DE LA PROPUESTA 100
6.4 DESCRIPCIÓN Y DESARROLLO 101
6.4.1 DESCRIPCIÓN 102
6.4.2 DESARROLLO 102
6.5 MEDIDAS DE CONTROL 109

6.5.1 MEDIDAS DE CONTROL PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL CENTRO DE ACOPIO DE ACEITES DIELÉCTRICOS MINERALES USADOS (LIBRES DE PCB'S) 109
6.5.2 MEDIDAS DE CONTROL PARA LA OPERATIVIDAD DEL CENTRO DE ACOPIO 111
DE ACEITES DIELÉCTRICOS MINERALES USADOS (LIBRES DE PCB'S) 111
6.5.3 MEDIDAS DE CONTROL PARA EL MANTENIMIENTO PREVENTIVO DEL CENTRO DE ACOPIO DE ACEITES DIELÉCTRICOS MINERALES USADOS (LIBRES DE PCB'S 113
6.6 CRONOGRAMA DE IMPLEMENTACIÓN Y PRESUPUESTO 116
6.7 ENTRENAMIENTO: 121
6.8 GESTIÓN DE LA COMUNICACIÓN LA PROPUESTA 122
6.9 CONCORDANCIA DE LOS SEGMENTOS DE LA TESIS CON LA PROPUESTA 124
7 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 125
8 ANEXOS 126

TABLA DE ILUSTRACIONES

Ver Ilustración 1 Ubicación de Residuos-Desechos 6
Ilustración 2 Proceso de Manejo de Residuos. 11
Ilustración 3 Foda Empresa ENEE 13
Ilustración 4 Principios del TQM 19
Ilustración 5 Diagrama de Pareto primer nivel, defectos en la fábrica de botas. 23
Ilustración 6 Pareto de Segundo nivel defecto de bota 24
Ilustración 7 Ejemplo de histograma con sus delimitaciones. 24
Ilustración 8 Ejemplo de Hojas de verificación 26
Ilustración 9 Jerarquía en Marco Legal del Manejo de RS 29
Ilustración 10 Diagrama de flujo Esquema Metodológico. 49
Ilustración 11 Ubicación de las 88 Sub estaciones a Nivel Nacional 54
Ilustración 12 Ubicacion Sub Estacion Santa Fe. 56

Ilustración 13 Distribución de Instalaciones de Sub Estación Santa Fe´ 57
Ilustración 14 Tabla de Categorizacón de EIA 63
Ilustración 15 Matriz de Leopold 65
Ilustración 16 Matriz de Criterios Múltiples 67
Ilustración 17 Tabla Resumen Matriz de Criterios Múltiples 67
Ilustración 18 Relaciones que Caracterizan el Impacto Ambiental 68
Ilustración 19 Situación espacial de los doce símbolos de un elemento tipo 69
Ilustración 20 Tabla 4. Datos Básicos para la Valoración de Impactos Ambientales 72
Ilustración 21 Matriz MIIA 73
Ilustración 22 Matriz MIIA 79
Ilustración 23 Tabla Resumen Matriz MIIA 80
Ilustración 24 Etiqueta para barrriles con aceite 106
Ilustración 25 Sistema de Almacenamiento de Barriles 113
Ilustración 26 Ubicación de Residuos-Desechos 127
Ilustración 27 Derrame de aceite 130
Ilustración 28 Entrada de la subestacion electrica Santa Fe 130
Ilustración 29 berma contenedora de aceite en el transformador de potencia 130
Ilustración 30 Aisladores con aceite dielectrico libre de Pcb 130
Ilustración 31 Limpiadora (filtrador)de Aceite usado 131
Ilustración 32 Bidones con Aceite Dieléctrico 131
Ilustración 33 Acumulación de desechos a la intemperie 131

CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1 INTRODUCCIÓN

La Empresa Nacional de Energía Eléctrica (ENEE) es una empresa pública autónoma responsable de la generación, transmisión, distribución y comercialización del servicio de la energía eléctrica en Honduras. Fue creada mediante Decreto 48 de la Junta Militar de Gobierno el 20 de febrero de 1957, es uno de los entes estatales más relevantes de Honduras. Su desempeño impacta directamente en la competitividad del país, el bienestar social y el desarrollo económico.

La Empresa Nacional de Energía Eléctrica (ENEE) sigue siendo una empresa estatal estratégica. Continúa el proceso de reestructuración institucional, con apoyo de organismos internacionales; retomando la operación directa del sistema de distribución en 2023, tras finalizar el contrato con EEH. Se enfrenta al desafío de modernizar su sistema, reducir pérdidas (que aún superan el 30%) y promover las energías renovables.

1.2 ANTECEDENTES DEL PROBLEMA

El sistema eléctrico nacional de Honduras está compuesto por tres componentes fundamentales: generación, transmisión y distribución de energía eléctrica. La Empresa Nacional de Energía Eléctrica (ENEE) ha sido históricamente la entidad responsable de operar y administrar este sistema, desempeñando un papel estratégico en el desarrollo económico y social del país al garantizar el acceso a la energía eléctrica a la población y al sector productivo.

Dentro de la estructura del sistema eléctrico, las subestaciones eléctricas representan nodos esenciales que permiten la transformación de niveles de tensión, el seccionamiento de circuitos, la protección del sistema y la distribución eficiente de la energía. Actualmente existen 88 subestaciones eléctricas que funcionan como puntos intermedios entre las plantas generadoras y los consumidores finales, asegurando que la electricidad sea entregada con los niveles adecuados de tensión, frecuencia y calidad.

A partir del 2002 la ENEE empezó a cuantificar los desechos generados de las actividades de mantenimiento correctivo a sus sistemas eléctricos (subestaciones); identificando que algunos ya habían cumplido con su vida útil, a través del dictamen técnico emitido por el departamento de Mantenimiento de subestaciones de la ENEE, que concluye, que ese equipo no es funcional y entra

por lo tanto en condición de obsoleto, inservibles e irreparable.

La situación actual de los desechos dentro de las subestaciones, es que existen grandes cantidades de estos que no están totalmente contabilizados y se encuentran desperdigados a la intemperie, sin ningún tipo de manejo y control, entre los desechos más comunes que se pueden observar en el sitio de las subestaciones tenemos: transformadores de potencia, aceites dieléctricos, aisladores y baterías; todos estos productos del mantenimiento correctivo que se le realizan a estos sistemas.

Se estima que un 25% de los residuos no operativos (transformadores) ha sido repotenciado y vuelto al sistema, este porcentaje de reutilización se define en conjunto con los técnicos del Departamento de Mantenimiento de subestaciones y personal del taller electromecánico operado por técnicos especializados en el área. La ENEE a través de la gerencia de UTCD (Unidad Técnica de Coordinación de Distribución) desde el año 2022 ha contratado una empresa privada BTI (Bobinados Técnicos e Ingeniera) para realizar las pruebas técnicas a los transformadores y dictaminar la reparación o el descarte de estos.

Actualmente no se ha documentado el grado del impacto al ambiente sobre la presencia de estos desechos en las áreas de las subestaciones, desde el punto de vista ambiental, se podrían identificar dos tipos de impactos: a la salud humana y al ambiente (agua, aire y suelo); considerando como un impacto moderado a nivel de la salud humana ya que no ha existido evidencia de que un colaborador haya sufrido perjuicio en su salud a raíz de la exposición permanente a estas sustancias o residuos. En el tema ambiental el impacto es considerado como grave debido a que si existe evidencia que se han dado algunos incidentes en el manejo y custodia inapropiado de estos residuos, ya que no ha habido un manejo y disposición temporal adecuada.

1.3 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

1.3.1 ENUNCIADO DEL PROBLEMA

La problemática actual en las subestaciones existentes propiedad de ENEE, es que albergan materiales no operativos, tóxicos y peligroso, desde hace muchos años (20 años aprox.) los cuales provocan un impacto significativo en la salud y medio ambiente, dichos materiales se encuentran

esparcidos en los espacios físicos de dichas subestaciones sin ningún tipo de manejo y control.

Según datos consolidados y específicos sobre la cantidad exacta de desechos generados exclusivamente en las subestaciones eléctricas de Honduras. Los residuos en el sector eléctrico suelen incluir aceites dieléctricos, baterías y componentes metálicos, gestionados bajo normativas ambientales, con un enfoque general de 48,916 toneladas de residuos totales anuales en el país.

En la actualidad el 70% de los desechos de la ENEE equivalente a 34,241 .2 toneladas no se les ha dado una gestión final adecuada, sin embargo, a un 30 % 14,674.8 toneladas si se les ha dado esa gestión final sobre los desechos y materiales no operativos mediante procesos de subasta (venta) y tóxicos mediante recicladores certificados para la disposición final de material peligroso y tóxico.

La ENEE no cuenta con centros de acopio, acarreo, segregación, personal certificado (cuadrillas) y logística en general, que puedan manejar estos residuos y desechos de manera temporal.

A nivel de país, Honduras es signatario de convenios Internacionales y debido a que la ENEE es una empresa gubernamental, la falta de manejo de estos desechos, es causante de impactos a la economía del país, entre los cuales se pueden mencionar la suspensión de ayuda (préstamos y donaciones) y cooperación internacional (cooperación técnica).

La presencia física de estos residuos y desechos en los predios de las subestaciones son un tema complejo para la ENEE, por ser una empresa estatal y generadora a gran escala de estos residuos, debido a la falta de inventarios precisos de estos desechos provoca un atraso para poder realizar el descarte final de estos a través de la Dirección Nacional de Bienes del Estado (DNBE), a través de los mecanismos establecidos por esa Dirección.

La ENEE por la falta de manejo de sus residuos, ha sido objeto de quejas a nivel municipal y comunitario.

1.3.2 FORMULACION DEL PROBLEMA

La Empresa Nacional de Energía Eléctrica (ENEE) actualmente no cuenta con centros de acopio para el almacenaje temporal de los residuos, producto del mantenimiento de las sub estaciones eléctricas.

Los procesos de descargo de sus bienes son bastante engorrosos, lo que impide el descargue expedito de los mismos. Cabe mencionar que tampoco cuentan con inventarios que permitan la segregación y la disposición temporal de los residuos y desechos.

¿Es factible crear una propuesta de un sistema de gestión para el manejo de residuos y desechos derivados del mantenimiento de las subestaciones de la ENEE?

1.3.3 PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

1. ¿Existen condiciones para elaborar un inventario de residuos y desechos derivados del mantenimiento de subestaciones?
2. ¿Cuáles son los criterios para la segregación de los desechos derivados del mantenimiento de las subestaciones, basados en la toxicidad?
3. ¿Qué factores serían relevantes para la gestión adecuada de dichos desechos?
4. ¿Se pueden determinar costos de oportunidad por la existencia de los desechos?
5. ¿Es posible un sistema de gestión para el manejo de desechos derivados del mantenimiento de las subestaciones de la ENEE?

1.4 OBJETIVOS DEL PROYECTO

Objetivo General:

Proponer un modelo integral de gestión de desechos derivados del mantenimiento de las subestaciones eléctricas de la ENEE en Honduras, que contribuya a la sostenibilidad ambiental y al cumplimiento de la normativa vigente.

Objetivos Específicos:

1) Elaborar un inventario de los residuos y desechos generados en el mantenimiento de las subestaciones eléctricas de la ENEE.
2) Establecer criterios técnicos para la segregación de los desechos, considerando su grado de toxicidad y riesgos asociados.

3) Identificar los factores relevantes (ambientales, operativos, legales y económicos) que influyen en la gestión adecuada de los desechos.
4) Analizar los costos de oportunidad y posibles beneficios derivados de la adecuada gestión de los desechos.

5) Ddiseñar una propuesta de modelo de gestión integral de desechos aplicable a las subestaciones de la ENEE

1.4 JUSTIFICACIÓN

La falta de un proceso de manejo integral de residuos y de un presupuesto para su ejecución, ha ocasionado el mal manejo de los desechos no operativos de la ENEE, la cual con el manejo y disposición actual provocan daños al ambiente y la salud.

La ENEE es propietaria a nivel nacional de 88 subestaciones en las cuales se manejan transformadores, aceites, alambre, baterías que contienen ácidos y litios, plástico (carcasa de las baterías) en cantidades considerables ya que no cuenta con suficientes centros de acopio central, todos estos materiales no operativos, se encuentran en desorden y desperdigados en los planteles de las subestaciones a nivel nacional.

Vinculado a esta problemática existe un daño colateral a la economía del país ya que el mal manejo de estos residuos, ocasiona el incumplimiento de leyes y convenios nacionales e internacionales que limitan el otorgamiento de algunas ayudas y cooperación económica como técnica.

Otro aspecto económico es que actualmente ya existen sitios contaminados por derrames de aceites dieléctricos cuya remediación del suelo es bastante costoso y la ENEE no cuenta con presupuesto para llevarla a cabo.

Para los países industrializados en el mundo, parte de sus compromisos con el medio ambiente es la compra los bonos de carbono a países en vías de desarrollo para la reducción de su huella de carbono. Actualmente se están desarrollando programas ambientales como los bonos de carbono, mejoramiento de cuencas, convenciones internacionales en pro de emitir leyes que

reduzcan ellos impactos negativos al ambiente y salud humana.

Ver Ilustración 1 Ubicación de Residuos-Desechos

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1 ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL.

En este apartado de la investigación, es conveniente analizar la situación actual que atraviesa la Empresa Nacional de Energía Eléctrica respecto al manejo de desechos peligrosos derivados del mantenimiento de las subestaciones eléctricas.

Para el desarrollo de este análisis se consideran 3 enfoques; en primer lugar el macroentorno, de cómo los desechos peligrosos derivados del mantenimiento de subestaciones eléctricas han sido manejados a nivel global; en segundo lugar el microentorno, que con el apoyo de información externa se estudiará el enfoque en la industria eléctrica a nivel nacional de como se ha venido gestionando el manejo de los desechos peligrosos provenientes de los mantenimientos realizados en la subestaciones eléctricas. Y en el tercer enfoque, se analizará la situación actual sobre el manejo de los desechos peligrosos a nivel interno de la empresa.

2.1.1 Análisis del Macro-entorno

La gestión de los desechos sólidos es un problema universal que atañe a todo habitante del planeta. Y con más del 90 % de los desechos que se vierten o queman a cielo abierto en los países de ingreso bajo, son los pobres y los más vulnerables quienes se ven más afectados.

La gestión inadecuada de los desechos está produciendo la contaminación de los océanos del mundo, obstruyendo los drenajes y causando inundaciones, transmitiendo enfermedades, aumentando las afecciones respiratorias por causa de la quema, perjudicando a los animales que consumen desperdicios, y afectando el desarrollo económico.

Las ciudades, donde habita más de la mitad de los seres humanos y en las que se genera más del 80 % del producto interno bruto (PIB) del mundo, están en una posición de vanguardia en lo

que respecta a hacer frente al desafío de los desechos a nivel mundial.

Aun cuando no se cuenta con inventarios precisos al respecto, se calcula que en el mundo se generan anualmente alrededor de 350 a 400 millones de ton de desechos peligrosos. Una gran parte de ellos proviene de industrias que contribuyen en forma importante con la economía de las sociedades industriales. Entre ellas están las industrias metalúrgicas del hierro y del acero o de metales no ferrosos y la industria química. (Grupo Banco Mundial, 2018)

Uno de los países que genera grandes cantidades de desechos sólidos es Brasil, por sí sola, la ciudad de São Paulo, en Brasil, produce alrededor de 20.000 toneladas de residuos sólidos urbanos (RSU) diarias, de las cuales 12.000 son domiciliarias y 8.000 corresponden a la limpieza urbana, derivadas de las actividades de barrido y de restos de ferias callejeras, podas y desmalezamientos. Si se consideran únicamente las 12.000 toneladas que salen de los hogares, surge un promedio de aproximadamente un kilo de basura por habitante al día.

Hasta la actualidad Brasil ha ratificado varios tratados internacionales relacionados con los desechos, incluyendo el Convenio de Basilea sobre los desechos peligrosos, la Convención de Londres y el MARPOL para la prevención de la contaminación marina por desechos. A nivel nacional, su legislación principal es la Política Nacional de Residuos Sólidos (PNRS) que busca la gestión integral de los residuos sólidos, promoviendo la responsabilidad compartida y el cierre de vertederos, aunque el país aún enfrenta desafíos para cumplir con sus metas de disposición adecuada y reciclaje. (Revista Técnica de Medio Ambiente, 2024)

Alemania es uno de los líderes mundiales en la gestión de residuos. Todo gracias a un sistema integral que combina reciclaje, reutilización, reducción de residuos y la conversión de residuos en energía. Este enfoque no sólo minimiza el impacto ambiental, sino que también promueve la sostenibilidad y la responsabilidad ciudadana.

Al igual que varios países desarrollados de Europa, Alemania cuenta con plantas de conversión de residuos en energía (Waste-to-Energy, W2E) que son una parte integral de su gestión de residuos. Estas plantas transforman los residuos no reciclables en energía limpia, contribuyendo significativamente a la reducción de residuos en vertederos y a la generación de energía sostenible. (Pizarro, 2024).

La peligrosidad de tales desechos depende de su composición, ya que en la mayor parte de los

casos se trata de mezclas complejas que contienen diversos tipos de sustancias. De ahí la importancia de contar con métodos analíticos que permitan realizar su caracterización. Cabe señalar que en el comercio existen más de 100 000 sustancias, y que sólo para un número reducido de ellas se cuenta con información acerca de sus propiedades fisicoquímicas, su toxicidad y biodegradabilidad, aspectos que definen su peligrosidad para la salud humana y el ambiente.

Es en función de esas propiedades y de la forma en que se presentan los residuos, que se puede determinar su peligrosidad. Así, por ejemplo, residuos peligrosos en forma líquida pueden constituir un riesgo para los mantos freáticos si penetran a través de los suelos, en tanto que residuos particulados de pequeñas dimensiones pueden ser diseminados por el viento. En uno u otro caso, los residuos peligrosos pueden dar lugar a problemas transfronterizos si son arrastrados por agua o aire hacia países vecinos de los que los generaron.

Las implicaciones de la disposición inadecuada de los residuos peligrosos para la salud y el bienestar público, así como para el ambiente, han ido incrementando debido al crecimiento industrial a nivel mundial, por lo que el volumen de los desechos ha ido en incremento generando un impacto sinérgico a nivel local y mundial. (Grupo Banco Mundial, 2018)

2.1.2 Análisis del Micro-entorno

En Honduras parte de la energía eléctrica que dispone el País, se produce a través de centrales hidroeléctricas y centrales generadoras que queman combustibles (bunker, diésel, biomasa, biodiesel, etc.), Esta energía se transmite en forma de electricidad de alto voltaje, para la reducción de este alto voltaje se logra a través de los transformadores; cada transformador que vemos dentro de las subestaciones eléctricas son los que distribuyen en un voltaje menor a los consumidores finales (fabricas, industrias, hogares , instituciones de gobierno etc.) que pueden estar cerca o lejos de la planta generadora y que generalmente necesitan un voltaje más bajo.

El Gobierno de la República de Honduras se suscribió al convenio de Estocolmo vía Decreto No. 24-2004 y a través del Centro de Estudios y Control de Contaminantes (CESCCO), Dirección de la Secretaria de Recursos Naturales y Ambiente (SERNA), y actualmente punto Focal [2] del convenio de Estocolmo sobre COPs, y otros residuos de carácter peligrosos, Honduras nivel nacional ha dado inicio a realizar acciones específicas orientadas al cumplimiento de las

obligaciones establecidas en el convenio desde el año 2006.

En el periodo de 2006 al 2008, en el marco de elaboración del plan Nacional de Implementación (PNI) del convenio de Estocolmo, se desarrolló el primer inventario Nacional de Bifenilos policlorados (PCBs), identificando la Fuente, condiciones y existencias de transformadores en el país.

Este inventario se realizó a nival nacional cubrió el 72% de los 18 Departamentos del país, dado que se priorizo el subsector eléctrico Nacional, el mayor porcentaje (93.8%) de los equipos evaluados correspondido a transformadores de distribución y de potencia, siendo los equipos de mayor uso a nivel nacional y propensos de tener PCBs; todos estos equipos son propiedad de la ENEE.

A parte de la ENEE, existen otras empresas en el País que al igual que la ENEE, generan, transmiten y distribuyen energía eléctrica de manera privada, entre ellas tenemos a las empresas: Solartia, Luffusa, Enersa, comercial Laeiz, que igual que la ENEE, generan desechos peligrosos.

Los desechos peligrosos que la ENEE ha identificado se han agrupado en 3 categorías

- Líquidos
- Solidos
- Suelos contaminados

Se ha observado que los colaboradores de estas empresas pueden estar expuestas a estos desechos peligrosos de distintas maneras, para el caso, el trabajador se puede ver expuesto cuando manipula los equipos, aceites y superficies contaminadas sin ningún tipo de protección personal, asimismo las personas pueden estar expuestas cuando el contaminante es liberado accidental o deliberadamente al ambiente, contaminando distintos medios como ser suelo, agua (superficial y subterránea) y aire, así como edificaciones y superficies en general.

Para cumplir con los compromisos establecidos por el convenio de Estocolmo es necesario identificar y clasificar sus residuos peligrosos (aceites dieléctricos, ácidos de baterías y porcelanas). Y darles una disposición final ante el gestor final. (empresa certificada para el

tratamiento de residuos peligrosos).

2.1.3 Análisis Interno

Desde su creación en el año 1957 la ENEE, ha utilizado para su operación de generación, transmisión, distribución y comercialización diversos tipos de materiales peligrosos y no peligrosos, pero, no se ha llevado un control efectivo más riguroso de las sustancias y materiales tóxicos o peligrosos.

En la actualidad el modelo de gestión que se ha implementado y utilizado ha sido la eliminación a través de las subastas públicas bajo la Dirección de Bienes Nacionales del Estado (DNBE) y las autoridades internas de la Empresa como ser auditoria, asesoría legal, transparencia, medio ambiente, administración, el centro de estudios y control de contaminantes (CESCCO), observando la ley general del ambiente, el debido proceso y demás leyes del país, sin contar con un modelo de gestión adaptado a residuos eléctricos y electrónicos.

Entre los materiales con mayor peligrosidad que se dan en la ENEE, se pueden mencionar los transformadores contaminados con aceite dieléctrico, el ácido de las baterías y los aisladores (de cerámica).

En la siguiente tabla se muestra la clasificación de los residuos y el tipo de disposición final que se le da actualmente a cada uno de ellos.

Nombre del Residuo	Clasificación del Residuo	Tipo de Disposición Final
Residuos peligrosos no aprovechables (Aisladores).	Peligrosos	Recicladora calificada por la SERNA
Baterías (ácido sulfúrico)	Peligrosos	Residuo comercializable
Bidones/tambores	Peligrosos	Residuo comercializable
Aceite dieléctrico	Peligrosos	Recicladora calificada por la SERNA

A continuación, se presenta el proceso actual para el manejo de los residuos peligrosos producto del mantenimiento de las sub estaciones en la ENEE.

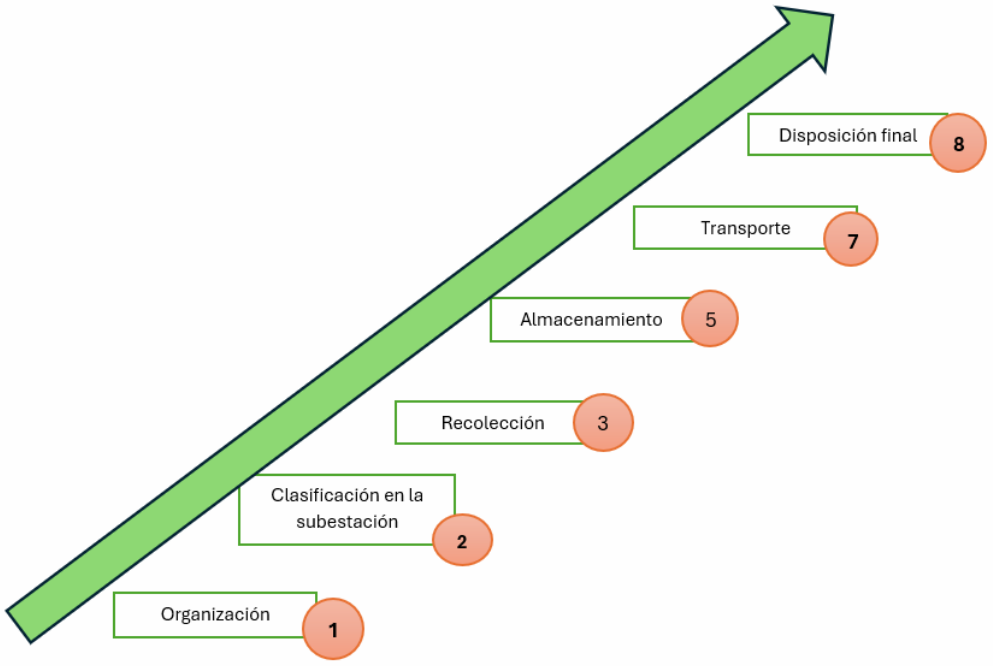


Ilustración 2 Proceso de Manejo de Residuos.

Fuente: Elaboración propia

Disposición Temporal en las yardas de las Subestaciones: Los residuos que surgen del mantenimiento de las subestaciones, se almacenan temporalmente dentro de las yardas, ya que no se cuenta con centros de acopio para su almacenamiento seguro.

Clasificación en la Subestación: Es necesaria la segregación de estos desechos, el equipo de la ENEE realiza el trabajo de separación de estos elementos, con el fin de darles una disposición final.

Recolección: Residuos peligrosos recolectados por una Empresa Operadora de Residuos Sólidos (EO-RS) autorizada por el organismo competente. Por cada operación de recojo de residuos peligrosos, la EO-RS emite manifiestos de residuos sólidos por cada tipo de residuo

recolectado.

Almacenamiento: Los residuos de acuerdo al tipo son dirigidos al depósito principal para su correcta disposición, los aceites se almacenan en bidones o barriles, las baterías se dejan dentro de la sala de baterías y los aisladores se mantienen en una yarda especifica de la subestación (generalmente sobre el suelo).

Transporte: El transporte de los residuos de la ENEE se realiza a través de la empresa ofrece el servicio de la disposición final de los desechos.

Disposición Final: La Unidad de Activo fijo es responsable de coordinar la disposición final de los residuos no comercializables, según corresponda con la empresa recicladora o relleno sanitario.

El contexto interno y externo de la Empresa Nacional de Energía Eléctrica (ENEE) está definido mediante un análisis de fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas (FODA). Dicho análisis fue realizado a través de fuentes internas y externas, al nivel interno de la ENEE se analizó la información proporcionada por el Departamento de planificación estratégica, Departamento Legal, Dirección de Medio ambiente, Departamento de Activos Fijos, a nivel externo se analizó información de la secretaria de Energía (SEN), secretaria de Recursos Naturales y Ambiente, Dirección Nacional de Cambio Climático, Centro de Estudios y control de Contaminantes.

El FODA fue desarrollado a través del análisis de la interacción de la ENEE con los organismos externos identificando las oportunidades de mejora de la ENEE con respecto a la gestión administrativa con dichas instituciones, a nivel interno se identificaron las fortalezas y debilidades a lo interno de la ENEE, este FODA fue realizado por Linda Maldonado y Pamela Arias, en fecha 22 de agosto del año 2025.

Ilustración 3 Foda Empresa ENEE

Fuente: Elaboración Propia.

2.2 CONCEPTUALIZACIÓN

- **Medio Ambiente:** El Reglamento Sistema Nacional De Evaluación Impacto Ambiental define Medio Ambiente como "el sistema de elementos bióticos, abióticos, socioeconómicos, 45 culturales y estéticos que interactúan entre sí en permanente modificación por la acción humana o natural y que afectan o influyen sobre las condiciones de vida de los organismos incluyendo al ser humano." (La Gaceta, 2002).

- **Impacto Ambiental:** Reglamento de Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental define que los Impactos Ambientales es cualquier alteración significativa,

positiva o negativa, de uno o más de los componentes del ambiente, provocados por acción de los seres humanos o fenómenos naturales en un área de influencia definida. (La Gaceta, 2002)

- **EIA significa Evaluación de Impacto Ambiental** y el Reglamento de Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental define que "es el proceso de análisis que sirve para identificar, predecir y describir los posibles impactos positivos y negativos de un proyecto propuesto, así como proponer las medidas de mitigación para los impactos negativos y un plan de control y seguimiento periódico". (La Gaceta, 2002)
- **Desecho:** Es aquello que queda después de haber escogido lo mejor y más útil de algo. Cosa que, por usada o por cualquier otra razón, no sirve a la persona para quien se hizo. Residuo, basura. (Martínez, 2005, pág. 15)
- **Residuos Peligrosos:** Son aquellos residuos que, debido a sus peligros intrínsecos, por ejemplo, ser corrosivos, reactivos, explosivos, tóxicos, inflamables, pueden causar daños o efectos indeseados a la salud o al ambiente. (MinAmbiente, 2019)
- **Subestación eléctrica:** Son instalaciones encargadas de realizar transformaciones de tensión, frecuencia, número de fases o conexiones de dos o más circuitos. (Fundacion Endesa, 2025)
- **Sistema de Gestión:** Es un conjunto de procesos, políticas, procedimientos y herramientas que se utilizan para administrar y mejorar continuamente una organización en una determinada área de su actividad. (Instituto de Seguridad y Bienestar Laboral, 2023)
- **Gestión Ambiental:** La gestión ambiental es un proceso que está orientado a resolver, mitigar y/o prevenir los problemas de carácter ambiental, con el propósito de lograr un desarrollo sostenible. (RED DE DESARROLLO SOSTENIBLE, 2015)

2.3 TEORÍAS DE SUSTENTO

2.3.1 BASES TEÓRICAS

2.3.1.1 Ley General del Ambiente

La Ley General del Ambiente de Honduras (Decreto No. 104-1993) es el conjunto de normas que establece el marco legal para la gestión, conservación, protección, restauración y aprovechamiento sostenible del medio ambiente y los recursos naturales del país.

Su objetivo es garantizar el derecho de toda persona a vivir en un ambiente saludable, fomentar la participación ciudadana en la toma de decisiones ambientales, prohibir la introducción de desechos tóxicos y regular las actividades con impacto ambiental, con la creación de la Secretaría de Estado en el Despacho del Ambiente (SERNA) como su principal autoridad.

Según el artículo 1 de la Ley General del Ambiente; La protección, conservación, restauración y manejo sostenible del ambiente y de los recursos naturales son de utilidad pública y de interés social.

El Gobierno Central y las municipalidades propiciarán la utilización racional y el manejo sostenible de esos recursos, a fin de permitir su preservación y aprovechamiento económico.

El interés público y el bien común constituyen los fundamentos de toda acción en defensa del ambiente; por tanto, es deber del Estado a través de La protección, conservación, restauración y manejo sostenible del ambiente y de los recursos naturales son de utilidad pública y de interés social.

Residuos sólidos y orgánicos, Artículo 66. Los residuos sólidos y orgánicos provenientes de fuentes domésticas, industriales o de la agricultura, ganadería, minería, usos públicos y otros, serán técnicamente tratados para evitar alteraciones en los suelos, ríos, lagos, lagunas y en general en las aguas marítimas y terrestres, así como para evitar la contaminación del aire.

Artículo 67. Corresponde a las municipalidades en consulta con la Secretaría de Estado en el Despacho de Salud Pública u otros organismos técnicos, adoptar un sistema de recolección, tratamiento y disposición final de estos residuos, incluyendo las posibilidades de su reutilización o reciclaje.

2.3.1.2 **Reglamento para el manejo integral de los residuos sólidos en Honduras**

El reglamento oficial y vigente para el manejo integral de los residuos sólidos en Honduras es el Acuerdo N.º 1567-2010, publicado en La Gaceta el 22 de febrero de 2011. Este acuerdo establece la normatividad para la prevención, reducción, almacenamiento, transporte, tratamiento y disposición final de los residuos, fomentando su aprovechamiento para proteger la salud y el ambiente.

Según el artículo 20 del Reglamento, las características de peligrosidad de los residuos sólidos estarán establecidas de la siguiente forma:

a) Los que poseen características de peligrosidad para la salud:

- Tóxicas: las sustancias que, por inhalación, ingestión o penetración cutánea en pequeñas cantidades, provocan la muerte o efectos agudos o crónicos para la salud.

b) Dentro de los principales efectos al ambiente se encuentran:

- Tóxicos para el fitoplancton y zooplancton
- Se incorporan a la cadena trófica pasando de organismo en organismo.
- Se bioacumulan y ejercen su efecto tóxico en invertebrados acuáticos, peces, aves, mamíferos acuáticos y terrestres.
- Ocasionan cambios en la estructura de los ecosistemas acuáticos
- Afectan el comportamiento, los niveles hormonales (disruptores endocrinos), el crecimiento y reproducción de los organismos consumidores en la cadena trófica, ósea de los animales.

Artículo 21. La gestión integral de los residuos sólidos especiales comprende las siguientes etapas:

- Prevención
- Reducción, reutilización y reciclaje (Capítulo VIII de este Reglamento)
- Almacenamiento y acondicionamiento
- Transporte

- Tratamiento
- Disposición final

Cuando los aceites dieléctricos se liberan al ambiente, pueden migrar a los suelos y aguas subterráneas y pueden ser arrastrados por las aguas superficiales, corrientes marinas y lo vientos a otras regiones.

Los aceites poseen la capacidad de mantenerse inalterados en el ambiente por largos periodos de tiempo, lo que se denomina ¨persistencia¨ de ahí que una vez liberados al ambiente pueden propagarse ampliamente como resultado de procesos naturales en los que intervienen en el suelo, el agua y el aire.

Por lo tanto, hay impactos locales significativos para el medio ambiente, así como impactos globales derivados del manejo inadecuado de los residuos. Las propiedades físicas de los aceites y ácidos facilitan su movimiento a nivel global, dado que tienen la capacidad de transporte y de dispersarse.

Como resultado de este transporte hay presencia de estos desechos en todas en las matrices ambientales (aire, suelo, sedimentos, agua, fauna y flora).

2.3.2 METODOLOGÍAS DESARROLLADA

En este aparatado se platean las metodologías que se utilizaran en la presente tesis, el enfoque de esta investigación es mixto, cualitativo y cuantitativo, esta metodología se realiza en una empresa dedicada a prestar el servicio de energía eléctrica a nivel nacional, la cual tiene su sede principal en la ciudad de Tegucigalpa, Francisco Morazán, Honduras.

2.3.2.1 Metodología Total Quality Management (TQM)

La gestión de calidad total (TQM) es un método de gestión de calidad con un enfoque holístico y considera tanto los objetivos corporativos como los requisitos legales en todos los niveles de una empresa con la participación de todos los empleados. (GBTEC, 2025)

La norma ISO 9001:2015 asegura la existencia de procedimientos y métricas para identificar y corregir errores a tiempo, mientras que TQM se integra como una como una metodología de mejora continua en búsqueda de la excelencia. (GBTEC, 2025)

Este enfoque se complementa con los requisitos de la norma ISO 9001:2015 ya que fortalece la cultura de calidad, donde se involucra a cada área y personas para minimizar los defectos, optimizar procesos y satisfacer al cliente. La metodología TQM se enfoca en la prevención de errores y no en la corrección de los mismos. ((Thomas L. Wheelen, 2013),

TQM tiene 5 aspectos relevantes:

1. Satisfacción del cliente: todos los empleados deben ser conscientes de que su trabajo existe por las necesidades del cliente, por lo que las actividades deben ejecutarse en términos de la satisfacción del cliente.
2. Clientes internos y externos: establecer el concepto de los clientes internos y externos, donde se identifique por departamento los clientes internos dentro de la organización. así
3. Medición de variables criticas: identificar y capacitar a los empleados para saber que medir, como tomar datos y como interpretarlos, ya que TQM establece como regla que solo se puede mejorar lo que se puede medir.
4. Mejora continua de productos y servicios: el monitoreo de operaciones para mejorar los productos y servicios.
5. Relaciones de trabajo basadas en la confianza y el trabajo en equipo: delegar autoridad y emplear confianza en los empleados, que sean parte de la toma de decisiones para cumplir con las metas.

A su vez TQM cuenta con 8 principios que promueven la integración de todos los empleados en la mejora continua (GBTEC, 2025)

1. **Centrarse en el cliente**: El cliente determina el nivel de calidad. Si los clientes están satisfechos, las mejoras son efectivas.
2. **Participación del empleado**: Todos los empleados (todas las funciones en todos los

niveles) están involucrados en los objetivos de la organización y la mejora continua.

3. **Orientado a los procesos**: Concéntrese en los procesos comerciales, incluidos todos los pasos de trabajo individuales y el monitoreo persistente.
4. **Sistema integrado**: Los departamentos estructurados verticalmente se relacionan con los procesos comerciales horizontales.
5. **Enfoque estratégico y sistemático**: Combinación de un enfoque estratégico y sistemático para hacer realidad las visiones y los objetivos de una empresa.
6. **Toma de decisiones basada en hechos**: TQM requiere que una organización recopile y analice datos continuamente para aumentar la precisión de las decisiones, generar consenso y hacer predicciones basadas en el pasado.
7. **Comunicación**: Comunicación eficaz para mantener la moral y la motivación de los empleados en todos los niveles. La comunicación implica, estrategias, métodos e información siempre actualizada.
8. **Mejora continua**: La mejora continua impulsa a una empresa a ser tanto analítica como creativa para volverse más competitiva y eficiente en el cumplimiento de las expectativas de las partes interesadas.

Ilustración 4 Principios del TQM

Fuente: (GBTEC, 2025)

2.3.2.2 Ciclo PHVA

El ciclo Planificar-Hacer-Verificar-Actuar (PHVA) o ciclo de Deming se originó en la década de 1950, cuando el experto en gestión de calidad W. Edwards Deming amplio la idea del Control Estadístico de Procesos (CEP) de Walter Shewhart.

Deming en 1950, a la edad de 49 años, se trasladó a Japón donde sus estudios fueron muy bien recibidos y enseñó a los administradores, ingenieros y científicos japoneses cómo producir productos y servicios de calidad. También en este año, el JUSE, unión de científicos e ingenieros japoneses, le hacen una invitación para dictar una serie de charlas, conferencias y seminarios en Japón acerca de sus experiencias y conocimientos con el Control de Calidad. Es en este momento cuando el Ciclo de Deming o círculo PDCA llega a alcanzar su importancia.

Deming se convirtió, aún después de su muerte, en el "padre de la Calidad Total" y el pionero y profeta de la Calidad Total, TQM (Total Quality Management). Dedicaría muchos años a revolucionar el mundo industrial japonés, revirtiendo las consecuencias de la Segunda Guerra Mundial y convirtiéndolo en una potencia mundial aplicó el método científico de resolución de problemas para mejorar los procesos y la calidad, y lo enseñó a ingenieros japoneses. En ese momento, Japón se encontraba en la etapa de reconstrucción industrial tras la Segunda Guerra Mundial (ISO, 2015).

El ciclo PHVA de mejora continua lo componen cuatro etapas cíclicas de forma que una vez acabada la etapa final se debe volver a la primera y repetir el ciclo de nuevo. De esta forma las actividades son revaluadas periódicamente para incorporar nuevas mejoras. Las etapas que forman el Ciclo PHVA son las siguientes:

1. **PLAN (planificar):**

En esta fase se trabaja en la identificación del problema o actividades susceptibles de mejora, se establecen los objetivos a alcanzar, se fijan los indicadores de control y se definen los métodos o herramientas para conseguir los objetivos establecidos.

Una forma de identificar estas mejoras puede ser realizando grupos de trabajo o bien buscar nuevas tecnologías o herramientas que puedan aplicarse a los procesos actuales.

2. **DO (hacer/ejecutar):**

Llega el momento de llevar a cabo el plan de acción, mediante la correcta realización de las tareas planificadas, la aplicación controlada del plan y la verificación y obtención del feedback necesario para el posterior análisis.

En numerosas ocasiones conviene realizar una prueba piloto para probar el funcionamiento antes de realizar los cambios a gran escala. La selección del piloto debe realizarse teniendo en cuenta que sea suficientemente representativo, pero sin que suponga un riesgo excesivo para la organización.

3. **CHECK (comprobar/verificar):**

Una vez implantada la mejora se comprueban los logros obtenidos en relación a las metas u objetivos que se marcaron en la primera fase del ciclo mediante herramientas de control

Para evitar subjetividades, es conveniente definir previamente cuáles van a ser las herramientas de control y los criterios para decidir si la prueba ha funcionado o no.

4. **ACT (actuar):**

Por último, tras comparar el resultado obtenido con el objetivo marcado inicialmente, es el momento de realizar acciones correctivas y preventivas que permitan mejorar los puntos o áreas de mejora, así como extender y aprovechar los aprendizajes y experiencias adquiridas a otros casos, y estandarizar y consolidar metodologías efectivas.

En el caso de que se haya realizado una prueba piloto, si los resultados son satisfactorios, se implantará la mejora de forma definitiva, y si no lo son habrá que decidir si realizar cambios para ajustar los resultados sin desecharla.

Algunos de los beneficios que proporcionan una adecuada mejora de procesos son los siguientes:

- TIMMING: se disminuyen tiempos, aumentando la productividad.
- QUALITY: se disminuyen errores, ayudando a prevenirlos.

- COST: se disminuyen recursos (materiales, personas, dinero, mano de obra, etc.), aumentando la eficiencia.

En conclusión, un sistema de gestión de la calidad aprueba una organización para desarrollar políticas, establecer objetivos y procesos, y tomar las decisiones para mejorar su rendimiento. La utilización de la metodología PDCA impulsada por Deming, ayuda a la empresa a revelarse a sí misma y cambios para hacerla más eficaz y competitiva.

El ciclo Deming es utilizado entre otras cosas para la mejora continua de la calidad dentro de una empresa. El ciclo consiste en una secuencia lógica de cuatro pasos repetidos que se deben de llevar a cabo consecutivamente. Estos pasos son: Planear, Hacer, Verificar y Actuar. Dentro de cada uno de los pasos se puede identificar algunas actividades a llevar a cabo, a continuación, agrego algunas que espero y te sirvan de guía.

Para poder utilizarlo en realidad no se necesitan muchos requisitos. Muchas veces el mismo Dr. Deming usaba una servilleta y una pluma para poder explicárselo a sus alumnos. Si bien podemos caer en la tentación de decir "que la herramienta no presenta un grado de dificultad alto", no por eso significa que la herramienta no sea poderosa.

Se concluye que el mejoramiento continuo es una continua búsqueda de problemas y sus soluciones, medios o recursos. Por lo cual debemos razonar que el concepto primordial del ciclo es que nunca termina.

2.3.3 INSTRUMENTOS UTILIZADOS

2.3.3.1 Herramientas del Control de la Calidad

En el libro *Control Estadístico de Calidad y Seis Sigma* de Pulido & Vara Salazar (2009), presentan herramientas clave del control estadístico que son esenciales para la implementación de proyectos con un enfoque Seis Sigma. Estas herramientas serán fundamentales para el desarrollo de esta investigación. A continuación, se ofrece una descripción.

- Diagrama de Pareto

Pulido & Vara Salazar, (2009), refieren el diagrama de Pareto como una herramienta estadística que ayuda a priorizar causas raíz y atacar aquellas que generan un mayor impacto sobre

el problema, el principio de Pareto mejor conocido como “Ley 80 20” se refiere a que pocos elementos el 20% generan la mayor parte del defecto el 80%.

Para el uso de esta herramienta se requiere un análisis crítico para evitar tomar decisiones precipitadas por ello se recomienda hacer un doble Pareto.

Pareto de primer nivel: Se refiere a un Pareto para problemas, aquí se pretende clasificar dentro de los problemas de calidad aquel que tiene mayor impacto para la organización, como ejemplo:

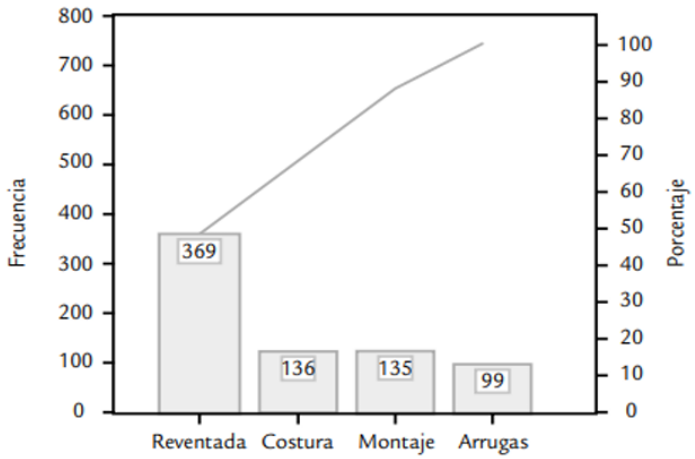


Ilustración 5 Diagrama de Pareto primer nivel, defectos en la fábrica de botas.

Fuente: (Pulido & Salazar, 2009)

En este Pareto se puede entender que el defecto de calidad mayor en el proceso de fabricación de botas es por botas reventadas.

Pareto de Segundo Nivel: Pareto para causas, aquí se pretende orientar a la búsqueda de las causas, siguiendo el ejemplo anterior, se debe preguntar si este defecto se presenta con misma intensidad en todos los modelos, materiales, turnos y maquinas. Por lo que a continuación se estratifico el defecto por modelo de bota y se encontró lo siguiente:

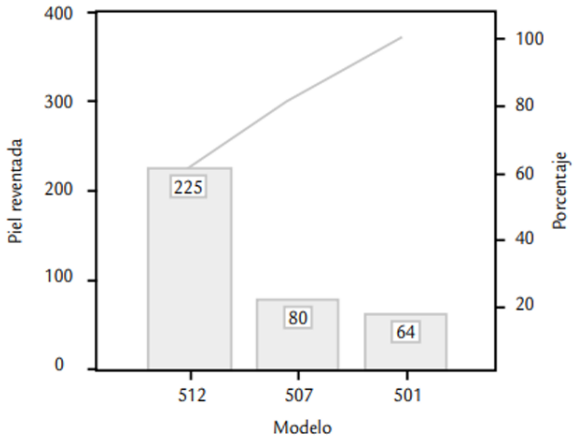


Ilustración 6 Pareto de Segundo nivel defecto de bota

Fuente: (Pulido & Salazar, 2009)

Como puede observarse este defecto se da en mayor frecuencia en el modelo 512. De esta forma es como se debe realizar un análisis con el diagrama de Pareto enfocándose en problemas y causas. En general se recomienda lo siguiente:

a) El problema se clasifica en función de categorías como ser: modelo, tamaño, maquina, turno, etc. Cada categoría genera un diagrama.

b) Siempre se recomienda hacer un Pareto de problema y después continuar con un Pareto de causas.

- Histograma.

El histograma es una representación gráfica en forma de barras de la distribución de un conjunto de datos y este se obtiene de la tabla de frecuencias.

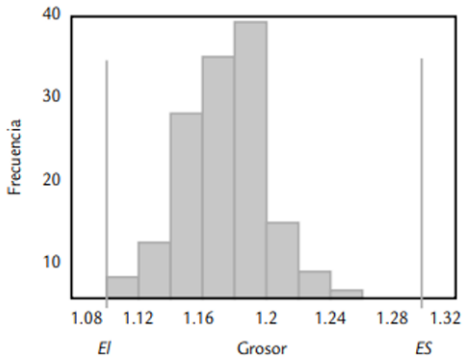


Ilustración 7 Ejemplo de histograma con sus delimitaciones.

Fuente: (Pulido & Salazar, 2009)

El histograma ayuda a ver la tendencia central de los datos lo que contribuye a la toma de decisiones para hacer ajustes en el proceso. Interpretación del histograma:

a) Observar la tendencia central de los datos, en el histograma anterior la mayor parte de los datos se centra entre 1.14 y 1.20.

b) Estudiar el centrado del proceso, con base en el punto anterior es necesario observar la posición central del cuerpo del histograma con respecto a las especificaciones optimas, pues aun cuando se cumplen las especificaciones la calidad que se produce no es buena.

c) Examinar la variabilidad del proceso, aquí se compara la amplitud de las especificaciones con el ancho del histograma.

d) . Analizar la forma del histograma, por lo general debe de seguir la forma de la campana de gauss al tener una distribución normal, si no tiene esta forma es seguro que están ocurriendo eventos importantes en el proceso, las formas típicas que no siguen una distribución normal son:

    - Distribución sesgada, donde se observa la distribución de los datos para un solo lado de las especificaciones.
    - Distribución bimodal donde claramente se notan 2 modas que muestran dos tendencias centrales diferentes.
    - Distribución con acantilados, se observa como suspensión o corte en la distribución.

e) Datos raros o atípicos, se observa como una o más barras pequeñas separadas o aisladas del resto, puede deberse a datos erróneos o a un evento raro o especial.

- **Hoja de verificación**

Es un formato construido para la recolección de datos de forma que su registro sea sencillo y que se pueda analizar visualmente los datos obtenidos. Su finalidad es fortalecer el análisis y la medición del desempeño de los diferentes procesos de una empresa.

TABLA 6.3 Hoja de verificación del tipo: defectos y posibles causas.

HOJA DE VERIFICACIÓN PARA DEFECTOS EN VÁLVULAS

Periodo: _____ Departamento: _____

MODELO DE PRODUCTO	ZONA DEL MOLDE		
	ZONA 1	ZONA 2	ZONA 3
A	ooo xxx ++	ooooo xx ++ //	oooooooooo xxxxxx /
B	oooo xx +++ /	ooooo xxxxx /	oooooooooo xxxxxxx ++
C	ooooo x +	oooo xxx	oooooooo xxxxx /
D	oooo xx ++ //	oooooo xxx /	oooooooooooo xxxxx ++++

Códigos para defectos: o porosidad, + maquinado, x llenado, / ensamble

Ilustración 8 Ejemplo de Hojas de verificación

Fuente: (Pulido & Salazar, 2009)

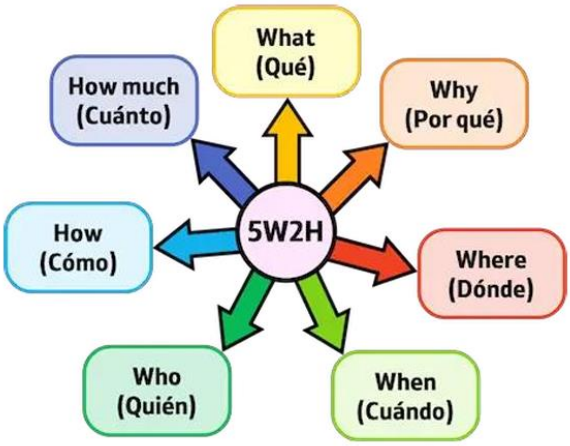
- **Mapeo de Procesos**

Consiste en hacer un diagrama de flujo que refleje todas las actividades que se realizan en el proceso. En esta herramienta se pueden especificar los siguientes detalles:

- Variables de salida y entrada de cada proceso.
- Pasos que agregan y los que no agregan valor al proceso.
- Listar y clasificar las entradas clave en cada paso.
- Especificaciones de operaciones actuales.

- **5W+2H**

Las 5W+2H es una estructura periodística basada en 7 palabras claves: que, quien, donde, cuando, cuanto como. Como metodología de investigación está enfocada en a conducir y orientar el problema.



- **Recogida de datos:**

Para la obtención de datos que aporten conocimiento sobre las condiciones actuales de la organización existen diversas técnicas entre las cuales se pueden mencionar:

Los cuestionarios son una de las técnicas de recolección de datos más utilizadas, ya que pueden llevarse a cabo tanto física como digitalmente para recopilar datos cuantitativos a través de encuestas y datos cualitativos a través de entrevistas y encuestas cualitativas. Los cuestionarios son una parte fundamental de las encuestas, y debido a que son baratos de crear y responder, son una opción muy accesible tanto para los investigadores como para sus corresponsales o encuestadores de campo. (Narvaez, 2025)

Por lo general, los cuestionarios se utilizan para recoger respuestas sobre un acontecimiento o tema. Las respuestas recogidas pueden servir de base para la mejora de productos, matrices de toma de decisiones o estudios posteriores. (Narvaez, 2025)

Una entrevista se define exactamente como un encuentro formal entre dos individuos en el que el entrevistador hace preguntas al entrevistado para recabar información. Existen

diferentes tipos de entrevista: (Narvaez, 2025)

- **Estructurada:** Es aquella que se compone de un cuestionario con una lógica diseñada especialmente para responderse de manera concreta.
- **Semiestructurada:** Es una técnica de recolección de datos en la cual se utiliza una serie de preguntas guía para orientar el tema de la conversación, pero no necesariamente se sigue al pie de la letra.
- **No estructurada:** Es un tipo de entrevista en la cual no se sigue un cuestionario o guía de preguntas, sino que busca generar una conversación espontánea en torno al tema de interés. Generalmente se usa en la investigación exploratoria para identificar temas que puedan ser de valor para los sujetos, sin el sesgo de las teorías de investigación.

2.4 MARCO LEGAL

En Honduras, el marco legal asociado a la gestión de residuos se encuentra disperso en varias instituciones y cuerpos legales (leyes, reglamentos, políticas e incluso manuales). Es importante señalar que la gestión de residuos tiene un marco legal básico;

El marco legal en materia de residuos está construido acorde con una jerarquía en cuya cúspide se encuentra la Constitución de la República, específicamente su artículo 145 (en el que se reconoce el derecho a la protección de la salud y se establece el deber de participar en la promoción y preservación de la salud personal y de la comunidad, y que el Estado conservará el medioambiente adecuado para proteger la salud de las personas). En el segundo nivel se encuentran los tratados internacionales relacionados con la materia. Luego se establecen las leyes generales, los reglamentos y, por último, las resoluciones y dictámenes que emitan los organismos competentes en materia de residuos y los planes de arbitrios y ordenanzas que dicten las municipalidades.

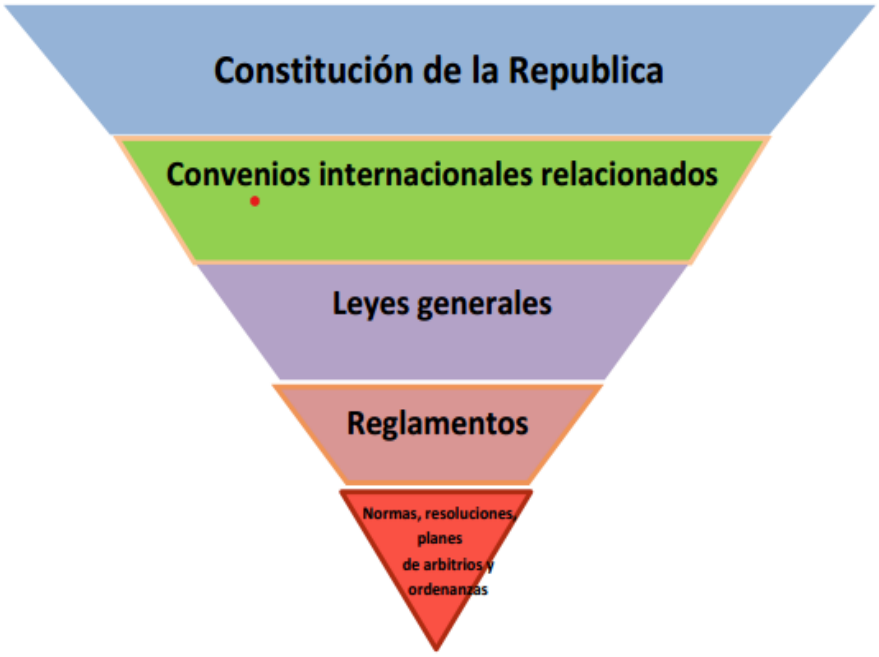


Ilustración 9 Jerarquía en Marco Legal del Manejo de RS

I. Constitución y tratados internacionales

.

Tratado / Convenio Internacional	Año de Adopción	Año de Ratificación por Honduras	Descripción / Alcance	Aplicación práctica en empresa de energía
Convenio de Basilea sobre el Control de los Movimientos Transfronterizos de Desechos Peligrosos y su Eliminación	1989	1995	Regula importación, exportación y gestión de desechos peligrosos.	Si la empresa exporta aceites usados, baterías o químicos, debe cumplir con autorización del Estado y normas internacionales.
Convenio de Estocolmo sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes (COPs)	2001	2005	Busca eliminar o restringir contaminantes orgánicos persistentes (dioxinas, furanos, PCBs).	Prohíbe o controla el uso y disposición de aceites con PCBs y emisiones de dioxinas de procesos de combustión.
Convenio de Rotterdam sobre el Procedimiento de Consentimiento Fundamentado Previo (PIC)	1998	2005	Regula comercio internacional de ciertos plaguicidas y productos químicos peligrosos.	Aplica si la empresa importa químicos peligrosos para operaciones o mantenimiento.
Convenio de Minamata sobre Mercurio	2013	2016	Regula producción, uso, comercio y eliminación de mercurio y productos con mercurio.	Controla el manejo y disposición de lámparas fluorescentes, baterías y equipos con mercurio usados en instalaciones.
Convenio de Viena para la Protección de la Capa de Ozono y Protocolo de Montreal	1985 / 1987	1993	Obligan a reducir y eliminar el uso de sustancias que agotan la capa de ozono (SAOs), como CFCs y HCFCs.	Impacta en sistemas de refrigeración y aires acondicionados de la empresa (manejo de gases refrigerantes).
Convenio Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) y Acuerdo de París	1992 / 2015	1995 / 2016	Compromete a Honduras a reducir emisiones de GEI y promover energías limpias.	Refuerza la obligación de la empresa de incorporar tecnologías más limpias y planes de reducción de emisiones.
Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB)	1992	1994	Conservación de biodiversidad y uso sostenible de recursos naturales.	La empresa debe mitigar impactos de residuos en ecosistemas cercanos a plantas o líneas de transmisión.

Fuente: Elaboración Propia

II. Códigos y leyes

Ley	Artículo(s) clave	Descripción / Alcance	Decreto y Año	Aplicación práctica en empresa de energía
Ley General del Ambiente	Art. 66–69; 74–78	Ley marco ambiental: tratamiento técnico de residuos, obligación municipal de sistemas de recolección, manejo de residuos peligrosos, promoción de reciclaje y reducción en la fuente.	Decreto 104-93 (1993)	Base para planes de manejo de residuos sólidos y peligrosos en plantas de generación.
Ley de Municipalidades	Art. 11; 22	Competencia municipal sobre recolección, transporte, tratamiento y disposición final de residuos sólidos en su jurisdicción.	Decreto 134-90 (1990) y reformas	La empresa debe coordinar con municipalidad para disposición final y pago de tasas de recolección.
Ley de Salud	Art. 138–140	Regula la disposición sanitaria de desechos que representen riesgo a la salud.	Decreto 65-91 (1991)	Aplica al manejo de residuos que puedan causar riesgos a trabajadores o comunidades cercanas.
Ley de Incentivos para la Generación de Energía Renovable	Disposiciones ambientales (artículos finales)	Obliga a cumplir normativa ambiental y planes de manejo de residuos como requisito para licencias de proyectos energéticos.	Decreto 70-2007 (2007)	Condiciona a las empresas generadoras a cumplir estándares ambientales, incluyendo gestión de residuos sólidos.
Ley de Promoción y Protección del Ambiente (complementaria)	Disposiciones generals	Refuerza principios de prevención, mitigación y restauración ambiental.	Decreto 181-2007	Vincula la obligación de mitigar impactos por residuos generados en operaciones industriales.

III. Reglamentos generales y especiales

Reglamento / Acuerdo	Artículo(s) clave	Descripción / Alance	Acuerdo / Decreto – Año	Aplicación práctica en empresa de energía
Reglamento para el Manejo Integral de Residuos Sólidos	Art. 1–10 (principios); 30–40 (almacenamiento y transporte); 80–94 (infracciones y sanciones)	Regula prevención, reducción, almacenamiento, transporte, tratamiento y disposición final de residuos sólidos. Define responsabilidades de generadores y sanciones.	Acuerdo Ejecutivo 1567-2010	Establece procedimientos internos para clasificación, registro y disposición de residuos generados en operaciones.

Reglamento sobre Manejo de Desechos Peligrosos (sector salud, aplicable por analogía a industria)	Art. 5–20	Regula clasificación, segregación, embalaje, transporte y disposición de desechos peligrosos.	Acuerdo 07-2008	Aplica al manejo de aceites, solventes, baterías, filtros contaminados de maquinaria y equipos.
Reglamento General de la Ley del Ambiente	Varios artículos sobre control de contaminación y desechos	Detalla procedimientos de evaluación, control, sanciones y responsabilidades ambientales.	Acuerdo Ejecutivo 109-93	Complementa la Ley General del Ambiente en aspectos operativos de residuos y sanciones.
Norma Técnica Nacional para el Manejo Integral de Residuos Sólidos	Capítulos sobre separación, recolección, transporte y disposición	Establece criterios técnicos para el manejo integral de residuos sólidos urbanos e industriales.	Acuerdo Ministerial 138-2012	Guía técnica obligatoria para planes de manejo ambiental y auditorías en plantas de energía.
Reglamento del Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental (SINEIA)	Disposiciones sobre planes de manejo de residuos en EIA	Obliga a incluir el manejo de residuos sólidos y peligrosos dentro de los Estudios de Impacto Ambiental.	Acuerdo 189-2009	Requisito para aprobar y operar proyectos de generación y distribución de energía.

IV. Decretos, acuerdos, resoluciones, circulares, planes de arbitrios, etc.

Instrumento	Referencia / Año	Descripción / Alcance	Aplicación en empresa de energía
Decreto Legislativo – Ley General del Ambiente	Decreto 104-93 (1993)	Marco legal ambiental; regula residuos sólidos y peligrosos, control de la contaminación y sanciones.	Base legal para todo plan de manejo de residuos en instalaciones de generación y distribución.
Decreto Legislativo – Ley de Municipalidades	Decreto 134-90 (1990)	Faculta a las municipalidades para establecer planes de arbitrios sobre recolección, tratamiento y disposición de residuos.	La empresa debe pagar tasas municipales y coordinar disposición final de residuos.
Acuerdo Ejecutivo – Reglamento para el Manejo Integral de Residuos Sólidos	Acuerdo 1567-2010	Regula integralmente la prevención, separación, almacenamiento, transporte y disposición de residuos.	Obliga a la empresa a clasificar y almacenar residuos en áreas adecuadas y entregar a gestores autorizados.
Acuerdo Ejecutivo – Reglamento General de la Ley del Ambiente	Acuerdo 109-93	Desarrolla la Ley del Ambiente: control, sanciones, evaluación ambiental, residuos y sustancias peligrosas.	Exige reportes ambientales y cumplimiento en auditorías.

Acuerdo Ministerial – Norma Técnica Nacional para el Manejo Integral de Residuos Sólidos	Acuerdo 138-2012	Norma técnica complementaria para la gestión de residuos sólidos, reciclaje y disposición final.	Sirve de guía para auditorías ambientales internas y externas.
Acuerdo – Reglamento del SINEIA (Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental)	Acuerdo 189-2009	Establece la obligatoriedad de incluir planes de manejo de residuos en los estudios de impacto ambiental.	Requisito indispensable para licencias ambientales de proyectos energéticos.
Resoluciones Municipales (Planes de Arbitrios)	Varían por municipio (ej.: Tegucigalpa, San Pedro Sula, Choluteca)	Fijan tasas y condiciones de recolección, tratamiento y disposición de residuos sólidos.	La empresa debe pagar tributos ambientales municipales y cumplir disposiciones locales.
Resoluciones / Circulares de SERNA – MiAmbiente+	Diversas circulares técnicas (ej. manejo de desechos peligrosos, reportes anuales)	Lineamientos sobre disposición de residuos peligrosos, informes de residuos, cumplimiento de normativa ambiental.	La empresa debe presentar reportes anuales y cumplir lineamientos de almacenamiento y transporte.
Política Nacional de Gestión Integral de Residuos Sólidos	Versión actualizada 2010	Establece objetivos y estrategias para la reducción, reutilización, reciclaje y disposición adecuada de residuos sólidos en el país.	Guía a las empresas a implementar programas de reciclaje y reducción en la fuente.
Política Energética de Honduras (componente ambiental)	Última actualización 2014	Integra compromisos de sostenibilidad ambiental y gestión de residuos en el sector energético.	Obliga a incorporar gestión de residuos dentro de los planes de sostenibilidad de las empresas de energía.

3. CAPÍTULO III. METODOLOGÍA

3.1 CONGRUENCIA METODOLÓGICA

Este capítulo presenta el enfoque metodológico adoptado para la investigación, asegurando una coherente alineación entre los objetivos del estudio, las variables analizadas, las hipótesis planteadas y las técnicas utilizadas. Se describe la matriz metodológica, la cual establece la relación entre los objetivos y las preguntas de investigación con las variables clave para el desarrollo del Modelo de Gestión de Desechos Derivados del Mantenimiento de Subestaciones Eléctricas de la ENEE, fundamentado en la normativa nacional vigente.

Asimismo, se detallan la operacionalización de las variables y las hipótesis que orientan el análisis de los resultados, proporcionando una base estructurada para la interpretación de la información recopilada. Se incluye un diagrama metodológico que refleja de manera gráfica el enfoque, alcance y diseño de la investigación, así como los métodos y técnicas empleados, junto con los instrumentos de recolección de datos y su justificación, validando su pertinencia para el contexto específico de las subestaciones eléctricas.

Se define con claridad la población y la muestra de estudio, describiendo las técnicas de muestreo seleccionadas, la unidad de análisis enfocada en los procesos de manejo de desechos peligrosos y la unidad de respuesta, compuesta por el personal operativo y administrativo involucrado en la gestión ambiental y en las actividades de mantenimiento de subestaciones.

El capítulo también presenta el plan de investigación, que guía de forma sistemática cada etapa del estudio, desde la recolección hasta el análisis de la información. Se explican las técnicas de recolección y análisis de datos, destacando el diseño, aplicación y validación de los instrumentos utilizados, con el fin de garantizar la fiabilidad y validez de la información obtenida.

Este enfoque metodológico permite asegurar que la propuesta desarrollada responda a las necesidades reales de la empresa y contribuya a la mejora continua en el manejo seguro, eficiente y sostenible de los desechos peligrosos generados en las subestaciones eléctricas.

3.1.1 CONCEPTUALIZACIÓN DE VARIABLES

La conceptualización de las variables independientes y dependientes en un estudio sobre la gestión de desechos en las sub estaciones eléctricas, implica identificar los factores que influyen en la generación y manejo inadecuado de estos residuos (variables independientes) y medir el nivel de eficiencia y efectividad en la gestión de los desechos peligrosos dentro de la ENEE (variable dependiente).

Esto permite analizar cómo las causas, como la falta de capacitación, recursos insuficientes o ausencia de procedimientos estandarizados, impactan en el resultado final del proceso de gestión, contribuyendo a identificar áreas de mejora y a establecer estrategias para optimizar el manejo seguro y responsable de los residuos peligrosos.

Método	Variables			
	Nombre	**Independiente**	**Dependiente**	**Justificación**
Cualitativo	Matriz de Leopold	X		Permite evaluar y visualizar de forma estructurada los impactos ambientales que generan las diferentes actividades relacionadas con la recolección, transporte, tratamiento y disposición final de los residuos. Facilita la toma de decisiones y la planificación de acciones correctivas y preventivas.
	Tiempo de Disposición		X	Se trata de definir el intervalo de tiempo que transcurre desde que los desechos son generados hasta que se realiza su disposición final en un sitio autorizado, como un relleno sanitario, planta de tratamiento o centro de reciclaje.
	Gestión Ambiental en el proceso de mantenimiento		X	Esta variable busca prevenir la contaminación, controlar la generación de residuos peligrosos como aceites, solventes y baterías, y garantizar su disposición adecuada conforme a la normativa vigente
	Disposición Transitoria		X	Esta variable permite organizar, clasificar y controlar los residuos según su tipo y peligrosidad, evitando mezclas que dificulten su tratamiento y reduciendo el riesgo de accidentes, fugas o derrames. Además, asegura la trazabilidad y registro de los desechos.

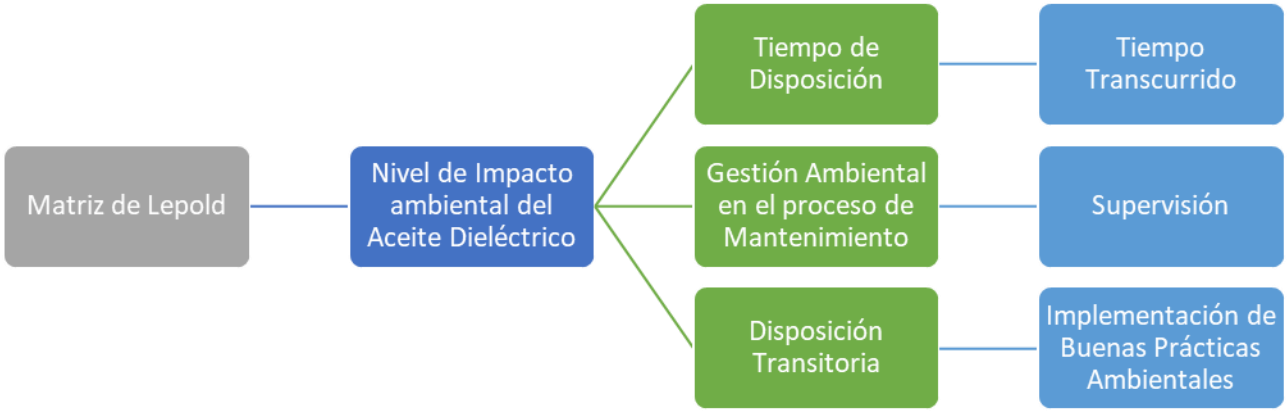
Cuantitativo	Matriz MIIA	X		Es una variable que permite medir la gravedad de los efectos ambientales y de salud que puede generar un derrame o manejo inadecuado de estos aceites, los cuales suelen contener sustancias peligrosas como PCB. Permitirá priorizar acciones de control y mitigación, definir protocolos de respuesta ante emergencias y cumplir con la normativa ambiental.
	Suelo		X	Es una variable que permite medir la gravedad de los efectos ambientales y de salud que puede generar la infiltración o derrame inadecuado de residuos peligrosos, como aceites contaminados con metales pesados o solventes, que alteran las propiedades físico-químicas del suelo y reducen su fertilidad. Permitirá priorizar acciones de control y mitigación, definir protocolos de respuesta ante emergencias y cumplir con la normativa ambiental.
	Agua		X	Es una variable que permite medir la gravedad de los efectos ambientales y de salud que puede generar la contaminación por lixiviados, derrames o filtraciones de residuos peligrosos hacia cuerpos de agua superficiales o subterráneas, afectando la calidad del recurso hídrico y la vida acuática. Permitirá priorizar acciones de control y mitigación, definir protocolos de respuesta ante emergencias y cumplir con la normativa ambiental.
	Aire		X	Es una variable que permite medir la gravedad de los efectos ambientales y de salud que puede generar la emisión de compuestos orgánicos volátiles (COV), partículas o gases tóxicos derivados de la evaporación, quema o descomposición inadecuada de residuos peligrosos. Permitirá priorizar acciones de control y mitigación, definir protocolos de respuesta ante emergencias y cumplir con la normativa ambiental.

Fuente: Elaboración propia.

3.1.2 ESQUEMA DE VARIABLES

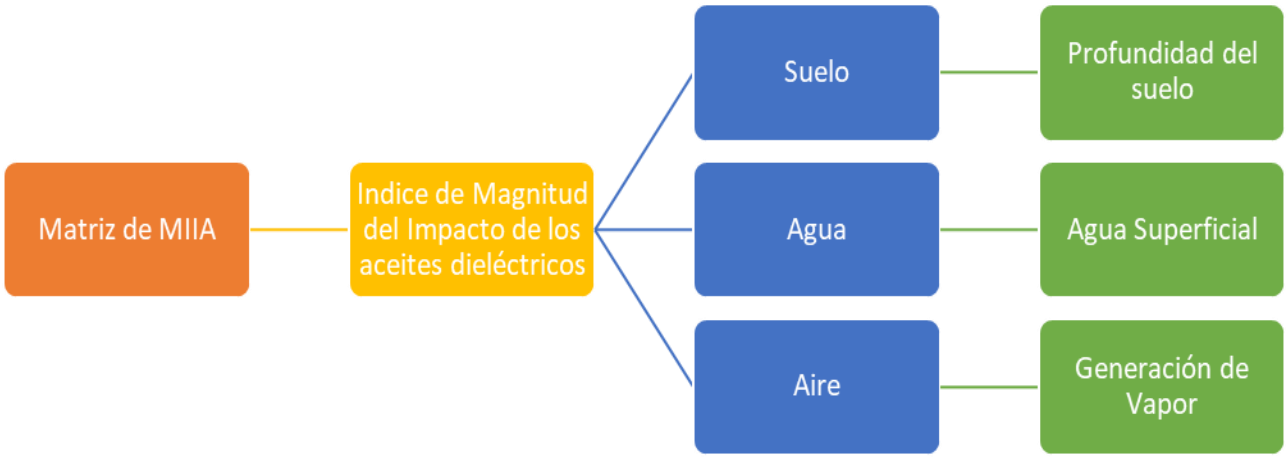
En esta sección del estudio sobre la gestión de residuos en subestaciones eléctricas, se desarrolla un análisis complementario utilizando una matriz metodológica y un diagrama ilustrativo. Este proceso tiene como objetivo proporcionar una visión clara y estructurada de cómo interactúan las variables clave dentro del modelo de gestión.

Método Cualitativo:



Fuente: Elaboración Propia

Método Cuantitativo:



Fuente: Elaboración propia.

3.1.3 MATRIZ METODOLÓGICA

Una matriz metodológica es una herramienta utilizada en la investigación científica para planificar, organizar y garantizar la coherencia entre los diferentes elementos de un estudio. Su principal función es asegurar que exista una relación lógica y directa entre el problema de investigación, los objetivos, las preguntas de investigación, las variables, los indicadores y los métodos de recolección y análisis de datos.

En un estudio sobre gestión de desechos peligrosos, la matriz de congruencia metodológica se empleará para garantizar que los objetivos del estudio estén claramente definidos y vinculados directamente con la problemática de la gestión y manejo adecuado de este tipo de residuos. Las preguntas de investigación deberán ser pertinentes, específicas y orientadas a obtener información que permita comprender la situación actual y proponer estrategias eficaces para mejorar la gestión de los desechos peligrosos dentro de las subestaciones eléctricas.

En cuanto a las variables, la matriz de congruencia metodológica se utilizará para asegurar que sean adecuadas, medibles y representativas, considerando tanto las causas como los efectos asociados a la gestión ineficiente de los desechos peligrosos. Para ello, se establecerán indicadores específicos que permitan medir y cuantificar cada variable, facilitando el análisis y seguimiento del proceso.

Finalmente, se evaluarán los métodos de recolección y análisis de datos relacionados con la gestión de desechos peligrosos. Esto implica seleccionar técnicas apropiadas y confiables, como encuestas, entrevistas, observaciones directas o revisión de registros existentes, con el fin de obtener información precisa y resultados válidos que sirvan como base para la toma de decisiones y el diseño de planes de mejora.

En la siguiente tabla se presenta el detalle de las variables que se emplearán para alcanzar los objetivos planteados, asegurando la coherencia metodológica en la investigación.

Matriz de congruencia y operacionalización de las variables

Título de la Investigación.	Problema	Preguntas de Investigación	Objetivos de la Investigación		Método	Variables					
			General	Específico	Cualitativo Matriz de Leopold	Independientes			Dependientes		
						Nombre	Escala	Herramienta	Nombre	Escala	Herramienta
Modelo de Gestión de Desechos Sólidos Derivados del Mantenimiento de Subestaciones Eléctricas de la ENEE	La Empresa Nacional de Energía Eléctrica no dispone de un Sistema de Gestión Ambiental que le permita el manejo adecuado de sus desechos derivados del proceso de mantenimiento en subestaciones	1. ¿Existe condiciones para elaborar un inventario de residuos y desechos derivados del mantenimiento de subestaciones?	Proponer un modelo integral de gestión de desechos derivados del mantenimiento de las subestaciones eléctricas de la ENEE en Honduras.	Elaborar un inventario de los residuos y desechos generados en el mantenimiento de las subestaciones eléctricas de la ENEE.		Tiempo de Disposición	Número y tipo de residuos identificados por subestación	Formato de inventario de residuos	Nivel de Impacto ambiental del Aceite Dieléctrico	Matriz Leopold	Matriz Leopold
		2 ¿Cuáles son los criterios para la segregación de los desechos derivados del mantenimiento de las subestaciones, basados en la toxicidad?		Establecer criterios técnicos para la segregación de los desechos, considerando su grado de toxicidad y riesgos asociados.		Gestión Ambiental en el proceso de Mantenimiento	Existencia de protocolos de segregación aplicados en campo	Guía de observación y checklist de segregación			
						Disposición Transitoria	Tiempo de almacenamiento temporal del aceite	Formatos de control			
		3. ¿Qué factores serían relevantes para la gestión adecuada de dichos desechos?		Identificar los factores relevantes (ambientales, operativos, legales y económicos) que influyen en la gestión adecuada de los desechos.	Cuantitativo Matriz MIIA	Suelo	Concentración del contaminante en el suelo	Análisis de información secundaria	Magnitud del Impacto de los aceites dieléctricos	Matriz MIIA	Matriz MIIA

		4. ¿Se pueden determinar costos de oportunidad por la existencia de los desechos?		Analizar los costos de oportunidad y posibles beneficios derivados de la adecuada gestión de los desechos.		Agua	Concentración del contaminante en el agua	Análisis de información secundaria			
		5. ¿Es posible un sistema de gestión para el manejo de desechos derivados del mantenimiento de las subestaciones de la ENEE?		5. Diseñar una propuesta de modelo de gestión integral de desechos aplicable a las subestaciones de la ENEE.		Aire	Concentración del contaminante en el aire	Análisis de información secundaria			

Fuente: Elaboración propia.

3.1.4 OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES

Una variable es un elemento que muestra comportamientos de cambios, en donde se pueden medir y observar, como variable se puede seleccionar: personas, objetos, acontecimientos y hechos. (Roberto, 2006)

En la siguiente tabla se encuentra el detalle de las variables del método cualitativo para lograr los objetivos bajo una operacionalización en la investigación:

Operacionalización de las variables método cualitativo

Método	Variables Dependientes						
	Variable	Conceptualización	Operacionalización	Dimensión	Indicador	Escala	Técnica
Cualitativo Matriz de Leopold	Tiempo de Disposición	Lapso que transcurre desde la generación del residuo hasta su disposición final.	Medición del tiempo en días/meses de almacenamiento.	Tiempo transcurrido	Días de almacenamiento	Ordinal	Observación directa / Entrevista
	Gestión Ambiental en el proceso de Mantenimiento	Conjunto de acciones y controles para minimizar impactos ambientales durante el mantenimiento de subestaciones.	Identificación de protocolos aplicados en mantenimiento.	Supervisión	Existencia de controles ambientales	Nominal	Revisión documental / Entrevista
	Disposición Transitoria	Almacenamiento temporal de aceites dieléctricos y otros desechos peligrosos.	Identificación de áreas y procedimientos para disposición temporal.	Prácticas de almacenamiento	Condiciones del almacenamiento	Ordinal	Inspección de campo

	Variable Independiente						
	Variable	Conceptualización	Operacionalización	Dimensión	Indicador	Escala	Técnica
	Nivel de Impacto ambiental del Aceite Dieléctrico	Alteración que produce el aceite dieléctrico en los componentes ambientales (suelo, agua, aire).	Evaluación cualitativa de la magnitud y extensión del impacto.	Grado de afectación	Categorías de impacto (alto, medio, bajo)	Ordinal	Entrevista / Matriz de Leopold

Fuente: Elaboración Propia.

Operacionalización de las variables del método cuantitativo

Método	Variables dependientes						
	Variable	Conceptualización	Operacionalización	Dimensión	Indicador	Escala	Técnica
Cuantitativo Matriz MIIA	Suelo	Medio físico receptor de derrames y filtraciones.	Análisis de muestras de suelo afectado.	Profundidad del suelo	Cm de penetración de contaminante	Razón	Prueba de laboratorio
	Agua	Medio receptor de escurrimientos de aceites.	Análisis de calidad de aguas superficiales.	Agua superficial	Concentración de contaminantes	Razón	Pruebas de laboratorio
	Aire	Medio receptor de vapores y gases liberados.	Evaluación de vapores generados en procesos de mantenimiento.	Generación de vapor	Nivel de compuestos volátiles	Razón	Monitoreo ambiental

	Variables Independiente						
	Variable	Conceptualización	Operacionalización	Dimensión	Indicador	Escala	Técnica
	índice de Magnitud del Impacto de los aceites dieléctricos	Medida cuantitativa de los efectos sobre los componentes ambientales.	Cálculo mediante la Matriz MIIA.	Impacto ambiental total	Puntuación del índice	Razón	Evaluación cuantitativa del impacto ambiental.

Fuente: Elaboración propia.

3.2 HIPÓTESIS

(Roberto, 2006) menciona: que las hipótesis indican lo que tratamos de probar y se definen como explicaciones tentativas del fenómeno investigado; deben ser formuladas a manera de proposiciones. De hecho, son respuestas provisionales a las preguntas de investigación. (Dr. Roberto Hernández Sampieri, 2014)

Hipótesis nula (H_0):

H_0: La operación de la subestación eléctricas de Tegucigalpa no presentan impactos ambientales significativos mayores o igual de 25 según la valoración de impactos ambientales, bajo las condiciones y practicas actuales.

Hipótesis alternativa (H_1):

H_1; La operación de la subestación eléctricas de Tegucigalpa SI presentan impactos ambientales significativos mayores o igual de 25 según la valoración de impactos ambientales bajo las condiciones y practicas actuales.

3.3 ENFOQUE Y MÉTODOS

El proyecto de investigación tiene un enfoque mixto con una orientación de carácter exploratorio, debido a que la información científica de las fuentes de liberación, concentraciones ambientales, comportamiento ambiental, poblaciones expuestas y ecosistemas afectados por aceites dieléctricos minerales es escasa en nuestro país.

El método cualitativo permitirá identificar cualitativamente los impactos ambientales de los desechos que surgen del mantenimiento de los transformadores de potencia existentes en las subestaciones eléctricas de la ENEE; además se realizara la valoración cuantitativa de dichos

impactos a través de la aplicación de la herramienta MIIA (Matriz de identificación de Impactos ambientales).

En la siguiente tabla se encuentra el detalle el tipo de los métodos, en enfoque de cada uno de ellos y en que se basa el método de investigación:

Tipo de Estudio	Enfoque	Método
Cualitativo Matriz de Lepold	Es una herramienta fundamental en los procesos de Evaluación de Impacto Ambiental (EIA), diseñada para identificar, analizar y jerarquizar los efectos que las actividades humanas pueden generar sobre los distintos componentes del medio ambiente. Se caracteriza por su enfoque sistémico, lo que significa que estudia las relaciones causa-efecto entre las acciones de un proyecto y los factores ambientales afectados, permitiendo visualizar de manera integral el impacto global. De esta forma, no solo se identifican los impactos, sino que también se pueden priorizar para tomar decisiones más informadas y planificar medidas de prevención, mitigación o compensación.	La Matriz de Leopold se organiza como una matriz de doble entrada, en la que se cruzan dos elementos principales: en las filas se colocan las acciones o actividades específicas del proyecto, y en las columnas se incluyen los factores ambientales que podrían verse afectados. La magnitud se mide en una escala que va de -10 a +10, donde los valores negativos indican impactos adversos y los positivos reflejan efectos beneficiosos. Mientras tanto, la importancia se califica de 1 a 10, según la relevancia del impacto para la zona y la población afectada. Estos valores se anotan como una fracción, por ejemplo: -8/9, donde -8 representa una magnitud negativa alta y 9 indica que el impacto es muy importante.
Cuantitativo Matriz MIIA	La Matriz de Identificación e Interpretación de Aspectos e Impactos Ambientales, es una herramienta utilizada en los Sistemas de Gestión Ambiental (SGA). Este método está orientado a la gestión ambiental proactiva. Esto significa que no se limita a reaccionar ante problemas ambientales ya ocurridos, sino que busca anticipar riesgos y prevenir impactos negativos. Este enfoque se basa en la integración de la matriz dentro del	El método de la MIIA se desarrolla a través de etapas estructuradas, que permiten identificar, evaluar y clasificar los aspectos e impactos ambientales de manera clara y ordenada. Este proceso facilita la toma de decisiones para la implementación de controles y medidas de mitigación. Inicia con la descripción de todas las actividades en sus procesos, Una vez identificados, se procede a evaluarlos y valorarlos mediante criterios como severidad, probabilidad, frecuencia, reversibilidad y cumplimiento legal, asignando puntajes que permiten medir su significancia. Finalmente, se

	ciclo PHVA (Planificar, Hacer, Verificar y Actuar) de la ISO 14001, asegurando que la identificación y control de aspectos ambientales se conviertan en un proceso continuo y estructurado.	clasifican y priorizan los aspectos más relevantes, estableciendo planes de acción preventivos y correctivos que definan medidas específicas, responsables y plazos, asegurando así un control efectivo y la mejora continua dentro del Sistema de Gestión Ambiental.

Importante: De acuerdo con los resultados del método cualitativo puede considerarse realizar ajustes previos al desarrollo del método cuantitativo.

ESQUEMA METODOLÓGICO

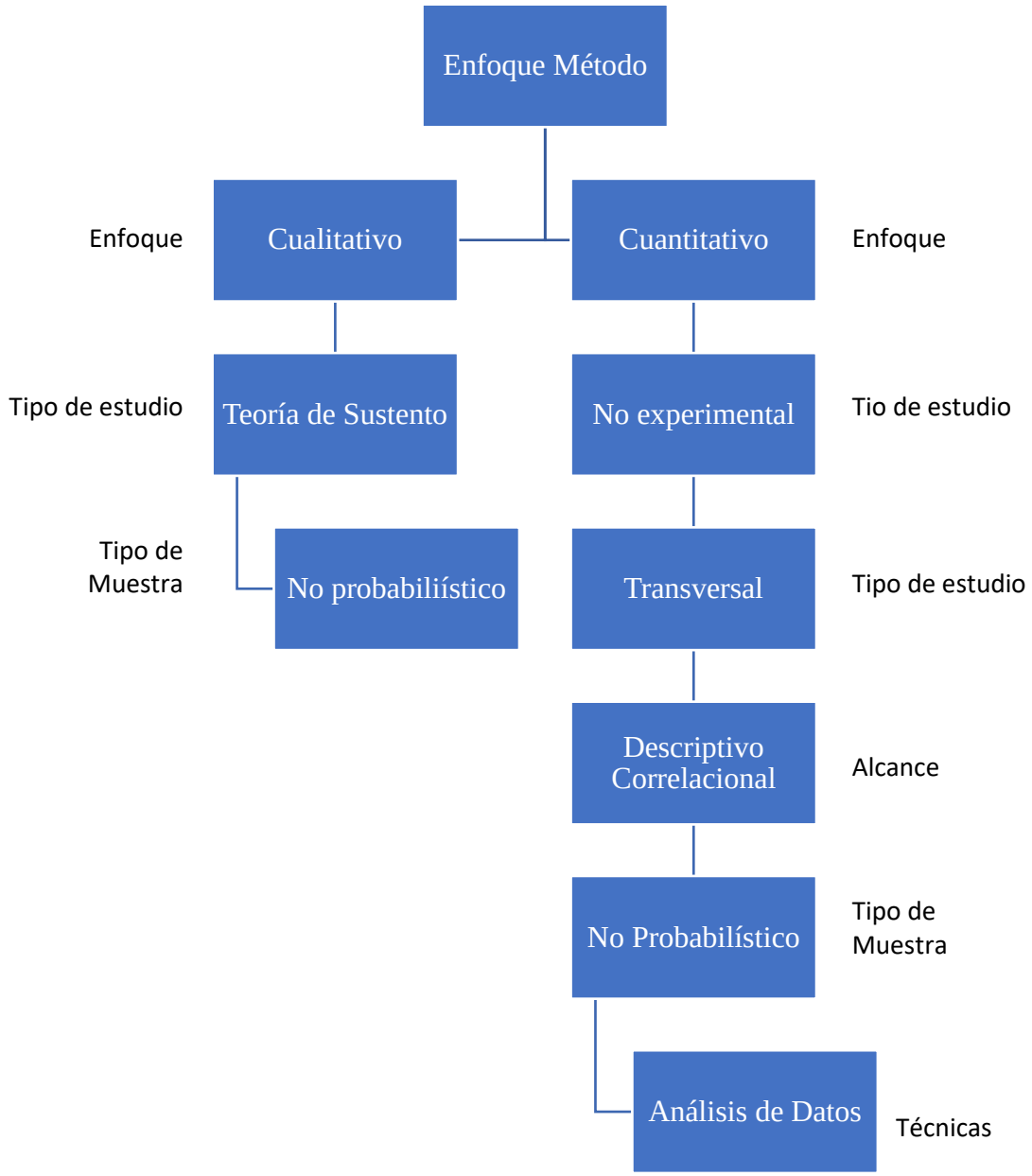


Ilustración 10 Diagrama de flujo Esquema Metodológico.

3.4 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

Plan de diseño de la investigación del método cualitativo

Método	Estrategia	Actividades	Fuente	Recursos		Tiempo de Ejecución	Responsables	Fecha
				Material Instrumento Herramienta	**Humanos**			
Cualitativo Matriz de Leopold	Entrevistas Observación directa y análisis de datos	Planificación	Oficina Administracion	Computadora y Microsoft Excel y Word	Investigadoras: Pamela Arias y Linda Maldonado	X Horas	Investigadoras: Pamela Arias y Linda Maldonado	Octubre 2025
		Diseño de la guía de entrevista y observación directa	Officine Administracion	Computadora y Microsoft Excel y word	Investigadoras: Pamela Arias y Linda Maldonado	X Horas	Investigadoras: Pamela Arias y Linda Maldonado	Octubre 2025
		Selección de los participantes:	Subestación	Hoja de papel	Investigadoras: Pamela Arias y Linda Maldonado	X Horas	Investigadoras: Pamela Arias y Linda Maldonado	Octubre 2025
		Establecimiento de contacto y programación de entrevistas	Subestación	Hoja de papel	Investigadoras: Pamela Arias y Linda Maldonado	X Horas	Investigadoras: Pamela Arias y Linda Maldonado	Octubre 2025
		Realización de la entrevista y observación directa	subestación	Cámara fotográfica	Investigadoras: Pamela Arias y Linda Maldonado	X Horas	Investigadoras: Pamela Arias y Linda Maldonado	Octubre 2025
		Registro de los datos:	Oficina Administración	Computadora y Microsoft Excel y Word	Investigadoras: Pamela Arias y Linda Maldonado	X Horas	Investigadoras: Pamela Arias y Linda Maldonado	Octubre 2025
		Transcripción y análisis de los datos:	Oficina Administración	Computadora y Microsoft Excel y Word	Investigadoras: Pamela Arias y Linda Maldonado	X Horas	Investigadoras: Pamela Arias y Linda Maldonado	Octubre 2025
		Interpretación y elaboración de resultados:	Oficina Administración	Computadora y Microsoft Excel y Word	Investigadoras: Pamela Arias y Linda Maldonado	X Horas	Investigadoras: Pamela Arias y Linda Maldonado	Octubre 2025
		Informe de resultados:	Oficina Administración	Computadora y Microsoft Excel y Word	Investigadoras: Pamela Arias y Linda Maldonado	X Horas	Investigadoras: Pamela Arias y Linda Maldonado	Octubre 2025

Plan de diseño de la investigación del método cuantitativo.

Método	Estrategia	Actividades	Fuente	Recursos		Tiempo de Ejecución	Responsables	Fecha
				Material Instrumento Herramienta	**Humanos**			
Cuantitativo Matriz MIIA	Visita de campo y observación directa	Planificación	Oficina Administración	Computadora y Microsoft Excel y Word	Investigadoras: Pamela Arias y Linda Maldonado	X horas	Investigadoras: Pamela Arias y Linda Maldonado	Octubre 2025
		Diseño de la matriz a evaluar	Oficina Administración	Computadora y Microsoft Excel y Word	Investigadoras: Pamela Arias y Linda Maldonado	X horas	Investigadoras: Pamela Arias y Linda Maldonado	Octubre 2025
		Supervisión del sitio	Subestación	Cámara fotográfica	Investigadoras: Pamela Arias y Linda Maldonado	X horas	Investigadoras: Pamela Arias y Linda Maldonado	Octubre 2025
		Recopilación de información	Subestación	Cámara fotográfica	Investigadoras: Pamela Arias y Linda Maldonado	X horas	Investigadoras: Pamela Arias y Linda Maldonado	Octubre 2025
		Evaluación a través de la matriz	Subestación	Computadora y Microsoft Excel y Word	Investigadoras: Pamela Arias y Linda Maldonado	X horas	Investigadoras: Pamela Arias y Linda Maldonado	Octubre 2025
		Análisis de los resultados	Oficina Administración	Computadora y Microsoft Excel y Word	Investigadoras: Pamela Arias y Linda Maldonado	X horas	Investigadoras: Pamela Arias y Linda Maldonado	Octubre 2025

		Informe de resultados-Guía de Buenas prácticas ambientales para el manejo de aceites dieléctricos resultantes del mantenimiento de los transformadores de potencia	Oficina Administración	Computadora y Microsoft Excel y Word	Investigadoras: Pamela Arias y Linda Maldonado	X horas	Investigadoras: Pamela Arias y Linda Maldonado	Octubre 2025

Fuente: Elaboración propia.

Importante: De acuerdo con los resultados obtenidos del método cualitativo, puede considerarse realizar ajustes previos al desarrollo del método cuantitativo.

3.4.1 POBLACIÓN

Una vez que se ha establecido la unidad de muestreo/análisis, se procede a determinar los límites de la población que será estudiada y en la cual se pretende generalizar los resultados obtenidos. De esta manera, la población se define como el conjunto de todos los casos que cumplen con ciertas especificaciones. (Roberto, 2006)

En el marco de esta tesis, la población de objeto de estudio estará compuesta por las sub estaciones eléctricas de la ENEE, en general, la red de transmisión en Honduras comprende un total de 88 subestaciones eléctricas, cada una desempeñando diversas funciones que abarcan desde el suministro de la demanda, la interconexión de centrales de generación y la conmutación entre distintos elementos de transmisión y, en otras circunstancias, una combinación de estas funciones.

La red de transmisión de Honduras se conforma por un conjunto de líneas de transmisión con diferentes niveles de tensión, junto con subestaciones, transformadores y otros elementos necesarios para transportar la energía eléctrica a través del Sistema Interconectado Nacional (SIN). Los niveles de tensión que se utilizan actualmente en la red de transmisión son 69, 138 y 230 kV. Hasta mediados de 2023, las líneas de transmisión de 69, 138 y 230 kV, alcanzaban longitudes alrededor de 694, 1050 y 1280 km, respectivamente.

Considerando las características de los equipos de transformación instalados, estos pueden clasificarse como se describe a continuación:

- Dos subestaciones con niveles de tensión 230, 138, 69 kV;
- Plan de Expansión de la Red de Transmisión 2024 – 2033 20 de 77
- Dos subestaciones con niveles de tensión 230, 138 kV;
- Una subestación con niveles de tensión 230, 69 kV;

- Tres subestaciones con niveles de tensión 138, 69 kV;
- Dieciocho subestaciones en 230 kV;
- Treinta y ocho subestaciones en 138 kV;
- Veinticuatro subestaciones en 69 kV.

Otro grupo de elementos relevantes en la red de transmisión son los transformadores de potencia, que también se clasifican por su función y nivel de tensión al que operan. Los transformadores de potencia que se consideran que forman parte la red son los que operan con al menos dos devanados a niveles de alta tensión.

Actualmente, el sistema de transmisión cuenta con un total de 16 transformadores que operan en diferentes niveles de tensión, 230, 138 y 69 kV.

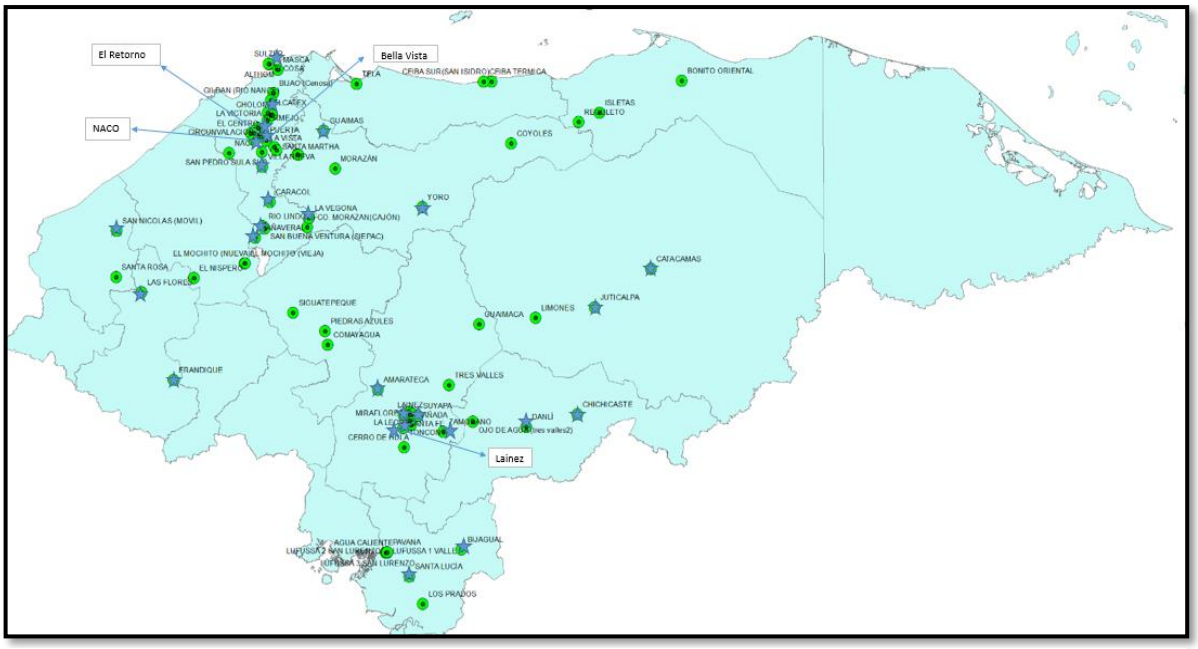


Ilustración 11 Ubicación de las 88 Sub estaciones a Nivel Nacional

Fuente: Empresa Nacional de Energía Eléctrica de Honduras (ENEE)

Para esta investigación se considera una población de 7 subestaciones eléctricas ubicadas en condiciones similares dentro del Distrito Central, entre las ciudades de Tegucigalpa y Comayagüela, las cuales se enlistan a continuación:

Subestación Eléctrica	Ubicación
subestación Amarateca	Amarateca.
subestación Toncontin	Tegucigalpa
Subestación La Cañada	Tegucigalpa
subestación Suyapa	Tegucigalpa
subestación Miraflores	Tegucigalpa
subestación Laínez	Tegucigalpa
subestación Santa Fe	Comayagüela

Fuente: Elaboración Propia

3.4.2 MUESTRA

La muestra se puede entender como una porción representativa de la población total. Es un conjunto de elementos seleccionados que comparten características similares a las que definen a la población en sí misma. (Roberto, 2006)

La Subestación Santa Fe está ubicada en la ciudad de Comayagüela, departamento de Francisco Morazán, específicamente justo en la colonia Torocagua. La subestación se entró en operación a principios de los años 70´s, pero no hay registro de la fecha exacta.

La energía generada se distribuye para el consumo de la ciudad por medio de la red de 34,5 kV. Este estudio se definió como área de estudio (muestra) la Sub estación Santa Fe debido a la lata concentración de desechos (aceites dieléctricos) producto del mantenimiento de las subestaciones, esta sub estación por el espacio físico con que cuenta ha sido un centro de acopio

de varios bidones de aceite dieléctrico de otras sub estaciones, producto del mantenimiento de las mismas.

Dentro de la sub estación Santa Fe, se encuentran talleres electromecánicos, almacén y oficinas, por lo que estos desechos depositados a la intemperie por lo representan un motivo de estudio, para determinar los posibles impactos que estos desechos podrían llegar a generar**. (Ver Anexo E)**

Los resultados que se puedan obtener en el estudio de esta sub estación, pueden ser replicados en las demás sub estaciones de la ENEE.

Ilustración 12 Ubicación Sub Estación Santa Fe.

Fuente: Google Maps

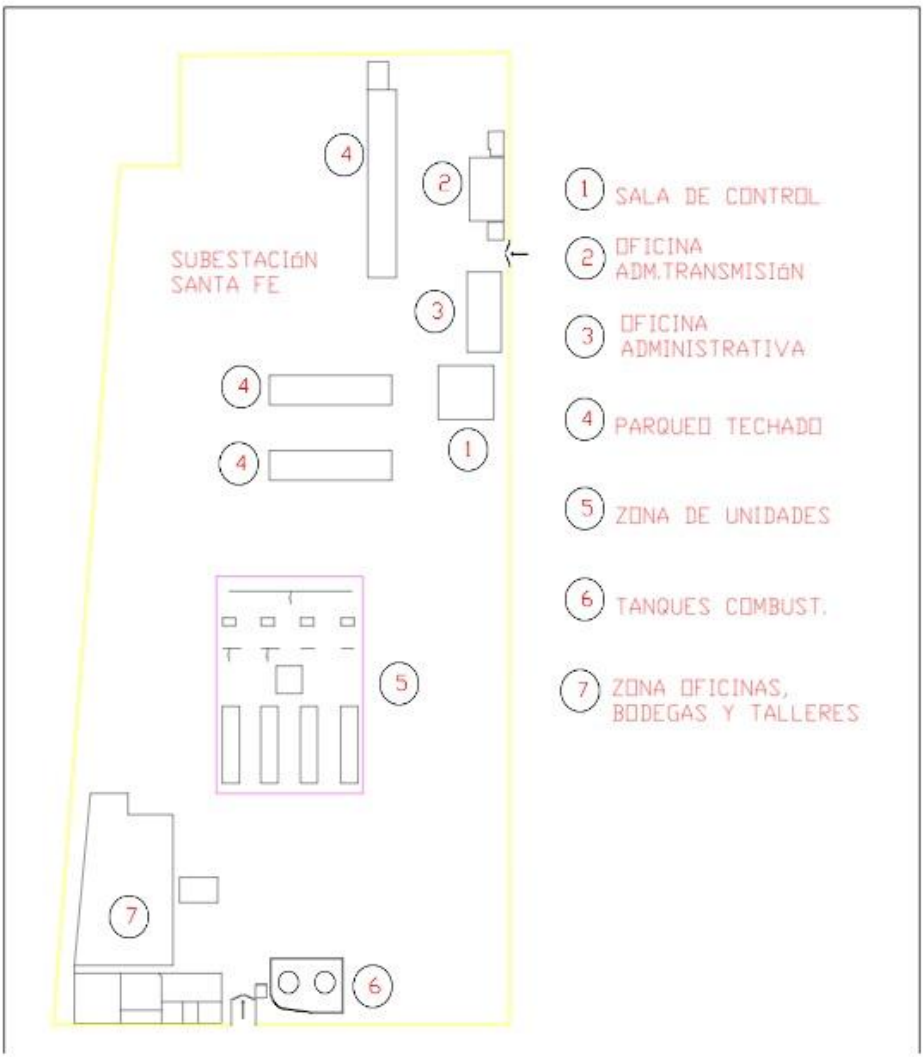


Ilustración 13 Distribución de Instalaciones de Sub Estación Santa Fe´

Fuente: Elaboración Propia

3.4.3 TÉCNICAS DE MUESTREO

1. **Unidad de Análisis**

En este estudio, se decidió utilizar los resultados de las herramientas usadas para generar información, entre ellas, entrevistas de campo al personal de mantenimiento, pruebas de laboratorio y resultado de matrices ambientales como unidad de análisis.

Esta elección se basa en la disponibilidad y accesibilidad de los registros, así como en su capacidad para proporcionar información detallada y objetiva sobre la variable de interés.

A través de las entrevistas que se le harán al personal de mantenimiento de las sub estaciones, se registrara de manera sistemática y organizada información relevante sobre las actividades de mantenimiento e impactos ambientales resultantes de dicha actividad. Al utilizarlos como unidad de análisis, se puede obtener una visión precisa y objetiva de las situaciones y eventos relacionados con la gestión de los desechos derivados del mantenimiento de subestaciones eléctricas de la ENEE.

Además, al utilizar la Matriz de Identificación de Impactos Ambientales (MIIA) así como el análisis de los resultados de las pruebas de suelo a través de un laboratorio externo, estas herramientas serán muestra representativa de la situación actual de la Sub estación eléctrica Santa Fe, lo que proporciona una base sólida para realizar deducciones sobre la relación entre los desechos generados por la actividad de mantenimiento en las subestaciones eléctricas y el medio ambiente.

2. Unidad de Respuesta

La unidad de respuesta cualitativa para el marco de este estudio se basará en analizar los Resultados de la implementación de la matrices de impacto ambiental, a través de las entrevistas realizadas al personal encargado del mantenimiento de las sub estaciones eléctricas, evaluando el impacto el ambiental de los desechos derivados del mantenimiento en subestaciones eléctricas mientras que la unidad de respuesta cuantitativa permitirá realizar análisis de suelo a través de un laboratorio con el objetivo de conocer la magnitud de los impactos con respecto al manejo de los desechos derivados del mantenimiento en subestaciones eléctricas.

3.5 TÉCNICAS, INSTRUMENTOS Y PROCEDIMIENTOS APLICADOS

METODO CUALITATIVO: Matriz de Leopold	
TECNICA	**INTRUMENTOS**
ENTREVISTAS: se realizarán entrevista estructurada, semi estructurada y no estructuradas para obtener información detallada**. (ver Anexo C)** **OBSERVACIÓN:** **Permite a los investigadores observar fenómenos en el entorno natural (ver anexo D)**	**ENTREVISTAS ESTRUCTURADAS:** se realizará entrevista con los técnicos de mantenimiento con el fin de obtener datos más detallados con el fin de determinar información valiosa y detallada sobre el tema de investigación. (**ver Anexo C**) **GUÍA DE OBSERVACIÓN:** Para guiar la recolección de datos e información de un hecho o un fenómeno.
MÉTODO CUANTITATIVO: Matriz MIIA	
TÉCNICA	**INSTRUMENTOS**
PRUEBAS DE LABORATORIO EN SUELO: Esta técnica permite obtener información sobre sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, lo que es crucial para la remediación de suelos contaminados. **MONITOREO AMBIENTAL:** Observación, medición y análisis de diversas variables en el medio ambiente, incluyendo la calidad del aire, agua, suelo y biodiversidad	**MUESTREO SISTEMATICO:** Muestreo seleccionado a distancia uniformes entre sí en sitios con derrames químicos líquidos o con deposición área de contaminantes este método es útil para documentar probables gradientes de concentración. Los instrumentos que generalmente se utilizan para realizar este tipo de muestreo son nucleadores palas curvas y palancas.

3.6 FUENTES DE INFORMACIÓN

3.6.1 FUENTES PRIMARIAS Y SECUNDARIAS

Para el estudio de los desechos generados por el mantenimiento de sub estaciones eléctricas, se hizo uso tanto de fuentes primarias como de fuentes secundarias con el propósito de obtener una visión completa del tema.

Fuentes	Nombre de la Fuente	Como Acceder a la Fuente	Aportes Relevantes de la Fuente
Primarias	Técnicos de Mantenimiento de Sub estaciones	Entrevista	Descripción de las actividades del mantenimiento de la sub estación.
	Expertos en el tema- Ing. Emilio Medina	Entrevista	Información relevante sobre situación actual de desechos a nivel país.
	Sub estación Santa Fe	Visita De Campo	Análisis Visual de la situación actual de la Sub estación
Secundarias	Secretaria de Recursos Naturales y Ambiente (SERNA).	Manual de Mejores prácticas Ambientales	Marco legal Nacional
	Centro de Estudios y Control de Contaminantes (CESCCO).	Correo Electrónico: cescco.serna@gmail.com	Manual de Mejores Prácticas Ambientales
	Empresa Nacional de Energía Eléctrica (ENEE).	Dirección de Ingeniería Transmisión.	Apoyo en el diagnóstico inicial de la Sub estación Santa Fe.
	Secretaria Única de los Convenios de Estocolmo, Basilea y Roterdam	www.pops.int www.basel.int www.pic.int	Marco internacional ambiental

Fuente: Elaboración propia.

4 CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y ANÁLISIS

4.1.1 METODO CUALITATIVO

Para la recolección de datos en el área ambiental de la Empresa Nacional de Energía Eléctrica (ENEE) se empleó la Matriz de Leopold como método de evaluación. Este instrumento permitió identificar, analizar y valorar los impactos ambientales derivados de las actividades desarrolladas en el mantenimiento de las sub estaciones eléctricas específicamente en la Sub estación Santa Fe, considerando la interacción entre los diferentes factores ambientales y las acciones ejecutadas en el área de investigación.

Como parte del proceso de aplicación del método, se llevaron a cabo observaciones directas en compañía de cuatro colaboradores, cada uno perteneciente a puestos distintos dentro del área ambiental, con el propósito de recopilar información técnica y operativa sobre la gestión y manejo de los desechos, así como sobre las prácticas de control ambiental implementadas. Esta combinación de técnicas facilitó una comprensión más integral de las condiciones ambientales de la empresa y contribuyó a la validación de los resultados obtenidos mediante la Matriz de Leopold.

Las entrevistas se realizaron en días diferentes, programadas en horarios que coincidieran con las actividades operativas más representativas en las subestaciones eléctricas, con el fin de observar de manera directa las condiciones ambientales y los procesos relacionados con la gestión y manejo de desechos. Cada entrevista fue desarrollada de forma presencial, lo que permitió una interacción cercana con los trabajadores y facilitó la recopilación de sus percepciones y opiniones sobre las prácticas ambientales implementadas, la disposición de residuos y las condiciones generales del entorno laboral.

De esta manera, se logró combinar la aplicación de entrevistas con observaciones directas en campo, lo que proporcionó una visión más completa y precisa de la situación ambiental en las subestaciones.

4.1.2 MÉTODO CUANTITATIVO

El método cualitativo MIIA (Matriz Integrada de Identificación y Evaluación de Aspectos Ambientales) fue utilizado como herramienta principal para identificar, valorar y jerarquizar los

impactos ambientales generados en la Subestación Santa Fe como objeto de investigación.

Este método es ampliamente empleado en el ámbito de la gestión ambiental, ya que permite evaluar de manera sistemática las interacciones entre las actividades operativas y los factores ambientales que pueden verse afectados, contribuyendo a establecer prioridades de acción para el control y mitigación de impactos.

De acuerdo con la metodología MIIA, el proceso de evaluación consistió en identificar los aspectos ambientales derivados de las actividades desarrolladas en las subestaciones, como la generación y disposición de desechos, el uso de recursos naturales, entre otros. Posteriormente, cada aspecto identificado fue valorado en función de su frecuencia, severidad, magnitud e importancia, con el propósito de determinar el nivel de impacto ambiental asociado.

Para garantizar la precisión y objetividad de la información, se recopilaron datos mediante entrevistas directas con el personal del área ambiental y observaciones en campo realizadas en diferentes momentos de la jornada laboral, considerando las variaciones en las condiciones operativas y ambientales.

Este procedimiento permitió obtener información detallada y confiable sobre las prácticas de gestión ambiental y el manejo de desechos en la Sub estación Santa Fe de la ENEE.

4.2 RESULTADOS Y ANÁLISIS DE LAS TÉCNICAS APLICADAS

A traves de las metodologías detalladas en el capítulo II en la sección 2.4, se logra identificar la situación actual en la Sub estación Santa Fe de la Empresa Nacional de Energía Eléctrica, en la cual se han obtenido los resultados siguientes:

4.2.1 RESULTADOS OBTENIDOS

4.2.1.1 RESULTADOS CUALITATIVOS

Para identificar los impactos ambientales generados por la actividad de mantenimiento de cambio de aceite dieléctrico a un transformador de potencia, considerando la movilización y disposición temporal en la Subestación Eléctrica Santa Fe, se utilizará una matriz simplificada del Método de Leopold, considerando los factores ambientales que apliquen al área de investigación. (Ver tabla No.2).

Este método consiste en una matriz en donde las columnas son las acciones del hombre que pueden alterar el medio y las filas son los factores ambientales susceptibles de alterarse por las acciones dentro de las etapas de cambio de aceite en un transformador de potencia y su disposición temporal.

Para llenar la matriz se debe ir considerando las acciones (seguridad y drenaje del aceite usado, traslado del aceite usado al tanque de almacenamiento, ordenamiento y disposición temporal) e ir llenando las casillas de cada factor ambiental que las acciones pueden afectar, considerando una serie de categorías de evaluación.

A continuación, se muestran las categorías de evaluación y los colores que representa a cada una de las mismas, en la Matriz de Leopold.

Categoría de Evaluación Impactos Ambientales

CATEGORIA DE EVALUACION		
NO SIGNIFICATIVO	NS	
MODERADO	MD	
SIGNIFICATIVO NEGATIVO	SN	
SIGNIFICATIVO POSITIVO	SP	
NO APLICA	NA	

Ilustración 14 Tabla de Categorización de EIA

En donde:

- **No Significativo:** Existe recuperación inmediata del medio tras el cese de la acción del proyecto, no se necesitan prácticas mitigadoras.
- **Moderado:** La recuperación de las condiciones iniciales de los factores ambientales afectados requieren cierto tiempo, se precisan prácticas de mitigación simples.
- **Significativo Negativo:** La magnitud del impacto exige para la recuperación de las condiciones la adecuación de prácticas específicas de mitigación.
- **Significativo Positivo:** El impacto genera un beneficio ambiental ya sea al medio físico, biótico y humano.
- **No Aplica:** La interacción de la acción y el factor ambiental no es pertinente al proyecto en evaluación.

Una vez llena la matriz se procede a realizar un análisis de los impactos identificados por la interacción de las acciones y los factores ambientales.

Factores Ambientales que pueden ser afectados				Acciones que puedan alterar el Medio Ambiente				
				Etapa de cambio de aceite de trasformador de potencia			Etapa de Disposición Temporal de los aceites dieléctricos minerales	
				Seguridad y drenaje de aceite usado	Salida del aceite usado al tanque de almacenamiento	Llenado con aceite nuevo	Ordenamiento y clasificación	Disposición temporal
MEDIO NATURAL	Medio Físico	Suelos	Calidad del suelo	SN	SN	SN	SN	SN
			Contaminación	SN	SN	SN	SN	SN
			Fertilidad	SN	SN	SN	SN	SN
			Permeabilidad	SN	SN	SN	SN	SN
		Agua	Superficial	NS	NS	NS	NS	NS
			Subterránea	MD	MD	MD	MD	MD
		Atmosfera	Olor	SN	SN	SN	SN	SN
			gases	SN	SN	SN	SN	SN
			Niveles de ruido	NA	NA	NA	NA	NA
	Medio Biótico	Flora	Arboles	NA	NA	NA	NA	NA
			Arbustos	NA	NA	NA	NA	NA
			Cubierta vegetal	NA	NA	NA	NA	NA
		Fauna	Animales terrestres	MD	MD	MD	MD	MD
			Insectos	NA	NA	NA	NA	NA

			Aves	NA	NA	NA	NA	NA
	Medio Humano	**Socioeconómico**	Salud	SN	SN	SN	SP	SP
			Seguridad	SN	SN	SN	SP	SP
			Nivel de vida	SP	SP	SP	SP	SP

Ilustración 15 Matriz de Leopold

Fuente: Elaboración Propia

De acuerdo a esta evaluación generada a partir de la matriz de Leopold se han obtenido los siguientes resultados:

Según la categoría de evaluación y los criterios establecidos, el 40% de las acciones que puedan alterar el Medio Ambiente son Significativos positivos, el 33% no aplica para esta evaluación, el 11% se considera de carácter moderado, el 10% se considera significativo positivo y solamente un 6% es considerado como no significado.

4.2.1.2 RESULTADOS CUANTITATIVOS

Para poder evaluar y brindar un dictamen ambiental de la localización del sitio de acopio temporal de aceite dieléctrico en tanques de almacenamiento, producto de las actividades de mantenimiento de los transformadores de potencia en la Subestación Eléctrica Santa Fe, se utilizará el Método Cuantitativo de Criterios Múltiples, que consiste en tomar en cuenta los factores ambientales enumerados, asignándoles valores y efectuando la ponderación de los mismos para determinar si la operación de la subestación Santa Fe bajo las prácticas de mantenimiento actuales representan un alto, medio o bajo riesgo ambiental.

La puntuación otorgada a cada factor ambiental presenta la siguiente escala: 1 bajo riesgo ambiental, 2 mediano riesgo ambiental y 3 alto riesgo ambiental, siendo estos asignados considerando las características de toxicidad (peligros a la salud), inflamabilidad, contaminación del agua, contaminación del suelo.

En donde:

- **Bajo Riesgo Ambiental (1):** el sitio no representa ningún peligro para la población, los bienes, el ambiente y los ecosistemas, se precisan prácticas de mitigación simples.

- **Mediano Riesgo Ambiental (2):** el sitio representa un peligro de manifestación inmediata y reversible, para la población, bienes, el ambiente y los ecosistemas, se precisan la adecuación de prácticas específicas de mitigación.

- **Alto Riesgo Ambiental (3):** el sitio representa una amenaza ambiental de manifestación inmediata e irreversible para la población, bienes, ambiente y ecosistemas. El sitio deberá ser cancelado y se hará necesario establecer un sitio que sea más ideal para la disposición del equipo con aceite dieléctrico, es decir donde el medio ambiente se vea lo menos afectado, así mismo se deberán desarrollar medidas específicas de mitigación.

Tabla - Matriz de Criterios Múltiples

Factores Ambientales					Puntuación	Sitios	
						Puntos	Ponderación
MEDIO NATURAL	Medio Físico	Suelo	Pendiente del terreno	0 a 10%	1		
				10 a 20%	2		
				20 a 90%	3		
			Asentamiento y compactar		2		
			Uso Potencial del suelo		2		
			Geomorfología		2		
		Agua	Superficial	0 a 1000 m	3		
				1000 a 2000 m	2		
				2000 a 3000 m	1		
			Subterránea	Nivel freático 0 a 10 m	3		
				Nivel freático 10 a 30 m	2		
				Nivel freático 30 a 60 m	1		
		Atmósfera	Olor		3		
			Contraste Arquitectónico		1		
			Intensidad del Viento		3		
	Medio Biótico	Flora	Arboles		1		
			Arbustos		1		
			Cubierta vegetal		1		
		Fauna	Acuifauna		1		

			Animales terrestres		3		
			Insectos		2		
			Aves		1		
	Medio Humano	**Socioeconómico**	Cercanía de Núcleos Poblaciones	0 a 1000 m	3		
				1000 a 2000 m	2		
				2000 a 3000 m	1		
			Estructuras Comunitarias	Escuelas	3		
				Centros de Salud	3		
				Iglesias	3		
				Centros de Diversión	3		

Ilustración 16 Matriz de Criterios Múltiples

Fuente: Elaboración Propia

Tabla resumen de matriz de criterios múltiples para evaluar cualitativamente el sitio de acopio temporal dentro de la subestación Santa Fe.

Factores Ambientales					**Puntuación**	**Sitios de Acopio Temporal**	
						Puntos	**Ponderación**
MEDIO NATURAL	**Medio Físico**	**Suelo**	Pendiente del terreno	20 a 90%	**3**		**Alto Riesgo A**
			Geomorfología		**2**		**Mediano Riesgo A**
		Agua	Superficial	2000 a 3000 m	**1**		**Bajo Riesgo A**
			Subterránea	Nivel freático 30 a 60 m	**1**		**Bajo Riesgo A**
		Atmósfera	Olor		**3**		**Alto Riesgo A**
			Intensidad del Viento		**2**		**Mediano Riesgo A**
	Medio Biótico	**Flora**	Arboles		**1**		**Bajo Riesgo A**
		Fauna	Animales terrestres		**3**		**Alto riesgo A**
			Insectos		**2**		**Mediano riesgo**
	Medio Humano	**Socioeconómico**	Cercanía de Núcleos Poblaciones	0 a 1000 m	**3**		**Alto Riesgo 3**
			Estructuras Comunitarias	Escuelas	**3**		**Alto riesgo A**
				Centros de Salud	**3**		**Alto riesgo A**
				Iglesias	**3**		**Alto riesgo A**
				Centros de Diversión	**3**		**Alto riesgo A**

Ilustración 17 Tabla Resumen Matriz de Criterios Múltiples

Fuente: Elaboración propia.

Matriz MIIA

La metodología a utilizar para la valoración de los impactos ambientales es la matriz MIIA, método cuantitativo que nos permite manejar un cruce entre actividades que se realizan en el desarrollo de las obras del proyecto y factores ambientales considerados por el consultor. Para ello, se describió dentro de la línea base los aspectos físicos, bióticos y socioeconómicos de la zona.

Elemento tipo de la matriz de importancia MIIA:

La valoración del impacto se mide con base en el grado de manifestación cualitativa del efecto que queda reflejado en lo que definimos como importancia del impacto.

La importancia del impacto es pues, la relación mediante la cual se mide cualitativamente el impacto ambiental, en función tanto del grado de incidencia o intensidad de la alteración producida, como la caracterización del efecto, que responde a su vez a una serie de atributos de tipo cualitativo, tales como extensión, tipo de efecto, plazo de manifestación, persistencia, reversibilidad, recuperabilidad, sinergia, acumulación y periodicidad.

Tabla de situación actual de los doce símbolos de un elemento tipo:

IMPACTO AMBIENTAL	SIGNO	Positivo + Negativo – Indeterminado * Mutable, Relativo, Dependiente		
	VALOR (GRADO DE MANIFESTACIÓN)	IMPORTANCIA (GRADO DE MANIFESTACIÓN CUALITATIVA)	Grado de incidencia	Intensidad
			Caracterización	Extensión Plazo de manifestación Persistencia Reversibilidad Sinergia Acumulación Efecto Periodicidad Recuperabilidad
Recuperabilidad		MAGNITUD (GRADO DE MANIFESTACIÓN CUANTITATIVA)	Cantidad	
			Cantidad	

Ilustración 18 Relaciones que Caracterizan el Impacto Ambiental

+ -	IN
EX	MO
PE	RV
SI	AC
EF	PR
MC	I

Ilustración 19 Situación espacial de los doce símbolos de un elemento tipo

Descripción de los símbolos que conforman el elemento tipo de la matriz de valoración cualitativa o matriz de importancia.

Elemento	Descripción
Signo (+/-)	El signo de efecto, y por lo tanto del impacto hace alusión al carácter beneficioso (+) o perjudicial (-) de las distintas acciones que actúan sobre los distintos factores considerados. Existe la posibilidad de incluir, en algunos casos concretos, debidamente justificados y argumentados, un tercer carácter (*), que reflejaría efectos asociados con circunstancias externas a la actividad, de manera que solamente a través de un estudio global de todas ellas sería posible conocer su naturaleza dañina o beneficiosa.
Intensidad (IN)	Este término se refiere al grado de incidencia de la acción sobre el factor, en el ámbito específico que actúa. La escala de valoración estará comprendida entre 1 y 12, en la que el 12 expresará una destrucción total del factor en el área en la que se produce el efecto (APtotal), y el 1 una afectación mínima. Los valores comprendidos entre esos dos términos reflejarán situaciones intermedias, las cuales deben ser debidamente justificadas y argumentadas.
Extensión (EX)	Se refiere al área de influencia teórica del impacto en relación con el entorno de la actividad (porcentaje de área respecto al entorno en que se manifiesta el efecto). Se utilizará como referencia para cuantificación el Área de Influencia Directa (AID). Si la acción produce un efecto muy localizado, se considerará que el impacto tiene un carácter: Puntual (1). Si, por el contrario, el efecto no admite una ubicación precisa dentro del entorno de la actividad, teniendo una influencia generalizada en todo el, el impacto será Total (8),

	considerando las situaciones intermedias, según su gradación, como impacto Parcial (2) y Extenso (4).
Momento (MO)	El plazo de manifestación del impacto alude al tiempo que transcurre entre la aparición de la acción (to) y el comienzo del efecto (tj) sobre el factor /aspecto ambiental considerado. Cuando el tiempo transcurrido sea nulo, el momento será inmediato, y si es inferior a un año, corto plazo, asignándole en ambos casos un valor (4). Si es un periodo de tiempo que va de 1 a 5 años, medio plazo (2), y si el efecto tarda en manifestarse más de 5 años, largo plazo, con valor asignado de (1). Si concurriese alguna circunstancia que hiciese crítico el momento del impacto, cabría atribuirle un valor cuatro unidades por encima de las especificadas (ruido por la noche en las proximidades de un centro hospitalario –inmediato—, previsible aparición de una plaga o efecto pernicioso en una explotación justo antes de la recolección —medio plazo—).
Persistencia (PE)	Se refiere al tiempo que, permanecería el efecto desde su aparición y, a partir del cual el factor afectado retornaría a las condiciones iniciales previas a la acción por medio naturales, o mediante la introducción de medidas correctoras. Si la permanencia del efecto tiene lugar durante menos de un año, consideramos que la acción produce un efecto fugaz, asignándole un valor (1). Si dura entre 1 y 5 años, temporal (2); y si el efecto tiene una duración superior a los 5 años, consideramos el efecto como permanente asignándole un valor (4).
Reversibilidad (RV)	Se refiere a la posibilidad de reconstrucción del factor afectado como consecuencia de la acción acometida, es decir, la posibilidad de retornar a las condiciones iniciales previas a la acción, por medios naturales, una vez aquella deja de actuar sobre el medio.
Recuperabilidad (MC)	Se refiere a la posibilidad de reconstrucción, total o parcial, del factor afectado como consecuencia de la actividad acometida, es decir las pasibilidades a retornar a las condiciones iniciales previas a la acción, por medio de la intervención humana (introducción de medidas correctoras).
Sinergia (SI)	Este atributo contempla el reforzamiento de dos o más efectos simples. El componente total de la manifestación de los efectos simples, provocada por acciones que actúan simultáneamente, es superior a la que cabría de esperar de la manifestación de efectos cuando las acciones que las provoca actúan de manera independiente y no simultánea. (La dosis letal de un producto A, es DLA y la de un producto B, DLB. Aplicados simultáneamente la dosis letal de ambos productos DLAB es mayor que DLA + DLB).
Acumulación (Ac)	Este atributo da la idea del incremento progresivo de la manifestación del efecto, cuando persiste de forma continuada o reiterada la acción que lo genera.
Efecto (EF)	Este atributo se refiere a la relación causa-efecto en términos de su

	direccionalidad, o sea a la forma de manifestación del efecto sobre un factor, como consecuencia de una acción. Un impacto puede ser directo e indirecto al mismo tiempo, aunque en factores distintos, dado que la escala es excluyente, y no se valora el hecho de que pueda ser directo e indirecto, hay que hacer la valoración excluyente.
Periodicidad (PR)	La periodicidad se refiere a la regularidad de manifestación del efecto, bien sea de manera cíclica o recurrente (efecto periódico), de forma esporádica en el tiempo (efecto irregular), o constante en el tiempo (continuo).
Importancia del impacto (I)	$I = \pm [IN + 2\ EX + MO + PE + PV + SI + AC + EF + PR + MC]$ La importancia del impacto toma valores entre 13 y 100. Presenta valores intermedios (entre 40 y 60) cuando se da alguna de las siguientes circunstancias: Los impactos con valores de importancia inferiores a 25 son irrelevantes, o sea, compatibles, o bien las medidas ambientales se contemplaron en el diseño del proyecto. Los impactos moderados presentan una importancia entre 25 y 50. Serán severos cuando la importancia se encuentre entre 50 y 75 y críticos cuando el valor supere 75.

Tabla de Datos Básicos para la Valoración de Impactos Ambientales

NATURALEZA		**INTENSIDAD (IN) (Grado de Destrucción)**	
Impacto beneficioso	+	Baja	1
		Media	2
		Alta	4
Impacto perjudicial	-	Muy Alta	8
		Total	12
EXTENSIÓN (EX) (Área de influencia)		**MOMENTO (MO) (Plazo de manifestación)**	
Puntual	1	Largo plazo	1
Parcial	2	Medio plazo	2
Extenso	4	Inmediato	4
Total	8	Crítico	(+4)
Crítica	(+4)		
PERSISTENCIA (PE) (Permanencia del efecto)		**REVERSIBILIDAD (RV)**	
Fugaz	1	Corto plazo	1
Temporal	2	Medio plazo	2
Permanente	4	Irreversible	4
SINERGIA(SI) (Potenciación de la manifestación)		**ACUMULACIÓN (AC) (Incremento progresivo)**	
Sin sinergismo (simple)	1	Simple	1
Sinérgico	2	Acumulativo	4

Muy sinérgico	4		
EFECTO (EF) **(Relación causa-efecto)**		**PERIODICIDAD (PR)** **(Regularidad de la manifestación)**	
Indirecto (secundario)	1	Irregular, esporádico o aperiódico y discontinuo	1
Directo	4	Periódico	2
		Continuo	4
RECUPERABILIDAD (MC) **(Reconstrucción por medios humanos)**		**IMPORTANCIA (I)**	
Recuperable inmediato	1	I = ± [3 IN + 2EX + MO + PE + PV + SI + AC + EF + PR + MC]	
Recuperable medio plazo	2		
Recuperable parcialmente, Mitigable y/o compensable	4		
Irrecuperable	8		

Ilustración 20 Tabla 4. Datos Básicos para la Valoración de Impactos Ambientales

MATRIZ MIIA

MATRIZ MIIA										
MEDIO IMPACTADO	Físico									
FACTOR IMPACTADO	SUELO									
IMPACTO POTENCIAL	**Contaminación del suelo:** Contaminación del suelo por derrame de aceite dielectrico usado provenientes del mantenimiento del transformador.									
	Intensidad	**Extension**	**Momento**	**Persistencia**	**Reversibilidad**	**Sinergia**	**Acumulacion**	**Efecto**	**Periodicidad**	**Recuperabilidad**
	IN	*EX*	*MO*	*PE*	*RV*	*SI*	*AC*	*EF*	*PR*	*RC*
	Grado de Destrucción	Área de influencia	Plazo de manifestación	Permanencia del efecto	Cambio en la alteracion	Potenciación de la manifestación	Incremento progresivo	Relación causa-efecto	Regularidad de la manifestación	Reconstrucción por medios humanos
Factor impactado: agua, suelo, aire, flora, fauna, paisaje, cultura	*Baja 1	•Puntual 1	•Largo plazo 1	•Fugaz 1	•Corto plazo 1	•Sin sinergismo (simple) 1	•Simple 1	•Indirecto (secundario) 1	•Irregular, esporádico o aperiódico y discontinuo 1	•Recuperable inmediato 1
	•Media 2	•Parcial 2	•Medio plazo 2	•Temporal 2	•Medio plazo 2	•Sinérgico 2	Acumulativo 4	•Directo 4	•Periódico 2	•Recuperable medio plazo 2
	•Alta 4	•Extenso 4	•Inmediato 4	•Permanente 4	•Irreversible 4	•Muy sinérgico 4			•Continuo 4	•Recuperable parcialmente, Mitigable y/o compensable 4
	•Muy alta 8	•Total 8	•Crítico (+4)							•Irrecuperable 8
	•Total 12	•Crítica (+4)								
Valor Escogido:	8	2	4	2	2	1	4	4	1	4
Importancia I:	-50									
	SEVERO									

$$I = \pm [\, 3\,IN + 2EX + MO + PE + RV + SI + AC + EF + PR + RC \,]$$

Ilustración 21 Matriz MIIA

Fuente: Elaboración propia

Impactos Perjudiciales (-)	
Valor de Importancia	**Característica**
Menor a 25	Irrelevante
De 25 a 50	Moderado
Mayor a 50 a 75	Severo
Mayor a 75	Crítico

Impactos Beneficiosos (+)	
Valor de Importancia	**Característica**
Menor a 25	Irrelevante
De 25 a 50	Moderado
Mayor a 50 a 75	Beneficioso
Mayor a 75	Muy Beneficioso

MATRIZ MIIA										
MEDIO IMPACTADO	Físico									
FACTOR IMPACTADO	Suelo									
IMPACTO POTENCIAL	**Contaminación** : Contaminación del Suelo: por desechos sólidos como ser basuras domestica,trapos,baldes, aceite.									
	Intensidad	**Extension**	**Momento**	**Persistencia**	**Reversibilidad**	**Sinergia**	**Acumulacion**	**Efecto**	**Periodicidad**	**Recuperabilidad**
	IN	*EX*	*MO*	*PE*	*RV*	*SI*	*AC*	*EF*	*PR*	*RC*
	Grado de Destrucción	Área de influencia	Plazo de manifestación	Permanencia del efecto	Cambio en la alteracion	Potenciación de la manifestación	Incremento progresivo	Relación causa-efecto	Regularidad de la manifestación	Reconstrucción por medios humanos
Factor impactado: agua, suelo, aire, flora, fauna, paisaje, cultura	*Baja 1	•Puntual 1	•Largo plazo 1	•Fugaz 1	•Corto plazo 1	•Sin sinergismo (simple) 1	•Simple 1	•Indirecto (secundario) 1	•Irregular, esporádico o aperiódico y discontinuo 1	•Recuperable inmediato 1
	•Media 2	•Parcial 2	•Medio plazo 2	•Temporal 2	•Medio plazo 2	•Sinérgico 2	Acumulativo 4	•Directo 4	•Periódico 2	•Recuperable medio plazo 2
	•Alta 4	•Extenso 4	•Inmediato 4	•Permanente 4	•Irreversible 4	•Muy sinérgico 4			•Continuo 4	•Recuperable parcialmente, Mitigable y/o compensable 4
	•Muy alta 8	•Total 8	•Crítico (+4)							•Irrecuperable 8
	•Total 12	•Crítica (+4)								
Valor Escogido:	1	2	4	2	2	2	4	4	2	4

Importancia I:	-31
	MODERADO

I = ± [3 IN + 2EX + MO + PE + RV + SI + AC + EF + PR + RC]

Impactos Perjudiciales (-)	
Valor de Importancia	**Característica**
Menor a 25	Irrelevante
De 25 a 50	Moderado
Mayor a 50 a 75	Severo
Mayor a 75	Crítico

Impactos Beneficiosos (+)	
Valor de Importancia	**Característica**
Menor a 25	Irrelevante
De 25 a 50	Moderado
Mayor a 50 a 75	Beneficioso
Mayor a 75	Muy Beneficioso

MATRIZ MIIA										
MEDIO IMPACTADO	Físico									
FACTOR IMPACTADO	Agua									
IMPACTO POTENCIAL	Conta	Contaminación de las Aguas Superficiales y Subterráneas: por desechos liquidos (aceites dielectrico)								
	Intensidad	**Extension**	**Momento**	**Persistencia**	**Reversibilidad**	**Sinergia**	**Acumulacion**	**Efecto**	**Periodicidad**	**Recuperabilidad**
	IN	*EX*	*MO*	*PE*	*RV*	*SI*	*AC*	*EF*	*PR*	*RC*
#¡VALOR!	Grado de Destrucción	Área de influencia	Plazo de manifestación	Permanencia del efecto	Cambio en la alteracion	Potenciación de la manifestación	Incremento progresivo	Relación causa-efecto	Regularidad de la manifestación	Reconstrucción por medios humanos
Factor impactado: agua, suelo, aire, flora, fauna, paisaje, cultura	*Baja 1	•Puntual 1	•Largo plazo 1	•Fugaz 1	•Corto plazo 1	•Sin sinergismo (simple) 1	•Simple 1	•Indirecto (secundario) 1	•Irregular, esporádico o aperiódico y discontinuo 1	•Recuperable inmediato 1
	•Media 2	•Parcial 2	•Medio plazo 2	•Temporal 2	•Medio plazo 2	•Sinérgico 2	Acumulativo 4	•Directo 4	•Periódico 2	•Recuperable medio plazo 2
	•Alta 4	•Extenso 4	•Inmediato 4	•Permanente 4	•Irreversible 4	•Muy sinérgico 4			•Continuo 4	•Recuperable parcialmente, Mitigable y/o compensable 4
	•Muy alta 8	•Total 8	•Crítico (+4)							•Irrecuperable 8
	•Total 12	•Crítica (+4)								
Valor Escogido:	2	4	4	2	2	2	1	4	1	4

Importancia I:	-34
	MODERADO

I = ± [3 IN + 2EX + MO + PE + RV + SI + AC + EF + PR + RC]

Impactos Perjudiciales (-)	
Valor de Importancia	**Característica**
Menor a 25	Irrelevante
De 25 a 50	Moderado
Mayor a 50 a 75	Severo
Mayor a 75	Crítico

Impactos Beneficiosos (+)	
Valor de Importancia	**Característica**
Menor a 25	Irrelevante
De 25 a 50	Moderado
Mayor a 50 a 75	Beneficioso
Mayor a 75	Muy Beneficioso

MATRIZ MIIA										
MEDIO IMPACTADO	Físico									
FACTOR IMPACTADO	Paisaje									
IMPACTO POTENCIAL	**Visual:** impacto visual por mantener desechos liquidos y solidos a la intemperie									
	Intensidad	**Extension**	**Momento**	**Persistencia**	**Reversibilidad**	**Sinergia**	**Acumulacion**	**Efecto**	**Periodicidad**	**Recuperabilidad**
	IN	*EX*	*MO*	*PE*	*RV*	*SI*	*AC*	*EF*	*PR*	*RC*
	Grado de Destrucción	Área de influencia	Plazo de manifestación	Permanencia del efecto	Cambio en la alteracion	Potenciación de la manifestación	Incremento progresivo	Relación causa-efecto	Regularidad de la manifestación	Reconstrucción por medios humanos
Factor impactado: agua, suelo, aire, flora, fauna, paisaje, cultura	*Baja 1	•Puntual 1	•Largo plazo 1	•Fugaz 1	•Corto plazo 1	•Sin sinergismo (simple) 1	•Simple 1	•Indirecto (secundario) 1	•Irregular, esporádico o aperiódico y discontinuo 1	•Recuperable inmediato 1
	•Media 2	•Parcial 2	•Medio plazo 2	•Temporal 2	•Medio plazo 2	•Sinérgico 2	Acumulativo 4	•Directo 4	•Periódico 2	•Recuperable medio plazo 2
	•Alta 4	•Extenso 4	•Inmediato 4	•Permanente 4	•Irreversible 4	•Muy sinérgico 4			•Continuo 4	•Recuperable parcialmente, Mitigable y/o compensable 4
	•Muy alta 8	•Total 8	•Crítico (+4)							•Irrecuperable 8
	•Total 12	•Crítica (+4)								
Valor Escogido:	1	1	2	2	2	2	1	4	4	4

Importancia I:	-26
	Moderado

$$I = \pm [\, 3\,IN + 2EX + MO + PE + RV + SI + AC + EF + PR + RC \,]$$

Impactos Perjudiciales (-)	
Valor de Importancia	**Característica**
Menor a 25	Irrelevante
De 25 a 50	Moderado
Mayor a 50 a 75	Severo
Mayor a 75	Crítico

Impactos Beneficiosos (+)	
Valor de Importancia	**Característica**
Menor a 25	Irrelevante
De 25 a 50	Moderado
Mayor a 50 a 75	Beneficioso
Mayor a 75	Muy Beneficioso

MATRIZ MIIA										
	Físico									
FACTOR IMPACTADO	Agua									
IMPACTO POTENCIAL	**Contaminación de las Aguas Superficiales y Subterráneas**: por desechos sólidos como ser basuras comunes, repuestos usados de maquinaria, filtros, aceites y neumáticos.									
Factor impactado: agua, suelo flora, fauna, paisaje, cultu	**Intensidad**	**Extension**	**Momento**	**Persistencia**	**Reversibilidad**	**Sinergia**	**Acumulacion**	**Efecto**	**Periodicidad**	**Recuperabilidad**
	IN	*EX*	*MO*	*PE*	*RV*	*SI*	*AC*	*EF*	*PR*	*RC*
	Grado de Destrucción	Área de influencia	Plazo de manifestación	Permanencia del efecto	Cambio en la alteracion	Potenciación de la manifestación	Incremento progresivo	Relación causa-efecto	Regularidad de la manifestación	Reconstrucción por medios humanos
	*Baja 1	•Puntual 1	•Largo plazo 1	•Fugaz 1	•Corto plazo 1	•Sin sinergismo (simple) 1	•Simple 1	•Indirecto (secundario) 1	•Irregular, esporádico o aperiódico y discontinuo 1	•Recuperable inmediato 1
	•Media 2	•Parcial 2	•Medio plazo 2	•Temporal 2	•Medio plazo 2	•Sinérgico 2	Acumulativo 4	•Directo 4	•Periódico 2	•Recuperable medio plazo 2
	•Alta 4	•Extenso 4	•Inmediato 4	•Permanente 4	•Irreversible 4	•Muy sinérgico 4			•Continuo 4	•Recuperable parcialmente, Mitigable y/o compensable 4
	•Muy alta 8	•Total 8	•Crítico (+4)							•Irrecuperable 8
	•Total 12	•Crítica (+4)								
Valor Escogido:	2	2	2	2	2	2	1	1	1	2

Importancia I:	-23
	IRRELEVANTE

I = ± [3 IN + 2EX + MO + PE + RV + SI + AC + EF + PR + RC]

Impactos Perjudiciales (-)	
Valor de Importancia	**Característica**
Menor a 25	Irrelevante
De 25 a 50	Moderado
Mayor a 50 a 75	Severo
Mayor a 75	Crítico

Impactos Beneficiosos (+)	
Valor de Importancia	**Característica**
Menor a 25	Irrelevante
De 25 a 50	Moderado
Mayor a 50 a 75	Beneficioso
Mayor a 75	Muy Beneficioso

MATRIZ MIIA										
MEDIO IMPACTADO	Socioeconómico									
FACTOR IMPACTADO	POBLACION DENTRO DEL AREA DE INFLUENCIA DIRECTA A LA SUBESTACION									
IMPACTO POTENCIAL	AFECTACION POR LA PRESENCIA D E RESIDUOS PELIGROSOS (ACEITES Y COMBUSTIBLE)									
	Intensidad	**Extension**	**Momento**	**Persistencia**	**Reversibilidad**	**Sinergia**	**Acumulacion**	**Efecto**	**Periodicidad**	**Recuperabilidad**
	IN	*EX*	*MO*	*PE*	*RV*	*SI*	*AC*	*EF*	*PR*	*RC*
	Grado de Destrucción	Área de influencia	Plazo de manifestación	Permanencia del efecto	Cambio en la alteracion	Potenciación de la manifestación	Incremento progresivo	Relación causa-efecto	Regularidad de la manifestación	Reconstrucción por medios humanos
Factor impactado: agua, suelo, aire, flora, fauna, paisaje, cultura	*Baja 1	•Puntual 1	•Largo plazo 1	•Fugaz 1	•Corto plazo 1	•Sin sinergismo (simple) 1	•Simple 1	•Indirecto (secundario) 1	•Irregular, esporádico o aperiódico y discontinuo 1	•Recuperable inmediato 1
	•Media 2	•Parcial 2	•Medio plazo 2	•Temporal 2	•Medio plazo 2	•Sinérgico 2	Acumulativo 4	•Directo 4	•Periódico 2	•Recuperable medio plazo 2
	•Alta 4	•Extenso 4	•Inmediato 4	•Permanente 4	•Irreversible 4	•Muy sinérgico 4			•Continuo 4	•Recuperable parcialmente, Mitigable y/o compensable 4
	•Muy alta 8	•Total 8	•Crítico (+4)							•Irrecuperable 8
	•Total 12	•Crítica (+4)								
Valor Escogido:	4	4	4	2	1	4	4	4	1	4

Importancia I:	44
	MODERADO

I = ± [3 IN + 2EX + MO + PE + RV + SI + AC + EF + PR + RC]

Impactos Perjudiciales (-)	
Valor de Importancia	**Característica**
Menor a 25	Irrelevante
De 25 a 50	Moderado
Mayor a 50 a 75	Severo
Mayor a 75	Crítico

Impactos Beneficiosos (+)	
Valor de Importancia	**Característica**
Menor a 25	Irrelevante
De 25 a 50	Moderado
Mayor a 50 a 75	Beneficioso
Mayor a 75	Muy Beneficioso

MATRIZ MIIA										
MEDIO IMPACTADO	Socioeconómico									
FACTOR IMPACTADO	Recurso Humano									
IMPACTO POTENCIAL	Riesgos laborales derivados de Higiene y Seguridad Ocupacional									
	Intensidad	**Extension**	**Momento**	**Persistencia**	**Reversibilidad**	**Sinergia**	**Acumulacion**	**Efecto**	**Periodicidad**	**Recuperabilidad**
	IN	*EX*	*MO*	*PE*	*RV*	*SI*	*AC*	*EF*	*PR*	*RC*
	Grado de Destrucción	Área de influencia	Plazo de manifestación	Permanencia del efecto	Cambio en la alteracion	Potenciación de la manifestación	Incremento progresivo	Relación causa-efecto	Regularidad de la manifestación	Reconstrucción por medios humanos
	*Baja 1	•Puntual 1	•Largo plazo 1	•Fugaz 1	•Corto plazo 1	•Sin sinergismo (simple) 1	•Simple 1	•Indirecto (secundario) 1	•Irregular, esporádico o aperiódico y discontinuo 1	•Recuperable inmediato 1
	•Media 2	•Parcial 2	•Medio plazo 2	•Temporal 2	•Medio plazo 2	•Sinérgico 2	Acumulativo 4	•Directo 4	•Periódico 2	•Recuperable medio plazo 2
	•Alta 4	•Extenso 4	•Inmediato 4	•Permanente 4	•Irreversible 4	•Muy sinérgico 4			•Continuo 4	•Recuperable parcialmente, Mitigable y/o compensable 4
	•Muy alta 8	•Total 8	•Crítico (+4)							•Irrecuperable 8
	•Total 12	•Crítica (+4)								
Valor Escogido:	2	2	4	2	2	4	4	4	2	4
Importancia I:	-36									
	Moderado									

$$I = \pm [3\,IN + 2EX + MO + PE + RV + SI + AC + EF + PR + RC]$$

Ilustración 22 Matriz MIIA

Fuente: Elaboración Propia

Valor de Importancia	Característica
Menor a 25	Irrelevante
De 25 a 50	Moderado
Mayor a 50 a 75	Severo
Mayor a 75	Crítico

Impactos Beneficiosos (+)	
Valor de Importancia	**Característica**
Menor a 25	Irrelevante
De 25 a 50	Moderado
Mayor a 50 a 75	Beneficioso
Mayor a 75	Muy Beneficioso

Una vez procesados los resultados de las matrices MIIA con los factores considerados en el análisis, se obtuvo el siguiente resumen de datos, el cual permite identificar las tendencias principales y el nivel de impacto ambiental asociado a la operación de la subestación Santa Fe.

MEDIO IMPACTADO	FACTOR IMPACTADO	IMPACTO POTENCIAL	ACTIVIDADES DEL PROYECTO – OPERACIÓN: Contaminación por derrame residuos peligros (aceite usado) provenientes de la operacion en este proyecto.	Contaminación por residuos domesticos provenientes del mantenimiento del proyecto.	Contaminación del agua superficial y subterránea por desechos sólidos y arrastre de sedimentos l	Alteración visual y estética en el entorno, por actividades constructivas..	POBLACION DENTRO DEL AREA DE INFLUENCIA DIRECTA A LA SUBESTACION	Riesgos laborales derivados de mantenimiento Higiene y Seguridad Ocupacion		IMPACTOS AL AMBIENTE: CRITICO	SEVERO	MODERADO	IRRELEVANTES	POSITIVOS
FISICO	**Suelo**	**Contaminación del Suelo**	-51											
	Suelo	Contaminación del Suelo		-31								1		
	Agua	Contaminación del Agua			-23								1	
	Paisaje	Visual				-26						1		
SOCIOECONÓMICO	Economía	Socioeconómico					-44					1		
	Sociedad	Recurso Humano						-36				1		
									Σ	0	0	4	1	0
									x	0	0	29	8	0
IMPACTOS AL AMBIENTE	CRITICO								0	0				
	SEVERO		1						1	8				
	MODERADO			1	1	1			4	29				
	IRRELEVANTES								0	0				
	POSITIVOS								0	0				

Página 1

Ilustración 23 Tabla Resumen Matriz MIIA

Fuente: Elaboración Propia

4.2.2 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

En este apartado se presentan los resultados obtenidos a partir del análisis cualitativo y cuantitativo del manejo de los residuos y desechos generados durante las actividades de mantenimiento en las subestaciones eléctricas de la Empresa Nacional de Energía Eléctrica (ENEE). Para el análisis se aplicaron dos herramientas metodológicas: la Matriz de Leopold, utilizada para la valoración cualitativa de los impactos ambientales, y la Matriz MIIA (Metodología de Identificación e Interpretación de Impactos Ambientales), para la valoración cuantitativa.

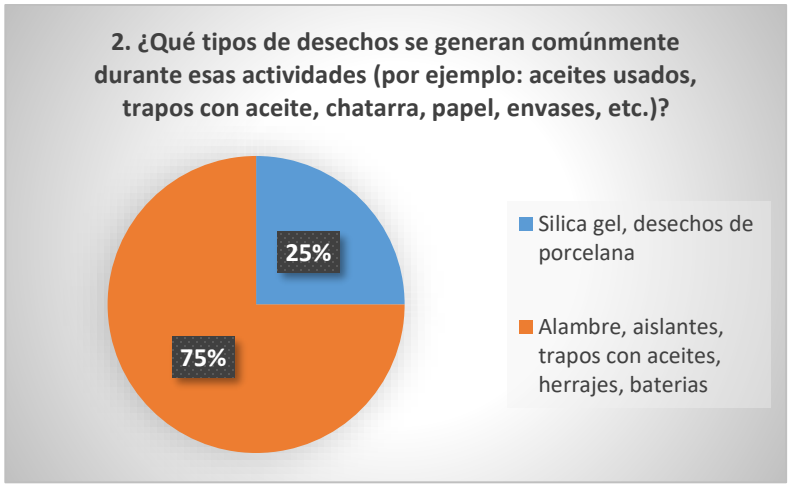
Asimismo, se realizaron entrevistas semiestructuradas a personal técnico que participa en labores de mantenimiento en subestaciones eléctricas, con el fin de obtener información representativa sobre las prácticas actuales de gestión de desechos, recursos disponibles y medidas preventivas.

4.2.2.1 ANALISIS CUALITATIVO

La aplicación de la matriz de identificación de residuos permitió determinar los principales tipos de desechos generados en las subestaciones eléctricas, entre los que destacan: aceites dieléctricos usados, trapos contaminados con aceite, sílica gel, porcelana proveniente de aisladores, baterías de plomo, cables y chatarra metálica.

Cada uno de estos residuos presenta características y niveles de peligrosidad diferenciados. Los aceites dieléctricos usados y las baterías de plomo fueron identificados como los de mayor riesgo ambiental, debido a su alto potencial de contaminación de suelos y cuerpos de agua por la presencia de metales pesados y compuestos tóxicos.

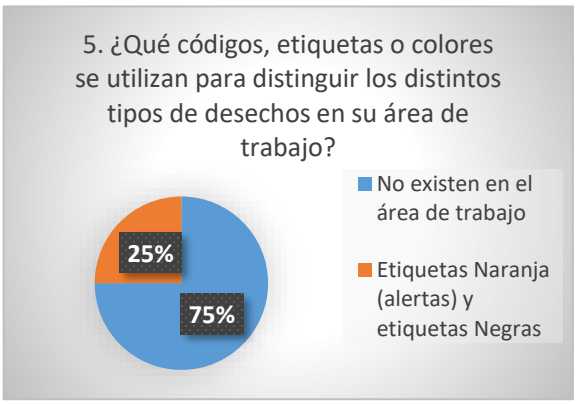
En contraste, materiales como la porcelana de aisladores y la chatarra metálica, aunque no se consideran peligrosos, requieren una disposición adecuada para evitar la acumulación y el impacto visual o físico en las áreas operativas. Este hallazgo evidencia la necesidad de implementar un sistema de manejo diferenciado y seguro, que contemple la segregación, almacenamiento temporal y disposición final conforme a las normativas ambientales vigentes.

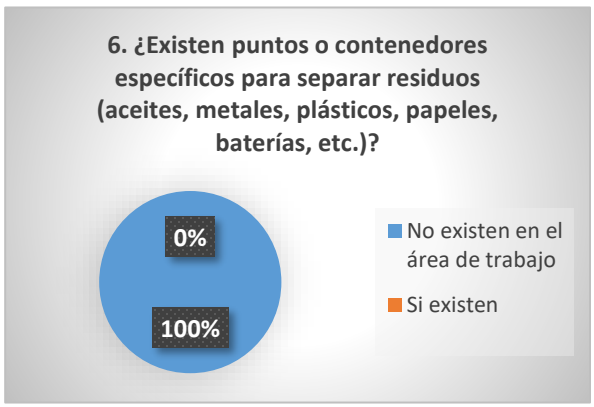


Elaboración: Fuente propia

Se identificó la ausencia de un sistema formal de segregación de desechos en la subestación evaluada. Se evidenció que, en la mayoría de los casos, los desechos peligrosos y no peligrosos son almacenados en un mismo espacio, sin aplicar un sistema de codificación por colores ni un etiquetado estandarizado que permita diferenciarlos adecuadamente.

Esta situación incrementa el riesgo de contaminación cruzada entre materiales incompatibles y dificulta la trazabilidad y control del inventario de residuos, impidiendo una gestión segura y eficiente. Además, la falta de segregación adecuada contraviene las buenas prácticas ambientales y las normativas vigentes sobre manejo de residuos peligrosos, lo cual podría generar impactos negativos tanto en la seguridad del personal como en el medio ambiente.





Elaboración: Fuente Propia

El desarrollo de esta investigación permitió identificar los factores más relevantes que influyen en la gestión adecuada de los desechos generados en las subestaciones eléctricas, agrupados en cuatro dimensiones: ambiental, operativa, legal y económica.

En el ámbito ambiental, se evidenció que existe riesgo potencial de contaminación por derrames o filtraciones de residuos peligrosos, especialmente aceites dieléctricos y ácidos de baterías. Estas condiciones demandan un manejo preventivo más riguroso para minimizar los impactos sobre los ecosistemas circundantes.

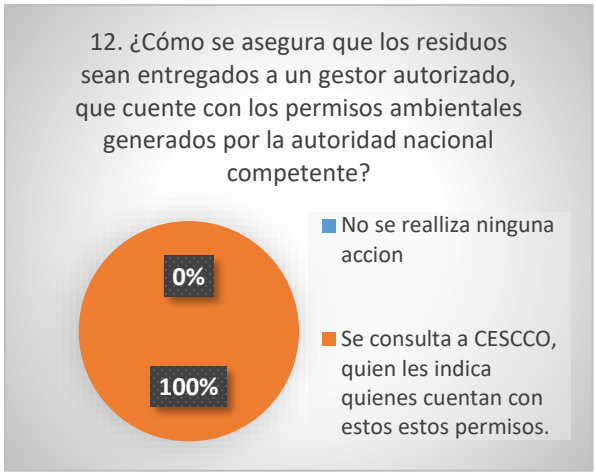
Desde la perspectiva operativa, se identificó la falta de kits antiderrames, la carencia de supervisión constante, falta de capacitaciones al personal para atender una contingencia por derrames, lo que limita la capacidad de respuesta ante incidentes y agrava los riesgos asociados a la manipulación y almacenamiento de residuos.

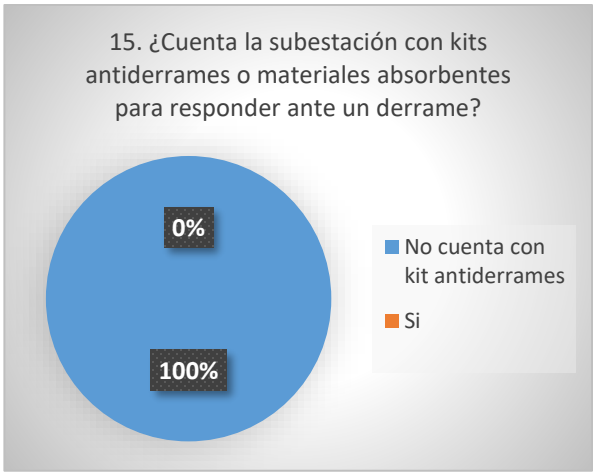
En cuanto al aspecto legal, se constató un cumplimiento parcial de las normativas establecidas por la Secretaría de Recursos Naturales y Ambiente (SERNA) y el Centro de Estudios y Control de Contaminantes (CESCCO). Esto evidencia la necesidad de fortalecer los mecanismos de control interno y la capacitación del personal en materia de legislación ambiental vigente.

En cuanto al aspecto legal-administrativo se evidenció que no existe un convenio de cooperación que priorice y agilice el descargo de los residuos generando una acumulación excesiva de los mismos durante un tiempo prolongado, ya que estos desechos son considerados como activo fijo de la empresa; cabe mencionar que el departamento de Bienes Nacionales es el encargado de gestionar y proteger los bienes del Estado.

Por último, en el componente económico, se observó la ausencia de un presupuesto específico destinado a la gestión de residuos, lo que repercute directamente en la implementación de prácticas adecuadas de manejo, transporte y disposición final. Esta limitación financiera actúa como un obstáculo estructural que dificulta el cumplimiento de los estándares ambientales establecidos.

En conjunto, estos factores reflejan la interrelación entre los aspectos técnicos, normativos, legal, administrativo y financieros que condicionan la efectividad de la gestión ambiental en las subestaciones, subrayando la necesidad de un enfoque integral que considere la prevención, la planificación y la sostenibilidad económica del sistema en el tiempo.





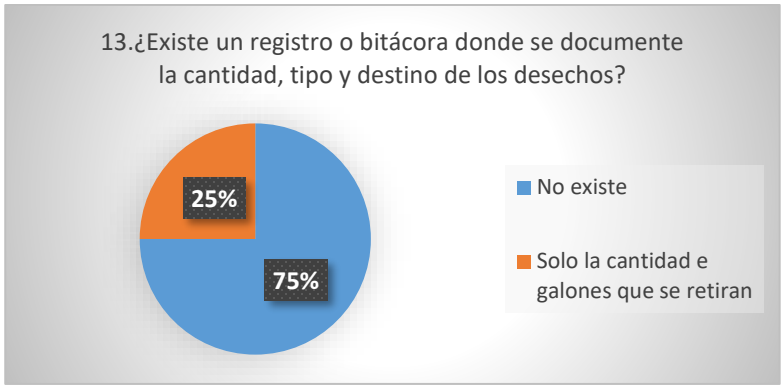
Elaboración: Fuente propia

Al analizar los costos de oportunidad se evidenció que una gestión integral y adecuada de los desechos generados en las subestaciones eléctricas puede generar importantes beneficios económicos, ambientales y operativos. En primer lugar, la correcta segregación, almacenamiento temporal y disposición final de los residuos reduce significativamente los costos asociados a la disposición inadecuada, tales como multas, sanciones o gastos por remediación ambiental derivados de posibles derrames o contaminación.

Desde el punto de vista económico, la implementación de prácticas de valorización y reciclaje permitiría aprovechar materiales recuperables, como metales, cables, porcelana de aisladores y aceites dieléctricos regenerados, los cuales pueden reincorporarse a procesos productivos o ser comercializados, generando ingresos adicionales o ahorros operativos.

Asimismo, la adecuada gestión de los residuos contribuye a mejorar la imagen institucional y cumplir con los estándares ambientales y de responsabilidad social corporativa, fortaleciendo la reputación de la empresa frente a organismos reguladores y la comunidad.

Es importante mencionar que, los costos de oportunidad asociados a la no implementación de un sistema de gestión formal incluyen la pérdida de recursos valorizables, el incremento de riesgos legales y la disminución de eficiencia operativa. En contraste, invertir en una gestión ambientalmente responsable representa una estrategia costo-efectiva y sostenible que favorece la continuidad operativa y el cumplimiento normativo a largo plazo.



Elaboración: Fuente propia.

El análisis de los resultados evidenció la necesidad urgente de establecer un modelo de gestión integral de desechos que responda a las condiciones operativas y ambientales de la subestación Santa Fe de la ENEE. Este modelo debe orientarse al cumplimiento normativo, la prevención de impactos ambientales y la optimización de los recursos disponibles, estructurándose en cuatro ejes fundamentales:

1. Identificación y segregación: clasificación de residuos según peligrosidad.
2. Almacenamiento temporal seguro: uso de contenedores etiquetados y áreas impermeabilizadas.
3. Capacitación y supervisión: formación periódica al personal técnico y creación de una unidad de control ambiental para el proceso de mantenimiento en subestaciones.
4. Gestión externa autorizada: coordinación con gestores certificados por la autoridad nacional (CESCCO) y seguimiento del proceso de disposición final adecuado de los desechos hasta su eliminación.

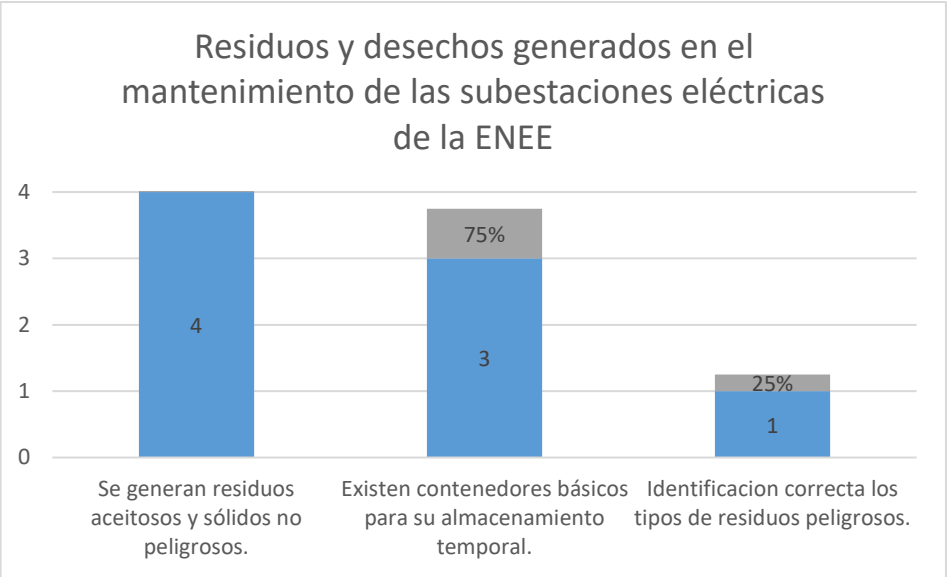
En conjunto, los resultados indican que no existe un modelo integral de gestión de desechos consolidado dentro de las subestaciones de la ENEE. Las prácticas actuales son fragmentadas, reactivas y carecen de lineamientos uniformes, lo que genera ineficiencias operativas, riesgos ambientales y posibles incumplimientos legales. Estos hallazgos evidencian la necesidad de fortalecer la gestión ambiental institucional, con un enfoque preventivo y sostenible, basado en la integración de procesos, responsabilidades y recursos.

4.2.2.2 ANALISIS CUANTITATIVO

De acuerdo a los datos obtenidos asociados a la generación de desechos produto del mantenimiento de la sub estción se obtuvieron valores de importancia entre -26 y -50, clasificándose como moderados a severos. El impacto más crítico fue la contaminación del suelo por derrame de aceites dieléctricos (I = -50, severo), seguido por la contaminación de aguas superficiales y subterráneas (I = -34, moderado).

Datos de entrevistas:

- 100% de los entrevistados reportó generación de residuos aceitosos y sólidos no peligrosos.
- 75% mencionó la existencia de contenedores básicos para su almacenamiento temporal.
- 25% identificó de forma correcta los tipos de residuos peligrosos.



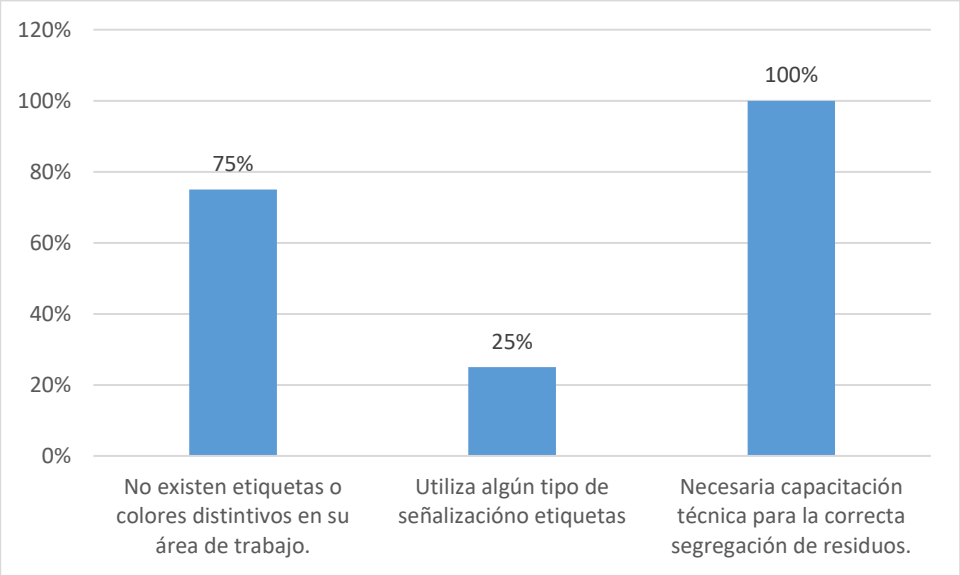
Elaboración: Fuente propia.

El manejo inadecuado de la segregación presenta un valor medio de impacto de I = -31, clasificado como moderado, asociado a contaminación de suelo y exposición del personal técnico.

Datos de entrevistas:

- 75% afirmó que no existen etiquetas o colores distintivos en su área de trabajo.
- Solo un 25% utiliza algún tipo de señalización.

- El 100% coincidió en la necesidad de capacitación técnica para la correcta segregación de residuos.

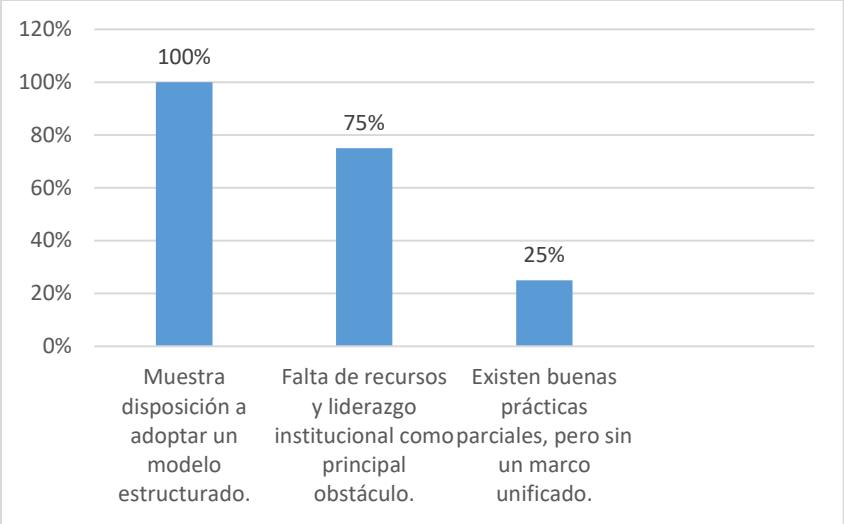


Elaboración: Fuente propia.

Los impactos derivados de la gestión deficiente de los desechos generados durante las actividades de mantenimiento en las subestaciones (sin registro ni supervisión ambiental) obtuvieron valores entre -26 y -36, lo que los clasifica como moderados.

Datos de entrevistas:

- 100% de los entrevistados indicó que no existen bitácoras de desechos.
- 100% reconoció que no cuentan con kits antiderrames.
- 75% señaló falta de un supervisor ambiental en las subestaciones.
- Solo 25% mencionó alguna supervisión técnica eventual.



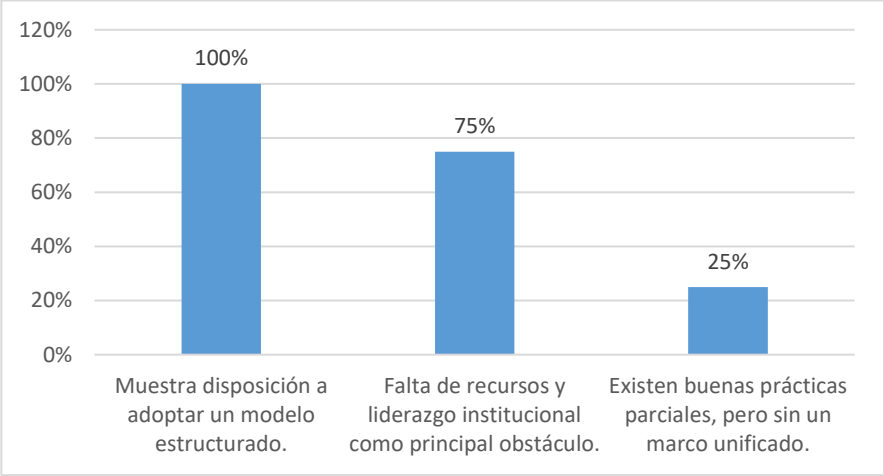
Elaboración: Fuente propia.

Se ha analizado que la implementación de una adecuada gestión de los desechos identificados dentro de la sub estación Santa Fe, se podría ver reflejada en la reducción de los costos de manejo de sus desechos y una importante mejora en el tema de salud y seguridad de los colaboradores y de la población circundante a la subestación. Los impactos negativos actuales (por mala disposición) se ubican en I = -36, moderados, pero mitigables con inversión moderada.

Datos de entrevistas:

- 100% de los técnicos coincidieron en que los recursos actuales son insuficientes.
- 75% sugirió capacitaciones y presupuesto ambiental propio.

- 25% propuso la creación de una unidad ambiental dentro de la Subestación Santa Fe.

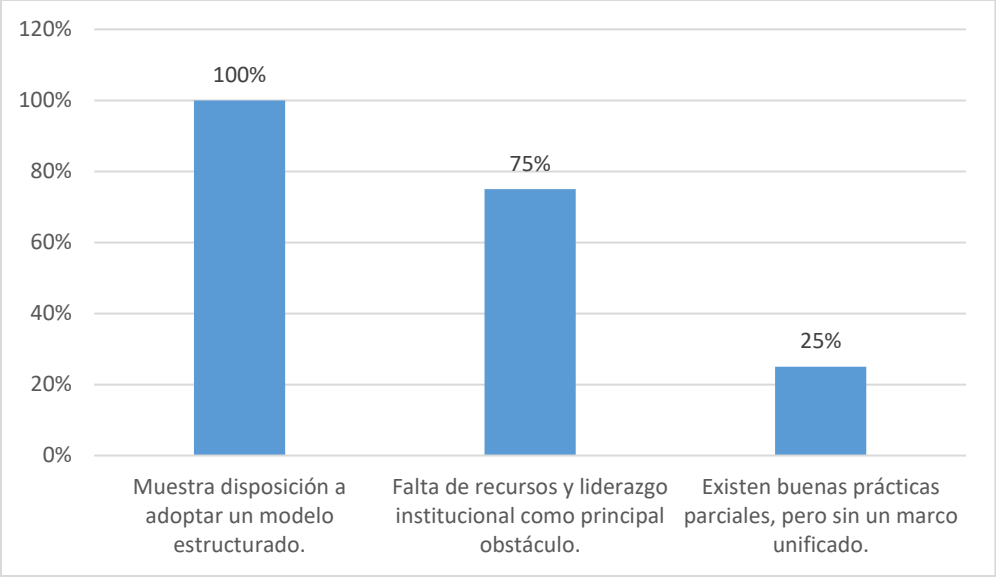


Elaboración: Fuente propia.

El impacto positivo de implementar el modelo de gestión integral se calcula en una reducción de 60% de los riesgos ambientales y mejora del 70% en el cumplimiento normativo. Los indicadores proyectados pasarían de una media de I = -35 (moderado) a I=-10 (bajo) una vez aplicado el modelo.

Datos de entrevistas:

- 100% del personal mostró disposición a adoptar un modelo estructurado.
- 75% señaló la falta de recursos y liderazgo institucional como principal obstáculo.
- 25% indicó que ya existen buenas prácticas parciales, pero sin un marco unificado.



Elaboración: Fuente propia.

2.2.3 INFERENCIAL

La hipótesis planteada en el capítulo 3 para esta investigación, se definió de la manera siguiente:

Hipótesis nula (H_0): La operación de la subestación eléctrica Santa Fe no presenta impactos ambientales significativos bajo las condiciones y prácticas actuales.

Hipótesis de investigación (H_1): La operación de la subestación eléctrica Santa Fe sí presenta impactos ambientales significativos bajo las condiciones y prácticas actuales.

El propósito de este análisis inferencial es determinar, a partir de los datos cualitativos y cuantitativos obtenidos, si existen evidencias suficientes para rechazar la hipótesis nula (H_0) y aceptar la hipótesis de investigación (H_1).

Para la comprobación de la hipótesis se integraron los resultados de la Matriz de Leopold (análisis cualitativo) y la Matriz MIIA (análisis cuantitativo).

- **Número de variables analizadas:** 6 categorías de impacto ambiental (suelo, agua, salud ocupacional, socioeconómicos y paisaje).
- **Escala de valoración (MIIA):** de 0 a -100, donde los valores más negativos indican mayor severidad del impacto.

- **Promedio general obtenido:** $\bar{I} = -36.1$

  Clasificación: Impacto Moderado a Severo.

  De acuerdo con los criterios de la metodología MIIA:

- **Irrelevantes:** 0 a -25
- **Moderados-Severos:** -25 a -50
- **Severos:** -50 a -75
- **Crítico:** Mayor a -75

El promedio (-36.1) ubica los impactos de la subestación dentro del rango moderado-severo, lo cual constituye una evidencia cuantitativa directa de significancia ambiental.

Evidencia cualitativa (Matriz Leopold): Los resultados cualitativos identificaron 5 de 6 componentes ambientales con afectación negativa directa. Los mayores impactos se presentaron en:

- Contaminación del suelo por derrames de aceite dieléctrico.
- Contaminación de aguas superficiales por residuos aceitosos.
- Riesgo ocupacional derivado del manejo inadecuado de residuos peligrosos.

La valoración cualitativa, con frecuencias de impactos altos en el rango de -5 a -8 (en escala de Leopold), confirma una tendencia significativa hacia la afectación negativa.

Evidencia cuantitativa (Matriz MIIA): Los valores medios de importancia para los impactos críticos fueron:

Impacto	Valor I	Clasificación
Contaminación del suelo	-50	Severo
Contaminación del agua	-34	Moderado
Riesgo ocupacional	-36	Moderado-severo
Impacto visual	-26	Moderado

Generación de residuos sólidos	-31	Moderado-severo
Afectación poblacional directa	-44	Moderado positivo

Elaboración: Fuente propia.

De los seis parámetros, cinco presentan valores negativos significativos, superando el umbral de -30. Esto indica que el 83% de las variables ambientales evaluadas están afectadas de manera negativa y significativa.

Evidencia de entrevistas: El 100% del personal técnico entrevistado reconoció la existencia de residuos peligrosos, la falta de contención de derrames y la ausencia de control ambiental formal.

El 75% manifestó que no existe segregación ni etiquetado adecuado, lo cual coincide con los resultados de la MIIA. Estos datos refuerzan la consistencia entre la percepción técnica y los resultados de las matrices.

Análisis estadístico descriptivo e inferencial

Si se asume que la media hipotética de impacto no significativo es **μ_0 = -20** (umbral del límite entre impacto leve y moderado), se puede aplicar una prueba t de una muestra para contrastar si el valor promedio observado (**\bar{I} = -36.1**) difiere significativamente de μ_0.

$$t = \frac{\bar{I} - \mu_0}{s/\sqrt{n}}$$

Suponiendo una desviación estándar de **s = 8.2** (variabilidad entre los seis indicadores) y **n = 6** impactos medidos:

$$t = \frac{-36.1 - (-20)}{8.2/\sqrt{6}} = \frac{-16.1}{3.35} = -4.8$$

Con un nivel de confianza del 95% (α = 0.05) y gl = 5, el valor crítico de t es ±2.57. Dado que |-4.8| > 2.57, se rechaza H_0 y se acepta H_1.

Esto demuestra estadísticamente que la operación de la subestación presenta impactos ambientales significativos, con una diferencia media relevante respecto al umbral de no significancia.

Interpretación

- La combinación de los resultados cualitativos, cuantitativos y las entrevistas realizadas confirman que, las actividades de mantenimiento en la subestación Santa Fe genera impactos ambientales negativos al ambiente.
- Los valores de impacto superan el rango de moderación, ubicándose mayoritariamente en la categoría de moderado-severos.
- Las evidencias cualitativas (Leopold) y las entrevistas coinciden en la falta de procedimientos, recursos y control ambiental efectivos, factores que intensifican la magnitud del impacto.
- El análisis inferencial demuestra, con un nivel de confianza del 95%, que la hipótesis de investigación (H_1) es aceptada, concluyendo que la operación actual sí genera impactos ambientales significativos.

Conclusión del análisis inferencial

A partir de los resultados obtenidos y el contraste de hipótesis, se concluye que:

La operación de la subestación eléctrica Santa Fe sí presenta impactos ambientales significativos bajo las condiciones y prácticas actuales de mantenimiento, especialmente en los componentes suelo, agua y seguridad ocupacional.

Por tanto, **se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se acepta la hipótesis alternativa (H_1).**

Este resultado respalda la necesidad de implementar el modelo integral de gestión de desechos propuesto para esta investigación, con el fin de reducir la severidad de los impactos y promover el cumplimiento de la normativa ambiental vigente

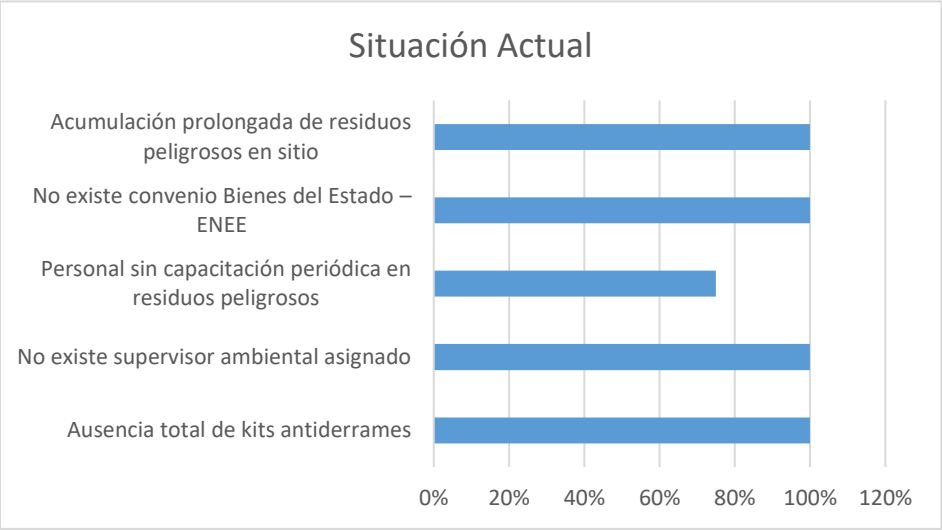
5 CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

En este capítulo se presentan las conclusiones derivadas de la investigación, estrechamente vinculadas con las preguntas de investigación, los objetivos planteados y los resultados obtenidos mediante la metodología cualitativa (entrevistas y observación directa) y la metodología cuantitativa (Matriz MIIA y Matriz de Leopold). Conforme a lo señalado por Sampieri (2014), la integración de enfoques cualitativos y cuantitativos permite comprender con mayor profundidad los fenómenos analizados, lo cual fue fundamental para identificar las deficiencias en el manejo de desechos peligrosos dentro de la Subestación Eléctrica Santa Fe.

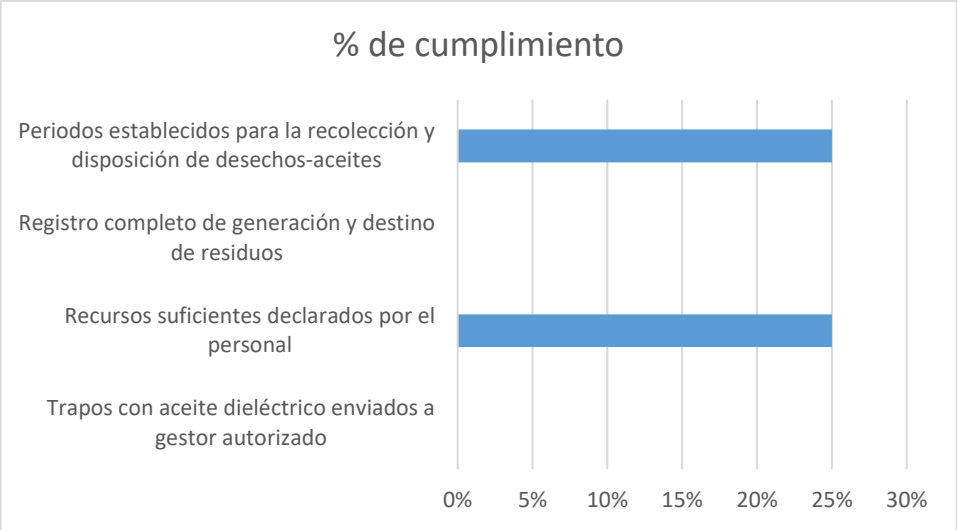
1. De acuerdo con la Ley General del Ambiente en su artículo 66, articulo 69 y Articulo74, y al Reglamento para el Manejo Integral de Residuos Sólidos artículo 21, toda instalación que genere desechos peligrosos debe implementar medidas técnicas para su segregación, almacenamiento y trazabilidad. Sin embargo, se constató la ausencia de contenedores codificados por colores, etiquetas y registros formales de generación y traslado de residuos. Esta falta de manejo integral de los desechos incrementa el riesgo de contaminación cruzada, dificulta la supervisión ambiental y representa un incumplimiento a las obligaciones legales vigentes, lo que podría derivar en sanciones administrativas y responsabilidades ambientales para la ENEE.

2. El análisis de los factores operativos y administrativos evidenció fallas estructurales en la gestión de desechos: no existen kits antiderrames en la subestación, no se cuenta con un supervisor ambiental asignado y el personal no recibe capacitación periódica sobre manejo seguro de residuos peligrosos. A esto se suma la inexistencia de un convenio institucional entre Bienes del estado y la ENEE, el cual debe buscar fortalecer la colaboración entre ambas instituciones para optimizar los procesos de registro y descargo de bienes en el sistema SIAFI asegurando que la información sea precisa y refleje la realidad física y patrimonial de los bienes a nivel nacional.



Elaboración: Fuente propia.

3. Los resultados mostrados en el capítulo IV de esta investigación, evidenciaron que la falta de un sistema formal de gestión de desechos puede llegar a generar impactos de carácter ambiental que conllevan a pérdidas económicas y un aumento del riesgo administrativo, por incumplimiento de una norma legal. En contraste, la implementación de prácticas adecuadas de segregación, almacenamiento y disposición permitiría recuperar o valorizar materiales, reducir costos asociados a remediación y evitar sanciones regulatorias. Se concluye que una gestión adecuada de los desechos representa una estrategia costo-efectiva con beneficios ambientales, económicos y operativos para la ENEE, siendo una alternativa la reutilización, del aceite usado siempre y cuando la calidad del mismo lo permita o el previo tratamiento para remoción de contaminantes insolubles y productos de oxidación, mediante calentamiento, filtración, deshidratación y centrifugación, puede reusarse como aceite de maquinaria de corte o en sistemas hidráulicos. El aceite dieléctrico es uno de los que se puede mantener "limpio" luego de su uso.



Elaboración: Fuente propia.

4. El análisis realizado en la Subestación Eléctrica Santa Fe evidencia que las prácticas actuales de manejo de desechos carecen de un sistema estructurado que permita una gestión integral, continua y verificable. Los resultados obtenidos mediante entrevistas y observación directa, muestran que no existe una metodología estandarizada para la segregación, almacenamiento, registro y disposición final de los residuos, lo que genera variabilidad en los procedimientos y limita la trazabilidad y el cumplimiento de normativas ambientales.

   Estos hallazgos confirman que la subestación requiere un modelo de gestión integral que articule de forma coherente los procesos operativos, los tipos de residuos generados y las obligaciones regulatorias vigentes.

5. De acuerdo a los resultados obtenidos a través de las entrevistas, (Disposición de Desechos en Subestaciones Eléctricas, Anexo 2) y la observación directa demuestran que las condiciones actuales de operación y mantenimiento de la subestación eléctrica Santa Fe generan impactos ambientales que superan los niveles aceptables establecidos en las herramientas de identificación y valoración de impacto ambiental (Matriz MIIA). Se identificó la presencia de afectaciones significativas en los componentes ambientales analizados, concluyendo que la operación de la

subestación Santa Fe, sí presenta impactos ambientales significativos bajo las condiciones y prácticas actuales. Por tanto se acepta la hipótesis de investigación (H_i).

Impactos Perjudiciales (-)		
Valor de Importancia	Característica	Cantidad
Menor a 25	Irrelevante	1
De 25 a 50	Moderado	4
Mayor a 50 a 75	Severo	1
Mayor a 75	Crítico	-

Elaboración: Fuente propia.

Conclusión General: Tras integrar los resultados cualitativos (Matriz de Leopold) y cuantitativos (Matriz MIIA), se identificaron impactos ambientales significativos asociados al manejo inadecuado de los desechos generados durante las actividades de mantenimiento en la subestación Santa Fe. Se confirmó que el 100% de los parámetros evaluados superan los valores aceptables establecidos para un manejo ambiental seguro, lo que demuestra deficiencias tanto en la segregación como en el almacenamiento temporal de residuos peligrosos. Los valores cuantitativos obtenidos (I entre –26 y –50) clasifican los impactos como moderados a severos, indicando que la operación actual requiere mejoras urgentes para reducir los riesgos a niveles aceptables.

5.2 RECOMENDACIONES

Es importante que la ENEE adopte medidas inmediatas para mejorar la gestión de los desechos generados en la Subestación Santa Fe, ya que una administración inadecuada puede derivar en riesgos ambientales, operativos y legales significativos. En ese sentido, las siguientes recomendaciones buscan orientar acciones concretas para fortalecer los procesos de registro, trazabilidad y manejo adecuado de los residuos.

1. En el desarrollo de este proyecto no se logró inventariar y clasificar la cantidad de bidones con aceite dialectico y otros residuos generados, debido a la falta de disponibilidad de tiempo, recursos económico, y logísticos, sin embargo para llevar a cabo un inventario se

recomienda a los futuros investigadores planificar un período de estudio más amplio y contar con un presupuesto que permita realizar; visitas de campo continuas, así mismo establecer convenios o cartas de coordinación con la ENEE para asegurar la participación directa en jornadas de mantenimiento programadas por parte del departamento de mantenimiento de subestaciones que pueda facilitar la observación y cuantificación real de los residuos generados.

2. Crear y mantener registros obligatorios sobre la generación, cantidades, movimientos y disposición final de los desechos, utilizando formatos estandarizados requeridos por el Reglamento General del Manejo de Residuos Sólidos. (publica en La Gaceta en el año 2020).
3. Establecer un libro o sistema digital para la trazabilidad del aceite dieléctrico, desde su extracción hasta su destino final o posible reutilización.
4. Gestionar la instalación de un almacén temporal de residuos peligrosos con las condiciones mínimas: piso impermeabilizado, ventilación, señalización y áreas separadas para residuos sólidos, aceites, metales y materiales contaminados.
5. Establecer un plan de manejo de aceites dieléctricos, evaluando la factibilidad de reutilización mediante procesos de filtración, deshidratación y remoción de contaminantes, siempre que los resultados de laboratorio lo permitan.
6. Priorizar acciones de mitigación inmediata en los puntos donde se identificaron los impactos ambientales más altos en la Matriz Leopold (fuentes de generación, zonas de almacenamiento y traslado interno).
7. Adoptar un Modelo de Gestión Integral de Desechos específico para la Subestación Santa Fe, que incluya: Clasificación y segregación de residuos, cantidad de los residuos, Procedimientos estandarizados, Responsables y roles, Registros y trazabilidad, Entrenamiento del personal, Disposición final y coordinación con entes autorizados y coordinación con gestores externos para la eliminación de los desechos, Auditoría interna anual.

6. CAPÍTULO VI. APLICABILIDAD

En este capítulo se presenta la propuesta de mejora orientada a eliminar o mitigar los impactos ambientales generados por los residuos peligrosos (aceite dieléctrico mineral) dispuestos en la subestación eléctrica Santa Fe, de la Empresa Nacional de Energía Eléctrica (ENEE).

6.1 **NOMBRE DE LA PROPUESTA:** Centro de Acopio para Almacenamiento de Residuos Peligrosos.

Con los resultados obtenidos a través de las metodologías cualitativa (Matriz de Leopold) y metodología cuantitativa (Matriz MIIA) en el capítulo IV, se evidencia la necesidad de contar con un centro de acopio para almacenamiento temporal del aceite dieléctrico producto del mantenimiento en la subestación Santa Fe.

6.2 JUSTIFICACIÓN DE LA PROPUESTA CENTRO DE ACOPIO PARA ALMACENAMIENTO TEMPORAL DE RESIDUOS PELIGROSOS.

La mala gestión de residuos peligrosos, como aceites dieléctricos, trapos contaminados y envases con sustancias químicas, puede generar impactos significativos en la salud de los trabajadores y en el medio ambiente, incrementando el riesgo de exposición a sustancias tóxicas, derrames y contaminación del suelo o fuentes de agua. (Secretaría de Recursos Naturales y Ambiente – SERNA, 2018).

A la fecha actual, muchos contenedores (barriles, bidones) que almacenan aceite dieléctrico, dejaron de estar en operación, dando lugar a que existan grandes cantidades de estos en estado de desuso y así mismo, dispuestos en las diferentes áreas de la su estación eléctrica Santa Fe propiedad de ENEE, muy cerca a las oficinas del personal de la empresa y población aledaña, esta situación se considera de alto riesgo para la salud de los mismos y el medio ambiente.

La creación de un centro de acopio debidamente acondicionado permitirá garantizar un almacenamiento temporal seguro, evitando fugas, derrames y el contacto directo del personal con desechos peligrosos. Esto podría reducir de manera considerable los riesgos de accidentes laborales, intoxicaciones, incendios y afectaciones ambientales. Asimismo, disponer de un espacio diseñado para la segregación, clasificación y control de residuos fortalece el cumplimiento de la

Ley General del Ambiente y del Reglamento para el Manejo Integral de Residuos Sólidos, asegurando trazabilidad y manejo adecuado durante todas las etapas del proceso.

Además, un sistema de acopio organizado y regulado, mejora la eficiencia operativa y facilita la posterior recolección y disposición final por gestores autorizados. Esto no solo protege a los trabajadores y al entorno, sino que también contribuye a fortalecer la responsabilidad ambiental de la ENEE, promoviendo prácticas sostenibles dentro de sus subestaciones eléctricas.

La implementación de un centro de acopio es, por tanto, esencial para garantizar un manejo integral, seguro y responsable de los residuos generados durante las actividades de mantenimiento, protegiendo tanto al personal como al ambiente y asegurando el cumplimiento normativo.

6.3 ALCANCE DE LA PROPUESTA

El alcance de la propuesta de un Centro de acopio para el almacenamiento de residuos peligrosos generados por el mantenimiento de la Sub estación Santa Fe de la Empresa Nacional de Energía Eléctrica, debe considerar los siguientes elementos claves:

1. **Identificación del problema:** Realización de un análisis de las prácticas actuales de manejo de residuos en la subestación eléctrica, identificando deficiencias en la segregación, almacenamiento temporal y control de residuos peligrosos generados durante las labores de mantenimiento. Entre los principales problemas detectados destacan la falta de áreas adecuadas para almacenar aceites dieléctricos usados, así como el riesgo de derrames y exposición del personal. Estas deficiencias incrementan la probabilidad de contaminación ambiental y afectan la seguridad operativa del personal técnico.
2. **Objetivo:** El objetivo del proyecto va más allá de disponer de un espacio físico para almacenar residuos. Si no describir una serie de directrices que sirvan como guía de referencia al personal laboral de la Sub estación eléctrica Santa Fe, para implementar acciones que conduzcan a reducir los impactos ambientales negativos que generan al medio ambiente la presencia de aceite dieléctrico almacenado a la intemperie dentro de dicha subestación. La creación de un centro de acopio tiene como finalidad principal garantizar un manejo integral, seguro y regulado de los residuos peligrosos (aceite dieléctrico), lo que genera beneficios adicionales como: reducción del riesgo de contaminación del suelo y

cuerpos de agua, disminución de accidentes laborales por exposición a sustancias peligrosas, fortalecimiento del cumplimiento normativo ambiental y mejora en el control operativo de los residuos generados. Asimismo, un manejo adecuado contribuye a un entorno de trabajo más seguro, ordenado y eficiente dentro de la subestación.

3. **Evaluación de la propuesta:** Se evaluaron diferentes alternativas para el almacenamiento temporal de residuos peligrosos (aceite dieléctrico), considerando factores como la cantidad, el espacio disponible en la subestación, los requisitos técnicos de seguridad, la resistencia de los materiales de construcción, la facilidad de acceso para gestores autorizados y el cumplimiento de la normativa ambiental. Tras este análisis, se determinó que la instalación de un centro de acopio diseñado con pisos impermeables, ventilación adecuada, señalización obligatoria y contenedores codificados, constituye la solución más segura, eficiente y sostenible para la subestación.
4. **Determinación de recursos:** Se identificaron los recursos necesarios para la creación del centro de acopio, incluyendo la estimación de costos de construcción de la infraestructura, adquisición de contenedores para almacenamiento de aceites dieléctricos, bermas de contención, kits antiderrames, señalización y equipo de protección para el personal. Asimismo, se consideraron los requerimientos de capacitación del personal, los costos de mantenimiento del área y los registros documentales necesarios.
5. **Plan de implementación:** Se desarrolló un plan de implementación que incluye los pasos específicos para la instalación del centro de acopio, desde el diseño del espacio y la adecuación del terreno, hasta la adquisición de insumos, capacitación del personal y puesta en marcha del sistema de manejo integral de residuos. El plan contempla la definición de plazos, asignación de responsabilidades, etapas de supervisión, cumplimiento de normativas ambientales y los procedimientos de operación del centro de acopio, garantizando una ejecución ordenada, segura y eficiente, y cualquier otra consideración técnica necesaria para llevar a cabo la implementación del centro de acopio para el almacenamiento de residuos peligrosos.

6.4 DESCRIPCIÓN Y DESARROLLO

6.4.1 DESCRIPCIÓN

La construcción de un centro de acopio para residuos peligrosos dentro de la subestación Eléctrica Santa fe, servirá para acondicionar y almacenar temporalmente los aceites dieléctricos en desuso, los cuales durante el uso perdieron sus propiedades que los hacia operativos y se hace necesaria su sustitución a través de las actividades de mantenimiento a los transformadores de potencia de la ENEE ,la construcción del centro de acopio será la medida de gestión integral, donde los residuos estarán confinados de una forma ordenada y segura, hasta su disposición final ante un gestor autorizado, la operatividad de este centro será una medida de cumpliendo con la legislación nacional e internacional en materia ambiental y de protección a la salud y una medida de mitigación al impacto que generan el mal manejo de los aceites dieléctricos en desuso.

Al construir un centro de acopio para residuos peligrosos, la Empresa Nacional de Energía Eléctrica (ENEE) demuestra su compromiso con el ambiente y su preocupación hacia sus colaboradores protegiendo la salud humana y el entorno en el cual operan. La mala gestión de residuos peligrosos, como aceites dieléctricos, trapos contaminados y envases con sustancias químicas, puede generar impactos significativos en la salud de los trabajadores y en el medio ambiente, incrementando el riesgo de exposición a sustancias tóxicas, derrames y contaminación del suelo o fuentes de agua. (Secretaría de Recursos Naturales y Ambiente – SERNA, 2018).

6.4.2 DESARROLLO

El principal propósito del almacenamiento con de aceite dieléctrico en desuso es evitar su liberación al medio ambiente y prevenir el contacto directo de personas ajenas a la empresa o del personal no autorizado en cada la subestación Santa Fe.

Estos residuos deberán permanecer debidamente almacenados de forma temporal, hasta cumplir con el proceso administrativo y posteriormente sean trasladados al gestor final para su respectiva eliminación.

El almacenamiento se debe realizar teniendo en cuenta las medidas de protección necesarias para evitar los riesgos de derrames o de incendios, los cuales, de acuerdo con la evaluación internacional, son las principales amenazas de la operación de almacenamiento.

De acuerdo a lo anterior, se considera que este tipo de almacenamiento debe de ser una operación de carácter obligatorio en la Sub estación eléctrica Santa Fe, lo cual permitirá tener un control

administrativo, ambiental y de seguridad, cumpliendo así con la legislación que vincula a este tipo de componentes químicos en Honduras.

La propuesta contempla el diseño básico con características mínimas para la construcción de un centro de acopio para el almacenamiento temporal de aceite dieléctrico en desuso. Es necesario mencionar que se han tomado en cuenta aspectos económicos, ambientales, cantidad aproximada de acumulación anual de residuos y espacio físico de la sub estación Santa Fe.
Para la realización de un manejo ambiental del aceite dieléctrico en las instalaciones de la sub estación Santa Fe, se establecen los siguientes pasos a seguir:

Almacenamiento Temporal Bajo Techo

El almacenamiento bajo techo consiste en una instalación que debe de contar con las siguientes características de diseño:

1. Debe garantizarse el aislamiento completo de los contenedores con residuos de aceite dieléctrico, de las oficinas del personal de la empresa, medio ambiente, sin permitir el contacto con aguas lluvias, subterráneas, suelos, animales, etc.
2. Debe estar construida totalmente con materiales incombustibles (Techos y vigas de soporte).
3. Debe contar con áreas auxiliares, como vestuario, instalación sanitaria, ducha de emergencia y lava-ojos, armarios para guardar los elementos de protección personal, medios de comunicación y recipiente para desechar los contaminantes.
4. Localización y altura adecuadas para evitar la incidencia directa de la radiación solar y el ingreso de aguas lluvias sobre los elementos almacenados.
5. Ventilación natural por medio de aberturas en la parte superior e inferior del depósito, contando con ventanas y otros dispositivos con el fin de lograr una mejor circulación de aire.
6. El almacenamiento debe estar construido totalmente con materiales incombustibles.
7. El área de almacenamiento debe diseñarse para contener derrames, lo que incluye piso tipo batea (superficie lisa), con contención perimetral. El sistema de contención debe tener una

capacidad del 125% del volumen del líquido almacenado, teniendo en consideración el volumen ocupado por los equipos y contenedores almacenados.

8. El piso debe ser plano, sin canales de conducción, para no permitir la dispersión del aceite dieléctrico por el área en caso de una fuga, sin embargo, para facilitar las labores de evacuación en caso de un derrame grande dentro del área de contención, puede contar con un tanque colector de aceite en un extremo del almacenamiento.
9. El área de almacenamiento debe impermeabilizarse con pintura epóxica.
10. Contar con salida de emergencia ubicada estratégicamente para abrirse hacia fuera, en áreas que en una emergencia resulten mínimamente contaminadas
11. Contar con aislamiento y encerramiento completo del área.

Marcado

Se deberán marcar los barriles o maxi cubos utilizando marcadores permanentes, colocando sobre la tapadera u otro lugar visible, la numeración secuencial de cada barril que se ingresará al centro de acopio. El marcado de los transformadores permitirá obtener el dato de las cantidades totales de los ejemplares. Con dicha información se calcula la cantidad total de tarimas que se necesitarán para el almacenamiento, considerando las cantidades de barriles por tarimas.

Sellado

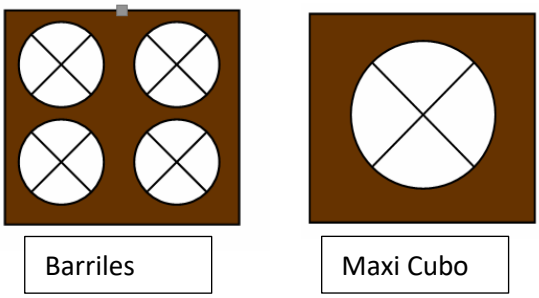
Es importante mencionar que se debe realizar el reajuste de tapaderas, de sellos o roscas que presenten desperfectos con el fin de evitar futuros derrames que contaminen el suelo.

La realización de las labores marcado y sellado, permitirá a las cuadrillas de trabajo facilitar el ordenamiento y realizar las movilizaciones de los equipos con menos riesgo de ocasionar derrames.

Es necesario mencionar que estas labores deben de hacerse de forma paralela, es decir con dos frentes de trabajo a la vez, una vez se haya construido el centro de acopio y haya entrado en vigencia la presente guía de buenas prácticas, estas operaciones deberán ser de carácter obligatorio en el centro de acopio de la sub estación Santa Fe.

Ordenamiento y Rotulación

Una vez marcados y sellados los contenedores, se procede a montarlos sobre tarimas para su ordenamiento., estas tarimas deben de ser de madera, considerando las dimensiones estándares de las tarimas (1.20 m x 1.20 m), se estima la colocación de 4 barriles de 55 galones (diámetro ≈ 57.15 cm) la cantidad de barriles o maxi cubos por tarima según su tamaño.



El ordenamiento de los contenedores contempla colocar las tarimas a 1 metro de distancia de una con respecto a la otra y formando líneas de barriles o maxi cubos; de esta manera se permite disponer del espacio suficiente para que el personal encargado del manejo de los contenedores con aceite pueda realizar las maniobras necesarias para la ordenamiento y disposición final.

Es necesario tomar en cuenta que al momento de realizar el montaje de los barriles o maxi cubos sobre las tarimas, el operario del hyster (monta carga), debe de colocar los contenedores a manera de que la numeración de referencia se encuentre totalmente visible; ya que, de esta manera

al momento de levantar los inventarios, los técnicos cuenten con la visión adecuada para la recolección de los datos técnicos de cada ejemplar. La medida anterior reduce los tiempos en el levantamiento de inventarios.

Los inventarios de los contenedores de aceites dieléctricos en desuso de la sub estación Santa Fe, serán indicadores que permitirán a la ENEE tener un preámbulo de la cantidad de contenedores con aceite dieléctrico a nivel de la sub estación, estos inventarios son documentos claves para la obtención del permiso de descargo ante bienes nacionales, en caso de que la administración de la ENEE autorice un proceso de subasta nacional o eliminación a través de un gestor certificado.

Deberán ser inventariados y contabilizados todos los barriles con aceite dieléctrico en estado de desuso que se encuentren dentro de la Sub estación Santa Fe.

Para la realización de los inventarios se deben de disponer de dos personas como mínimo en cada Sistema Regional, quienes deben de tomar el tiempo necesario para recolectar con precisión la numeración sistemática de cada contenedor que se esté inventariando, considerando que la calidad de los datos recolectados servirá de referencia para establecer un registro del volumen total de contenedores con aceite dieléctrico.

Una vez elaborada la tabla de inventarios, es decir que se haya identificado la cantidad de contenedores con aceite en desuso, de acuerdo a su número correlativo, se debe proceder al etiquetado de los mismos.

Etiquetado de Transformadores

Este proceso consiste en colocar una etiqueta a cada barril o maxi cubo con aceite dieléctrico en desuso libre PCB´s. Esta etiqueta beberá ser de color azul y deberá contener la información que se muestra en la siguiente imagen:

Ilustración 24 Etiqueta para barrriles con aceite

Observaciones de los componentes a considerar para el centro de acopio para el almacenamiento de aceite dieléctrico:

COMPONENTE	OBSERVACIONES TÉCNICAS / VENTAJAS	LIMITACIONES / ASPECTOS CRÍTICOS
Losa de Concreto y Piso de Contención	-Resistencia mínima recomendada f'c = 3,000 psi. -Permite soportar carga de barriles y equipos. Puede recubrirse con pintura epóxica resistente a hidrocarburos. -Provee una superficie uniforme, de fácil limpieza y baja absorción.	-Alto costo inicial. -Requiere mano de obra especializada. -Puede fisurarse si no se controla la expansión térmica.
Dique Perimetral / Contención Secundaria	-Evita fuga de aceite al ambiente. -Capacidad de contención ≥110% del volumen almacenado. -Material duradero y de bajo mantenimiento.	-Requiere cálculo hidráulico. Incrementa el costo de obra civil. -Debe limpiarse periódicamente para evitar acumulación de agua o sedimento.
Techo Metálico y Protección Climática	-Reduce exposición del aceite a radiación solar. -Controla temperatura interna y evita degradación del producto. -Disminuye ingreso de agua de lluvia. -Requiere poco mantenimiento.	-Costo inicial elevado. -Necesita estructura metálica anticorrosiva. -Puede generar ruido en condiciones de viento o lluvia fuerte.
Ventilación Natural Cruzada	-Mantiene condiciones adecuadas de temperatura. -Reduce vapores y la acumulación de olores. -Bajo costo de operación (no usa energía).	-No controla la temperatura con precisión. -Depende de condiciones ambientales externas.
Tarimas para Barriles (plásticas o metálicas)	-Evitan contacto del barril con el piso. -Facilitan inspección, limpieza y manipulación. -Materiales resistentes a hidrocarburos.	-Requieren reemplazo periódicamente. -Pueden deformarse con cargas excesivas.
Sistema de Canaletas y Drenaje Interno	-Facilita recolección de derrames. -Evita que el aceite se disperse por el área. -Permite dirigir residuos hacia un punto de recolección.	-No puede conectarse al sistema pluvial o sanitario. -Requiere mantenimiento constante para evitar obstrucciones.
COMPONENTE	**OBSERVACIONES TÉCNICAS / VENTAJAS**	**LIMITACIONES / ASPECTOS CRÍTICOS**

Kits Antiderrames y Absorbentes	-Permiten actuación inmediata ante incidentes. -Alta eficiencia de absorción de hidrocarburos. -Bajo costo.	-Deben reponerse tras cada incidente. -No sustituyen la contención primaria.
Señalización de Seguridad	-Identifica riesgos y normas de operación. -Reduce probabilidad de errores operativos. -Asegura cumplimiento de normativas ambientales.	-Puede deteriorarse por exposición al clima. -Requiere reposición periódica.
Iluminación (posiblemente a prueba de explosión)	-Asegura visibilidad adecuada en inspecciones nocturnas. -Los equipos EX reducen riesgos en zonas con vapores.	-Mayor costo en luminarias y cableado. -Requiere instalación profesional.
Accesos y Zonas de Maniobra	-Proveen circulación segura de montacargas y camiones. -Facilitan carga y descarga de barriles.	-Deben diseñarse considerando radios de giro. -Ocupan espacio adicional.
Sistema de Control y Registro	-Permite trazabilidad del aceite almacenado. -Facilita gestión de inventario y retiro.	-Requiere personal capacitado. -Necesita dispositivos o formatos específicos.
Protección Contra Incendios	-Uso de extintores tipo ABC. -Reduce riesgo por combustibles líquidos. -Cumple normativas de seguridad industrial.	-Necesita inspecciones mensuales. -Requiere recarga anual y capacitación.

6.5 MEDIDAS DE CONTROL

6.5.1 MEDIDAS DE CONTROL PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL CENTRO DE ACOPIO DE ACEITES DIELÉCTRICOS MINERALES USADOS (LIBRES DE PCB'S)

Durante la construcción e implementación del centro de acopio es indispensable establecer una serie de indicadores técnicos y operativos que aseguren el cumplimiento de las normas ambientales, la integridad del almacenamiento y la prevención de derrames. Entre las principales mediciones y controles se incluyen:

1. Licencia ambiental

El centro de acopio deberá contar con una licencia ambiental que certifique su operatividad ante el ente regulador en este caso la Secretaria de Recursos Naturales y Ambiente (SERNA), la licencia vendrá acompañada de las medidas de control ambiental, las cuales están diseñadas para evitar impactos al ambiente y daños a la salud humana.

2. Verificación de capacidad de almacenamiento

Se debe validar la capacidad total del centro de acopio en función del número de barriles o contenedores esperados. Esto incluye calcular el volumen máximo permitido y garantizar que la bodega cuente con capacidad de retención secundaria equivalente al 110% del contenedor de mayor tamaño, conforme a prácticas recomendadas en la gestión de residuos peligrosos.

3. Evaluación de integridad de la losa y áreas de contención

Antes de la puesta en marcha, se debe inspeccionar visual y técnicamente la losa impermeabilizada y los bordillos perimetrales. Se validará la ausencia de fisuras, pendientes adecuadas hacia la canaleta y la correcta instalación del sistema de captación de derrames. Cuando sea necesario, se emplearán pruebas de estanqueidad con agua para asegurar el funcionamiento del sistema.

4. Control de ventilación y temperatura interna

Aunque los aceites dieléctricos minerales son estables, es necesario medir la temperatura promedio del recinto y garantizar una adecuada ventilación para evitar acumulación de vapores. Pueden emplearse termómetros ambientales y medir corrientes de aire mediante un anemómetro portátil.

5. Señalización y rotulación del área

Previo a su operación, deben verificarse la instalación y visibilidad de los rótulos de seguridad:

- Inflamables
- Equipo libre de PCB's
- Prohibido fumar
- Kit antiderrame
- Equipo de emergencia

La inspección debe asegurarse de que los rótulos cumplan con normas internacionales de seguridad (ANSI Z535 o equivalentes).

6. Evaluación de equipos de emergencia

Consiste en verificar la disponibilidad y correcta ubicación de:

- Extintores tipo ABC
- Kits antiderrames (almohadillas, paños, absorbentes, barreras)
- Duchas o lava ojos portátiles
- Botiquín de primeros auxilios

Se debe validar que estos equipos estén dentro de su vida útil y ubicados conforme a los planos de diseño.

7. Pruebas iniciales de operación

Antes de la puesta en marcha, se realizan pruebas en seco para comprobar:

- Movilización segura de barriles
- Funcionamiento del sistema de contención
- Correcta circulación interna del personal
- Accesibilidad para vehículos de carga

Estas pruebas permiten realizar ajustes antes del almacenamiento formal de aceites.

6.5.2 MEDIDAS DE CONTROL PARA LA OPERATIVIDAD DEL CENTRO DE ACOPIO DE ACEITES DIELÉCTRICOS MINERALES USADOS (LIBRES DE PCB'S)

1. El almacenamiento de seguridad debe contar con todas las medidas de protección contra incendios, así como de los medios necesarios para la limpieza de derrames como materiales absorbentes, medios de protección y herramientas como pala, recogedor, escoba, cepillos industriales.
2. Debe contar con una persona responsable que realizará inspecciones visuales diarias para detectar anomalías y llevará un registro que contará con los siguientes datos: fecha de entrada del equipo y/o envases, el tipo del mismo (ej. trapo, Barriles con aceites) y la cantidad de cada uno de estos , estadísticas de derrames, pérdidas, recomendaciones y otros accidentes.

<table>
<tr><td>Sede de Generación de los Residuos Peligrosos</td><td colspan="3">SE Santa Fe</td><td>Regional o Ciudad</td><td></td><td>Fecha</td><td></td></tr>
<tr><td>RElaborado por</td><td colspan="3"></td><td>Cargo:</td><td colspan="3"></td></tr>
<tr><td>Luminarias</td><td>Trapos</td><td>Aceite</td><td>Baterías</td><td>RAEES</td><td>Carcasas</td><td>Vidrio</td><td></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="4">
Corrosivo</td><td colspan="4">Recomendaciones:
Indicadores de peligro
Toxico para la salud humana, puede contaminar de manera persistente aire, agua, suelo y los organismos vivos.</td></tr>
</table>

	Consejos de prudencia Uso de EPP, contar un plan de contingencias, Plan de Mantenimiento y monitoreo, Plan de capacitaciones y un Kit de primeros auxilios.

Fuente: Elaboración propia.

3. El ingreso del personal autorizado se hará con el equipo de seguridad prescrito.
4. Dentro del centro de acopio está terminantemente prohibido fumar, comer o beber.
5. No se permiten fuentes de calor y trabajos en caliente dentro del área de almacenamiento.
6. La operación del centro de acopio debe realizarse solamente por personal capacitado.
7. Los barriles con aceite dieléctrico deben estar almacenados sobre estibas o bandejas individuales, de acuerdo con su estado.
8. El almacén de seguridad debe contar con una bomba, mangueras y demás herramientas destinadas exclusivamente a transvasar los aceites.
9. Disponer de procedimientos para el registro y control de inventarios y movimientos, así como para la realización de inspecciones periódicas, mantenimiento y entrenamiento del personal.
10. Las instrucciones operativas deben colocarse en lugares donde se maneje, use o almacene los aceites dieléctricos en desuso
11. El ordenamiento de los equipos contaminados, recipientes y contenedores dentro del área de almacenamiento debe ser seguro, evitándose el apilamiento de ellos toda vez que sea posible; accesible, conservando vías de acceso para la inspección o en caso de emergencias; ordenado, para conservar pasos y vías de transito interno del montacargas; y con la

identificación del material a la vista (rótulos). Cuando el espacio sea insuficiente no se deben apilar más de dos tambores, en caso contrario se usarán contenedores especiales.

Ilustración 25 Sistema de Almacenamiento de Barriles

6.5.3 MEDIDAS DE CONTROL PARA EL MANTENIMIENTO PREVENTIVO DEL CENTRO DE ACOPIO DE ACEITES DIELÉCTRICOS MINERALES USADOS (LIBRES DE PCB'S

Una vez implementado, el centro de acopio requiere un programa de mantenimiento preventivo continuo que garantice su integridad, reduzca riesgos ambientales y cumpla con la legislación vigente. Las medidas principales incluyen:

1. **Elaboración del Informe de Cumplimiento de Medidas Ambientales:**
   Este informe dará a conocer cómo se están implementando las medidas de control ambiental para cada una de las actividades de manejo desarrolladas en el centro de acopio conforme a lo establecido en la licencia ambiental, el mismo será revisado y evaluado para su aprobación a través de la Dirección de Evaluación y Control Ambiental (DECA).

2. **Monitoreo continuo del área de almacenamiento**
   Debe establecerse un sistema de inspección semanal para verificar la condición de barriles, derrames, humedad o corrosión. Se deben revisar las áreas críticas: canaletas, bordillos

perimetrales, derrames retenidos y las tarimas o estibas. Los registros deben documentarse en formularios o bitácoras para mantener trazabilidad.

3. **Limpieza y mantenimiento de la zona de contención:**
   La limpieza del centro debe realizarse de forma programada, especialmente en zonas donde se acumulen residuos, polvo o aceites. Esto incluye:
   - Limpieza de canaletas
   - Lavado de la losa impermeabilizada
   - Cambio de absorbentes usados
   - Revisión del estado físico de las tarimas.

Se recomienda realizar una inspección técnica trimestral para identificar deterioros o fisuras que requieran reparación.

4. **Capacitación del personal:**
   El personal asignado debe recibir capacitación periódica en:
   - Manejo seguro de aceites dieléctricos
   - Técnicas de contención de derrames
   - Uso de equipos de protección personal
   - Aplicación del plan de respuesta ante emergencias
   - Procedimientos de carga y descarga de barriles
   - Plan de contingencia y manual estratégico

Esto asegura que los operadores puedan identificar condiciones anómalas y responder adecuadamente.

5. **Seguimiento del consumo de materiales y recursos:**
   Se debe controlar el uso de materiales esenciales como absorbentes, bolsas para residuos, rótulos, tarimas y papel industrial. Mediante este monitoreo se detectan patrones de uso, se optimizan costos y se asegura la reposición oportuna de suministros para evitar interrupciones en el manejo seguro del aceite.

6. Evaluación de satisfacción y desempeño operacional

Se recomienda realizar encuestas y reuniones periódicas con el personal del área para evaluar:

- Facilidad de operación en el centro
- Percepción del nivel de riesgo
- Condiciones ambientales del área
- Necesidades de mejora.

Estas evaluaciones permiten detectar problemas, fortalecer la cultura de prevención y mejorar la eficiencia del sistema de almacenamiento.

7. Cadena de Registros de Gestores

Se deberán tener identificados los gestores para disposición final de los residuos peligrosos, que estén certificados mediante contrato o convenio para dar un ejemplo:

Tipo de Residuos	Transportador	Gestor Final	Tipo de Gestión	Licencia Ambiental
Baterías	ENEE	LTH	Recuperación de metales pesados	SLAS-3412
RAEES	ENE	RECACEL	Exportación a otro país para recuperar materiales	LA-45-2009
Aceite	ENEE	CENOSA	Co-Generación	LA-86-2000
Carcasas	ENEE	Subasta	Subasta a través de bienes nacionales	N-/A
Vidrio	Diamante	Diamante	Reciclaje	SLAS-000045-2023
Trapos	Recycle	Recycle	Incineración	LA-891-2013
Asbesto	ENEE	Municipalidad del Distrito Central	Confinamiento Celda especial	NA

Fuente: Elaboración propia

8. **Plan de Contingencia y Plan Estratégico:**

   Se deberá elaborar un Plan de Contingencias que contenga los lineamientos de seguridad para transporte, almacenamiento temporal de residuos peligrosos y la Creación del manual que contenga los pasos para el almacenamiento temporal de residuos peligrosos, transporte.

9. **Ejecución y seguimiento:**

   El operador del centro de acopio deberá presentar registros semestrales a la Dirección de medio ambiente de la ENEE de la gestión de residuos y deberá hacer seguimiento a los gestores finales de la disposición final de residuos, según convenio, hasta la eliminación del residuo.

6.6 CRONOGRAMA DE IMPLEMENTACIÓN Y PRESUPUESTO

Una vez que se cuente con el presupuesto para la compra de los materiales y equipos que se necesitan para la construcción del centro de acopio. En esta etapa se llevarán a cabo labores de nivelación del terreno, construcción de la losa de concreto, cunetas perimetrales, trampa de derrames, instalación de techo y ventilación. Posteriormente de la finalización de la construcción del centro de acopio se empezará a realizar las siguientes actividades, para ingresar los barriles con aceite dieléctrico en desuso.

Cronograma de Implementación:

Nº	Actividades	Duración	Inicio	Fin	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11
1	Replanteo y nivelación del terreno del centro de acopio	5 días	02/01/2026	06/01/2026											
2	Construcción de plataforma de concreto impermeabilizada	10 días	07/01/2026	16/01/2026											
3	Instalación de drenajes y sistema de contención de derrames	7 días	17/01/2026	23/01/2026											
4	Construcción de cerramiento perimetral y señalización	7 días	24/01/2026	30/01/2026											
5	Instalación de techado y sistema de ventilación	7 días	31/01/2026	06/02/2026											
6	Marcado y sellado de los barriles	10 días	02/02/2026	11/02/2026											
7	Ordenamiento y rotulación de los barriles	15 días	12/02/2026	26/02/2026											
8	Realización, revisión y análisis de inventarios	20 días	23/02/2026	14/03/2026											
9	Etiquetado de barriles	10 días	02/03/2026	11/03/2026											
10	Disposición de los barriles en el área de almacenamiento	15 días	05/03/2026	19/03/2026											

Fuente: Elaboración propia.

Presupuesto para la implementación:

OBRAS CIVILES				
Rubro	**Descripción**	**Cantidad**	**Precio Unitario (L)**	**Subtotal (L)**
Excavación y nivelación	Limpieza del terreno, retiro de material	1 lote	L5.000,00	L10.000,00
Losa de concreto 10 cm	Concreto f'c=3000 psi, acabado liso	100 m²	L850,00	L85.000,00
Malla electrosoldada	Refuerzo para losa	100 m²	L425,00	L42.500,00
Canaletas perimetrales	25 cm ancho, 10 cm profundidad	20 m	L800,00	L16.000,00
Trampa de derrames	Caja de registro con rejilla metálica	1 unidad	L20.000,00	L20.000,00
Bordillo de contención	15 cm de alto alrededor de la losa	35 m	L550,00	L19.250,00
Mano de obra	Albañilería completa	—	—	L55.000,00
Total Obras Civiles				**L247.750,00**
ESTRUCTURA DE TECHO				
Rubro	**Descripción**	**Cantidad**	**Precio Unitario (L)**	**Subtotal (L)**
Columnas metálicas 2×2	Soporte para el techo	12 unidades	L1.200	L14.400
Cercas metálicas	Estructura de soporte	8 unidades	L1.850	L14.800
Lámina galvanizada cal. 26	Techo completo	24 láminas	L350	L8.400
Canaletas de lámina	Evacuación pluviales	18 unidades	L500	L9.000
Tornillería, anclaje, soldadura		1 lote	—	L8.500
Mano de obra metalmecánica	Instalación	—	—	L40.000
Total estructura de techo				**L95.100**

Continúa.

EQUIPAMIENTO			
Equipo	**Cantidad**	**Precio unitario**	**Subtotal**
Tarimas plásticas	25	L 1,500	L 37,500
Contenedores antiderrame (spill pallets)	5	L15.500,00	L77.500,00
Señalización y rótulos HSEQ	1 paquete	L8.000,00	L8.000,00
Conos, cintas, etiquetas	—	—	L4.000,00
Kit antiderrames	3 kits	L 4,000	L 12,000
Extintores ABC 10 lb	2	L 1,500	L 3,000
Lavaojos portátil	1	L 5,000	L 5,000
Total Equipamiento	—	—	**L89.500,00**
COSTOS ADMINISTRATIVOS			
Rubro			**Subtotal**
Elaboración de planos			L 8,000
Hoja técnica del proyecto			L 3,000
Permiso ambiental (Dictamen)			L 10,000
Supervisión de obra			L 9,000
Total administrativos			**L30.000,00**
Inversión Total			**L462.350,00**

Fuente: Elaboración propia.

Informe Técnico Financiero

Proyecto de Gestión Final de Aceites Contaminantes Periodo de Evaluación: 2026–2031 Inversión Inicial: L. 462,350.00 Tasa de Descuento: 20%

a. Antecedentes del Proyecto

El presente informe evalúa la viabilidad financiera de un proyecto orientado a la gestión final de aceites contaminantes, considerando ingresos derivados de la valorización del residuo (venta por barril), costos operativos, y métricas financieras clave. El objetivo es determinar si la inversión propuesta genera valor económico en el horizonte de seis años.

b. Flujo de Caja Proyectado

Año	Ingresos (L.)	Egresos (L.)	Total Neto (L.)
2026	462,350.00	250,000.00	212,350.00
2027	300,000.00	150,000.00	150,000.00
2028	250,000.00	125,000.00	125,000.00

2029	128,000.00	40,000.00	88,000.00
2030	135,000.00	40,000.00	95,000.00
2031	110,000.00	40,000.00	70,000.00

c. Flujo Neto de Efectivo

Año	Flujo Neto (L.)
2026	-462,350.00
2027	212,350.00
2028	150,000.00
2029	125,000.00
2030	88,000.00
2031	95,000.00
	70,000.00

d. Indicadores Financieros

- Barriles procesados: 1,541.17
- Valor estimado por barril: L. 300.00
- Valor Actual Neto (VAN): L. 586,555.86
- Tasa Interna de Retorno (TIR): 19%

e. Análisis de Viabilidad

El VAN positivo indica que el proyecto genera un retorno superior al costo de capital (20%), lo que sugiere que la inversión es rentable.

La TIR del 19%, aunque ligeramente inferior a la tasa de descuento, se encuentra dentro de un rango aceptable considerando los beneficios ambientales y sociales del proyecto.

El volumen de barriles gestionados y valorizados respalda la sostenibilidad operativa del sistema.

	Inversion	**462,350.00**				
	Tasa	**0.20**				
	2026	2027	2028	2029	2030	2031
Ingresos	462,350	300,000	250,000	128,000	135,000	110,000
Egresos	250,000	150,000	125,000	40,000	40,000	40,000
Total	212,350	150,000	125,000	88,000	95,000	70,000
- 462,350.00	212,350.00	150,000.00	125,000.00	88,000.00	95,000.00	70,000.00

Barriles de 55	1,541
Valor/Barril	300
	462,350

Barriles	**1,541.17**	**VAN**	**586,555.86**
Valor/Barril	**300.00**	**TIR**	**19%**
Total inversion	**462,350.00**		

El valor actual neto (VAN) nos indica en cuanto se incrementa la inversion al cabo de los 6 años analizados.
La tasa interna de retorno (TIR) cuando es mayor que 1 (uno), nos indica que la inversion es viable.
Cuando la TIR es menor que uno nos indica que la inversion no es viable.

F. Conclusion

El proyecto de gestión final de aceites contaminantes presenta una viabilidad financiera favorable, con retornos positivos y recuperación de la inversión en los primeros años. Se recomienda avanzar con la implementación, considerando además los beneficios ambientales asociados a la correcta disposición de residuos peligrosos.

6.7 ENTRENAMIENTO:

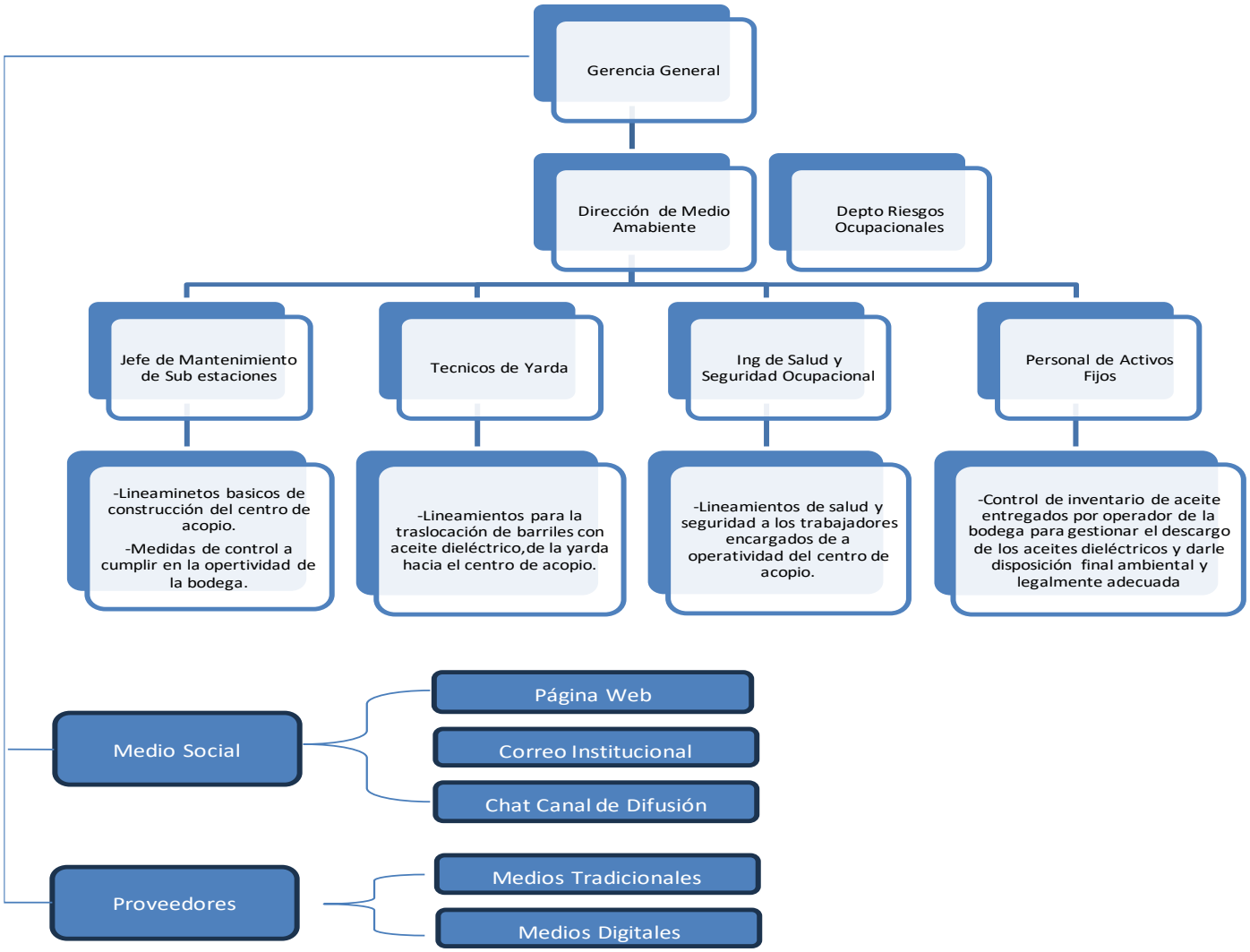
Para la operatividad del centro de acopio residuos peligrosos el personal que lo administrará se le deberá capacitar en los siguientes temas:

1. El personal que operará el centro de acopio deberá contar con el conocimiento mínimo sobre el manejo y control de derrames, utilización del equipo limpieza para derrames como materiales absorbentes, medios de protección y herramientas como pala, recogedor, escoba, y cepillos industriales.
2. Se debe asegurar la adecuada preparación del personal sobre los temas relativos a las características de los aceites, los requisitos para su manejo y la respuesta ante situaciones de emergencia.
3. El personal deberá estar capacitado sobre del Plan de Contingencia y se debe socializar con la Estación de Bomberos o de Defensa Civil más cercana. Dicho plan incluirá acciones de primeros auxilios y protección al trabajador, así como un sistema de capacitación a los operarios y responsables del sector.

6.8 GESTIÓN DE LA COMUNICACIÓN LA PROPUESTA

1. Para garantizar el adecuado desarrollo del proyecto de creación de un Centro de Acopio para el Almacenamiento Temporal de Aceites Dieléctricos en Desuso, se establece un sistema de gestión interna de la comunicación que permita mantener informados y alineados a todos los actores involucrados. La correcta divulgación del avance, las mejoras implementadas y los resultados obtenidos es fundamental para asegurar la eficiencia del proyecto y el cumplimiento de los estándares ambientales, operativos y de seguridad.
2. La gestión interna de la comunicación se estructura mediante el uso de múltiples canales y herramientas, seleccionados para asegurar que la información llegue de forma clara, oportuna y verificable. Entre estos medios se incluyen reuniones técnicas presenciales, informes periódicos, comunicados internos, boletines electrónicos, plataformas digitales corporativas y tableros visibles en planta, lo cual permite un flujo constante y accesible de datos relevantes para todo el personal involucrado en la operación y supervisión del centro de acopio.
3. Asimismo, se fomenta la participación activa del personal técnico y operativo mediante espacios de retroalimentación, donde se abren oportunidades para el análisis de riesgos, la propuesta de mejoras en los procedimientos, y la identificación de oportunidades para optimizar la manipulación, almacenamiento y trazabilidad de los aceites dieléctricos en desuso. Este enfoque favorece una comunicación abierta, transparente y orientada a la mejora continua, garantizando que cada colaborador se sienta parte del proceso y comprometido con los objetivos ambientales y de seguridad del proyecto.
4. Gracias a esta gestión interna de la comunicación, el proyecto asegura que todos los miembros del equipo se mantengan informados del inicio, avance y cierre de cada fase del centro de acopio, fortaleciendo la coordinación interdepartamental y promoviendo un flujo de información eficiente que contribuya al éxito, sostenibilidad y evolución del sistema de gestión de residuos peligrosos en la organización.

A continuación, se detalla el proceso de dirección de la comunicación asociado al proyecto:



Fuente: Elaboración propia.

6.9 CONCORDANCIA DE LOS SEGMENTOS DE LA TESIS CON LA PROPUESTA

Capítulo I			Capítulo II		Capítulo III		Capítulo V		Capítulo VI	
Título de la Investigación.	**Obtetivo General**	**Objetivos Específicos**	**Teoría/ Metodologías de sustento**	**Variables**	**Poblaciones**	**Técnicas**	**Conclusiones**		**Nombre de la Propuesta**	**Objetivos de la Propuesta**
Modelo de Gestión de Desechos Sólidos Derivados del Mantenimiento de Subestaciones Eléctricas de la ENEE	Proponer un modelo integral de gestión de desechos derivados del mantenimiento de las subestaciones eléctricas de la ENEE en Honduras.	Elaborar un inventario de los residuos y desechos generados en el mantenimiento de las subestaciones eléctricas de la ENEE.	Cualitativa Matriz de Leopold	Tiempo de Disposición	En esta investigación se denominó población a los colaboradores que permanecen dentro de la sub estación Santa Fe (Jefe de Subetaciones, Técnico de Yarda, Ing de SST, Técnico de manejo de Resiuos peligrosos) total 4 personas.	Observación Directa y Entrevistaas	De acuerdo con la Ley General del Ambiente en su artículo 66, articulo 69 y Articulo74, y al Reglamento para el Manejo Integral de Residuos Sólidos artículo 21, toda instalación que genere desechos peligrosos debe implementar medidas técnicas para su segregación, almacenamiento y trazabilidad. Sin embargo, se constató la ausencia de contenedores codificados por colores, etiquetas y registros formales de generación y traslado de residuos.		Centro de Acopio para almacenamiento de residuos peligrosos (Aceite dieléctrico).	Como una medida de mitigación y para gestionar el impacto que generan el mal manejo de los aceites dieléctricos en desuso, que surgen de las actividades de mantenimiento a los transformadores de potencia de la ENEE y que se encuentran ubicados a la intemperie y de forma desordenada dentro de la subestación Santa Fe, se propone la construcción de un centro de acopio para residuos peligrosos, que sirva para el almacenamiento temporal de los aceites dieléctricos usados producto de las actividades de mantenimiento, de una forma ordenada y segura, considerando especificaciones técnicas para su construcción y su operación, dicha propuesta estará enmarcada en la legislación nacional vigente, para procurar el cumplimiento legal y la protección al medio ambiente y a la salud
				Gestión ambiental en el proceso de			El análisis de los factores operativos y administrativos evidenció fallas estructurales en la gestión de desechos: no existen kits antiderrames en la subestación, no se cuenta con un supervisor ambiental asignado y el personal no recibe capacitación periódica sobre manejo seguro de residuos peligrosos.			
		Establecer criterios técnicos para la segregación de los desechos, considerando su grado de toxicidad y riesgos asociados.		Disposición transitoria						
		Identificar los factores relevantes (ambientales, operativos, legales y económicos) que influyen en la gestión adecuada de los desechos.	Cuantitativo Matriz MIIA	Suelo			Los resultados mostrados en el capítulo IV de esta investigación, evidenciaron que la falta de un sistema formal de gestión de desechos puede llegar a generar impactos de carácter ambiental que conllevan a pérdidas económicas y un aumento del riesgo administrativo, por incumplimiento de una norma legal.			
		Analizar los costos de oportunidad y posibles beneficios derivados de la adecuada gestión de los desechos.		Agua			Los resultados obtenidos mediante entrevistas y observación directa, muestran que no existe una metodología estandarizada para la segregación, almacenamiento, registro y disposición final de los residuos, lo que genera variabilidad en los procedimientos y limita la trazabilidad y el cumplimiento de normativas ambientales.			
		5. Diseñar una propuesta de modelo de gestión integral de desechos aplicable a las subestaciones de la ENEE.		Aire						

7 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- *Fundacion Endesa*. (2025). Obtenido de https://www.fundacionendesa.org/: https://www.fundacionendesa.org/es/educacion/endesa-educa/recursos/subestaciones-electricas
- *GBTEC*. (2025). Obtenido de gbtec.com: https://www.gbtec.com/es/wiki/gestion-de-procesos/tqm/
- *Grupo Banco Mundial*. (20 de Septiembre de 2018). Obtenido de Bancomundial.org: https://www.bancomundial.org/es/news/immersive-story/2018/09/20/what-a-waste-an-updated-look-into-the-future-of-solid-waste-management
- *Instituto de Seguridad y Bienestar Laboral*. (marzo de 2023). Obtenido de Isbl.eu: https://isbl.eu/2023/03/que-es-un-sistema-de-gestion-y-para-que-sirve-2/
- *La Gaceta.* (2002).
- *MinAmbiente*. (2019). Obtenido de www.minambiente.gov: https://www.minambiente.gov.co/asuntos-ambientales-sectorial-y-urbana/residuos-peligrosos/
- Narvaez, M. (2025). *questionpro.com*. Obtenido de QuestionPro: https://www.questionpro.com/blog/es/tecnicas-de-recoleccion-de-datos/
- Pizarro, G. (Julio de 2024). *Únicaglobal*. Obtenido de Única: https://www.unicaglobal.co/alemania-un-modelo-sostenible-y-eficiente-para-la-gestion-de-residuos/
- Pulido, H., & Salazar, R. (2009). *Control Estadístico de la Calidad y Seis Sigma.* Obtenido de https://www.uv.mx/personal/ermeneses/files/2018/05/6-control-estadistico-de-la
- *RED DE DESARROLLO SOSTENIBLE.* (2015). Obtenido de RED DE DESARROLLO SOSTENIBLE: https://rds.org.co/apc-aa-files/ba03645a7c069b5ed406f13122a61c07/gestion_ambiental.pdf
- *Revista Técnica de Medio Ambiente*. (Abril de 2024). Obtenido de retema.es: https://www.retema.es/actualidad/soluciones-para-la-gestion-de-residuos-solidos-urbanos-en-brasil
- Roberto, D. H. (2006). *Metodologia de la Investigacion.*
- Thomas L. Wheelen, J. D. (2013). *Administración estratégica y política de negocios.*

8 ANEXOS

Anexo A

CARTA DE COMPROMISO PARA ASESORÍA TEMÁTICA

Señores Facultad de Postgrado UNITEC.

Por este medio yo José Emilio Medina, con Identidad No. 08011980065308
Ingeniero Ambiental
Máster en Gestión de Proyectos
Máster en Gestión de Energías Renovables
Máster en Desarrollo Sostenible
Doctor en Ciencias Ambientales
Doctorado en Economía y Empresas

Hago constar que asumo la responsabilidad de asesorar técnicamente el trabajo de Tesis de Maestría denominado: **Modelo de gestión de desechos derivados del mantenimiento de subestaciones eléctricas de la ENEE**

A ser desarrollado por las estudiantes:

- Linda Gabriela Maldonado Zambrano
- Pamela Michel Arias García

Para lo cual me comprometo a realizar de manera oportuna las revisiones y facilitar las observaciones que considere pertinentes a fin de que se logre finalizar el trabajo de tesis en el plazo establecido por la Facultad de Postgrado.

En la ciudad de Tegucigalpa, Honduras.

Fecha: 12 septiembre 2025

Nombre: José Emilio Medina

Firma:

Anexo B

Ilustración 26 Ubicación de Residuos-Desechos

Anexo C

UNIVERSIDAD TECNOLOGICA CENTROAMERICANA
UNITEC
Facultad de Postgrado
Máster en Sistemas de Gestión de Calidad Integrados
ENTREVISTA A TÉCNICOS DE MANTENIMIENTO – DISPOSICIÓN DE DESECHOS EN SUBESTACIONES ELÉCTRICAS

Como estudiante de la Maestría en Sistemas de Gestión de Calidad Integrados, de la Universidad Tecnológica de Honduras (UNITEC), solicito respetuosamente su colaboración para participar en la siguiente entrevista que será aplicada de manera presencial.

El propósito de este instrumento es recopilar información relevante sobre el manejo y disposición de los desechos derivados del mantenimiento de subestaciones eléctricas de la Empresa Nacional de Energía Eléctrica de Honduras (ENEE).

La información obtenida será tratada con estricta confidencialidad y se empleará únicamente con fines académicos. Agradezco de antemano su tiempo, colaboración y sinceridad al brindar sus respuestas, las cuales contribuirán significativamente al desarrollo de esta investigación.

El Desarrollo de esta entrevista va a considerar la participación de ambas investigadoras.

Objetivo de la Entrevista

Evaluar el conocimiento, las prácticas y el cumplimiento de los procedimientos relacionados con la gestión y disposición de desechos generados en las labores de mantenimiento de subestaciones eléctricas, para asegurar el cumplimiento de los requisitos ambientales y normativos aplicables.

Nota: ¿Permite que la entrevista sea grabada? SI ( ) NO ( )

1. Datos Generales

- Fecha: _____
- Lugar / Subestación: _____
- Nombre del entrevistado: _____
- Cargo: Técnico de mantenimiento / Supervisor / Otro: _____
- Área o Departamento: _____
- Entrevistador: _____

---

2. Objetivo de la Entrevista

Evaluar el conocimiento, las prácticas y el cumplimiento de los procedimientos relacionados con la gestión y disposición de desechos generados en las labores de mantenimiento de subestaciones eléctricas, para asegurar el cumplimiento de los requisitos ambientales y normativos aplicables.

---

3. Sección A – Conocimiento General

1. ¿Podría describir brevemente cuáles son las principales actividades de mantenimiento que realiza en una subestación eléctrica?
2. ¿Qué tipos de desechos se generan comúnmente durante esas actividades (por ejemplo: aceites usados, trapos con aceite, chatarra, papel, envases, etc.)?
3. ¿Ha recibido capacitaciones o inducciones sobre manejo adecuado de residuos peligrosos o no peligrosos?

---

4. Sección B – Identificación y Clasificación de Desechos

4. ¿Cómo identifica si un residuo es peligroso o no peligroso?

5. ¿Qué códigos, etiquetas o colores se utilizan para distinguir los distintos tipos de desechos en su área de trabajo?
6. ¿Existen puntos o contenedores específicos para separar residuos (aceites, metales, plásticos, papeles, baterías, etc.)?
7. ¿Qué hace si encuentra residuos mal clasificados o fuera de su contenedor?

---

5. Sección C – Manejo, Almacenamiento y Disposición

8. ¿Qué procedimiento sigue para el almacenamiento temporal de los aceites dieléctricos?
9. ¿Qué hace con los trapos, filtros o materiales con aceites dieléctricos?
10. ¿Qué prácticas se aplican para el manejo de baterías, transformadores y diversos equipos eléctricos con presencia de aceite dieléctrico?
11. ¿Cada cuánto se recolectan los desechos almacenados en la subestación y quién se encarga de su retiro?
12. ¿Cómo se asegura que los residuos sean entregados a un gestor autorizado, que cuente con los permisos ambientales generados por la autoridad nacional competente?
13. ¿Existe un registro o bitácora donde se documente la cantidad, tipo y destino de los desechos?

---

6. Sección D – Control Ambiental y Cumplimiento

14. ¿Qué medidas de prevención se aplican para evitar derrames o afectaciones al suelo y agua durante las tareas de mantenimiento?
15. ¿Cuenta la subestación con kits antiderrames o materiales absorbentes para responder ante un derrame?
16. ¿Quién supervisa el cumplimiento del manejo adecuado de desechos en la subestación?
17. ¿Qué consecuencias o acciones correctivas se aplican si se detecta un manejo inadecuado de residuos?

---

7. Sección E – Mejora Continua y Sugerencias

18. ¿Considera que los recursos disponibles (contenedores, señalización, EPP, capacitación) son suficientes para una buena gestión de residuos?
19. ¿Dentro de las actividades de mantenimiento cuáles considera son de alto riesgo al ambiente y a la salud?
20. ¿Qué sugerencias haría para mejorar el manejo y disposición final de los desechos en su área?

8. Observaciones del Entrevistador

_____

_____

9. Firma

Entrevistado: _____

Entrevistador: _____

Anexo D Visita Técnica de Campo Subestación Eléctrica Santa Fe

Ilustración 27 Derrame de aceite

Ilustración 30 Aisladores con aceite dielectrico libre de Pcb

Ilustración 29 berma contenedora de aceite en el transformador de potencia

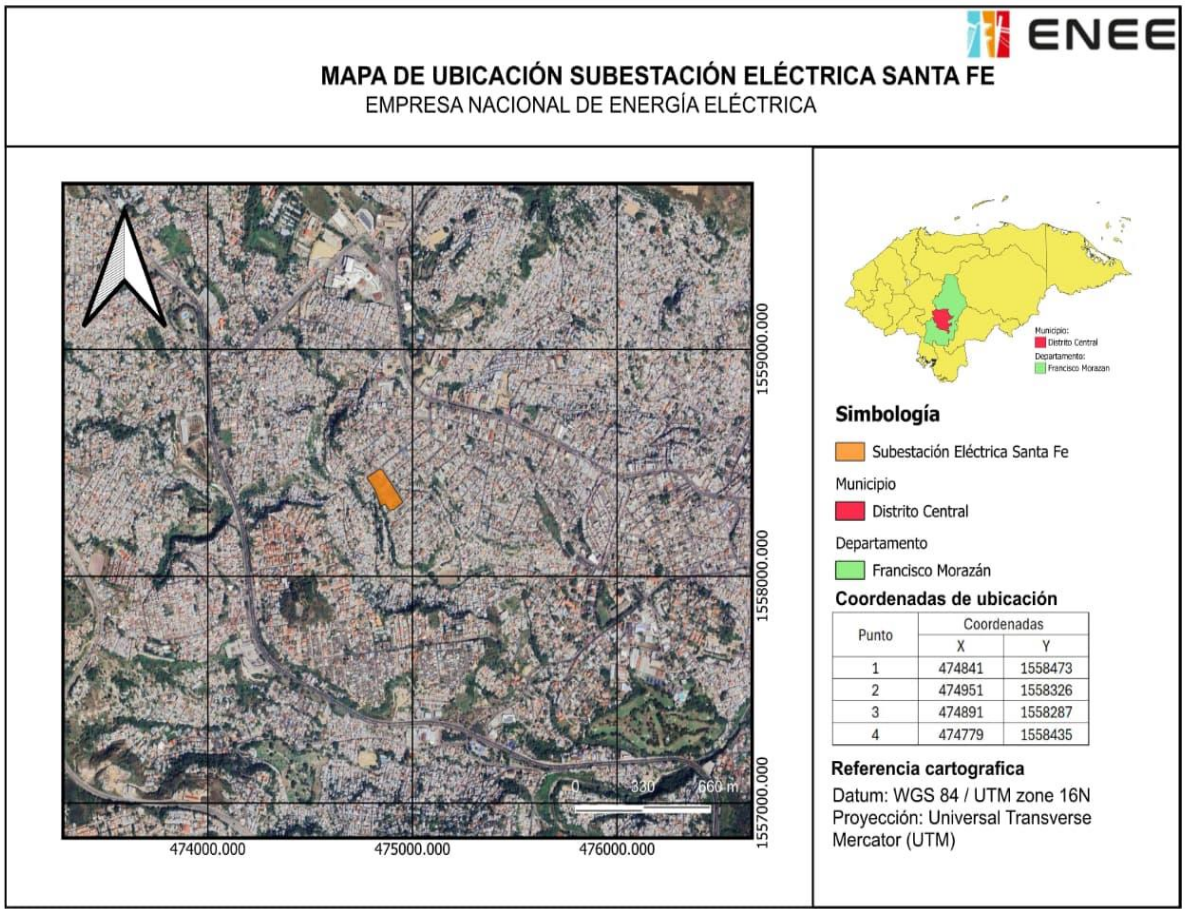
Ilustración 28 Entrada de la subestacion electrica Santa Fe

Ilustración 32 Bidones con Aceite Dieléctrico

Ilustración 31 Limpiadora (filtrador)de Aceite usado

Ilustración 33 Acumulación de desechos a la intemperie

Anexo E. Mapa de Ubicación del proyecto Subestación Eléctrica Santa Fe (Georreferenciado)



Fuente: Elaboración Propia.