



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
CARRERA DE PETRÓLEOS**

TEMA:

**“PROPUESTA DE SISTEMA DE DETECCIÓN DE FUGAS EN DUCTOS
DE TRANSPORTE DE HIDROCARBUROS PARA DETECTAR LA
SUSTRACCIÓN CLANDESTINA DE COMBUSTIBLE EN LA
PROVINCIA DE SANTA ELENA”**

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

AUTOR (ES):

**YARITZA LISETTE SUÁREZ QUIMÍ
JOSEPH DAVID SOLÓRZANO TOALA**

TUTOR:

ING.CARLOS MALAVÉ CARRERA, Msc.

LA LIBERTAD, ECUADOR

2025

**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
CARRERA DE PETRÓLEOS**

TEMA:

**PROPUESTA DE SISTEMA DE DETECCIÓN DE FUGAS
EN DUCTOS DE TRANSPORTE DE HIDROCARBUROS
PARA DETECTAR LA SUSTRACCIÓN CLANDESTINA
DE COMBUSTIBLE EN LA PROVINCIA DE SANTA
ELENA**

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

AUTOR(ES):

**YARITZA LISETTE SUÁREZ QUIMÍ
JOSEPH DAVID SOLÓRZANO TOALA**

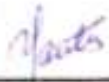
TUTOR:

ING. CARLOS MALAVÉ CARRERA, Msc.

LA LIBERTAD – ECUADOR

2025

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN



Ing. Marifelis Gutiérrez Hinestroza, PhD.
DIRECTOR DE CARRERA



ING. CARLOS MALAVÉ CARRERA, Msc.
DOCENTE TUTOR



Ing. Sadi Iturralde Kure, Msc.
DOCENTE ESPECIALISTA



Ing. Carlos Malavé Carrera Msc.
DOCENTE GIUA DE LA UIC



Ing. David Vega González

SECRETARIA DEL TRIBUNAL

DEDICATORIA

Dos pilares esenciales en mi vida durante los últimos 5 años han contribuido con amor continuo con mis propósitos. Hoy dedico este trabajo de titulación a mis padres y a Dios que han estado conmigo día a día sin importar las adversidades. A Luis Andrade, quién ha confiado en mí y me da dado ánimos en cada paso a seguir; y no dejando de lado a un ser especial que está en el cielo, pero se fue creyendo en mí: la persona más dulce que pudo haberme regalado Dios, mi abuelo materno, Genaro Quimi. Prometí que sería la portavoz para mi familia de salir adelante y así será.

Con cariño

~ Yaritza Suárez Quimí.

DEDICATORÍA

A mis padres, por su amor incondicional, por enseñarme el valor del esfuerzo y la perseverancia, y por ser mi ejemplo constante de fortaleza y dedicación.

A mis profesores, cuyo conocimiento y guía me inspiraron a seguir adelante en este camino académico, sembrando en mí la curiosidad por aprender y la pasión por investigar. A mis amigos, por su apoyo en los momentos difíciles y por recordarme siempre que los grandes logros son aún mejores cuando se comparten. Y, sobre todo, a mí mismo, por no rendirme, por superar los desafíos y por creer que este sueño era posible.

Con gratitud y cariño,

Joseph David Solorzano Toala

CERTIFICADO DE ANTIPLAGIO

En calidad de tutor del trabajo de investigación para titulación del tema **“PROPUESTA DE SISTEMAS DE DETECCIÓN DE FUGAS EN DUCTOS DE TRANSPORTE DE HIDROCARBUROS PARA DETECTAR LA SUSTRACCIÓN CLANDESTINA DE COMBUSTIBLE EN LA PROVINCIA DE SANTA ELENA”** elaborado por los estudiantes **SUÁREZ QUIMÍ YARITZA LISETTE** y **SOLÓRZANO TOALA JOSEPH DAVID**, egresados de la carrera de Ingeniería en Petróleos, de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería, me permito declarar que una vez analizado en el sistema anti plagio **COMPILATIO**, luego de haber cumplido con los requerimientos exigidos de valoración, la presente tesis, se encuentra con un 8% de la valoración permitida.

 CERTIFICADO DE ANÁLISIS magister			
TESIS PARA COMPILATIO - Y. SUÁREZ - J. SOLÓRZANO		 8% Textos sospechosos	 2% Similitudes 0% similitudes entre comillas 0% entre las fuentes mencionadas
 1% Idiomas no reconocidos		 4% Textos potencialmente generados por la IA	
Nombre del documento: TESIS PARA COMPILATIO - Y. SUÁREZ - J. SOLÓRZANO.docx ID del documento: 75f1b68595f408ca6bdbff1c3eb1d055f75ef090 Tamaño del documento original: 67,5 kB Autores: []	Depositante: CARLOS ALFREDO MALAVE CARRERA Fecha de depósito: 7/12/2024 Tipo de carga: interface fecha de fin de análisis: 7/12/2024	Número de palabras: 7662 Número de caracteres: 50.432	

FIRMA DEL TUTOR



Firmado electrónicamente por:

**CARLOS
ALFREDO
MALAVE
CARRERA**

Ing. Carlos Malavé
Carrera

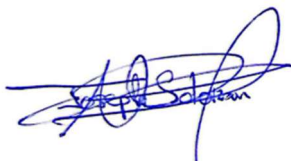
C.I.:0912370095

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Nosotros, Yaritza Lisette Suárez Quimí y Joseph David Solórzano Toala, declaramos bajo juramento que el presente trabajo de titulación denominado, “PROPUESTA DE SISTEMA DE DETECCIÓN DE FUGAS EN DUCTOS DE TRANSPORTE DE HIDROCARBUROS PARA DETECTAR LA SUSTRACCIÓN CLANDESTINA DE COMBUSTIBLE EN LA PROVINCIA DE SANTA ELENA” no tiene antecedentes de haber sido elaborado en la Facultad de Ciencias de la Ingeniería, Carrera de Petróleos, lo cual es un trabajo exclusivamente inédito y perteneciente de mi autoría.

Por medio de la presente declaración cedo los derechos de autoría y propiedad intelectual, correspondientes a este trabajo, a la Universidad Estatal Península de Santa Elena, según lo establecido por la ley de propiedad intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.

Atentamente,



Solórzano Toala Joseph David
Autor de tesis
C.I. 2450823881



Suárez Quimí Yaritza Lisette
Autor de tesis
C.I. 2400320707

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

ING.CARLOS MALAVÉ CARRERA, MSc.

TUTOR DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Universidad Estatal Península de Santa Elena

En mi calidad de Tutor del presente trabajo “PROPUESTA DE SISTEMA DE DETECCIÓN DE FUGAS EN DUCTOS DE TRANSPORTE DE HIDROCARBUROS PARA DETECTAR LA SUSTRACCIÓN CLANDESTINA DE COMBUSTIBLE EN LA PROVINCIA DE SANTA ELENA” previo a la obtención del Título de Ingeniero en Petróleos elaborado por los Sr(es) Yaritza Lisette Suárez Quimí y Joseph David Solorzano Toala, egresado de la carrera de Petróleos, Facultad Ciencias de la Ingeniería de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, me permito declarar que luego de haber orientado, estudiado y revisado, la apruebo en todas sus partes.

FIRMA DEL TUTOR



CARLOS
ALFREDO
MALAVE
CARRERA

ING.CARLOS MALAVÉ CARRERA, MSc.

TUTOR

CERTIFICADO DE GRAMATOLOGÍA

Santa Elena, 18 de noviembre del 2024

Yo, **Mónica Isabel Paredes Castro**, Magister en Educación Básica, con registro de la **SENECYT N° 1023-2024-2904505** por medio del presente certifico que:

Después de revisar y corregir la sintaxis y ortografía del trabajo investigativo titulado "**PROPUESTA DE SISTEMA DE DETECCIÓN DE FUGAS EN DUCTOS DE TRANSPORTE DE HIDROCARBUROS PARA EVITAR LA SUSTRACCIÓN CLANDESTINA DE COMBUSTIBLE EN LA PROVINCIA DE SANTA ELENA**", elaborado por los estudiantes **JOSEPH DAVID SOLORZANO TOALA** y **YARITZA LISETTE SUÁREZ QUÍMI** en su opción al título de **INGENIERO EN PETRÓLEOS** en la Universidad Estatal Península de Santa Elena, puedo afirmar que el trabajo está apto para ser defendido.

Sin otro particular.



MÓNICA ISABEL
PAREDES CASTRO

Lic. Mónica Paredes Castro, M.Sc.

C.I: 0605353143

Celular: 0969917044

Correo: misabelp1017@gmail.com

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por darnos salud, fortaleza y sabiduría para superar cada desafío en este camino.

A nuestros padres, cuyo amor, apoyo incondicional y ejemplo constante nos inspiraron a perseguir nuestros sueños con determinación. Gracias por enseñarnos el valor del esfuerzo y la perseverancia.

A nuestro tutor de tesis, Ing. Carlos Malavé Carrera, MSc., por su paciencia, orientación y valiosos consejos que contribuyeron significativamente al desarrollo de este proyecto.

A nuestros amigos y compañeros de estudios, por las horas compartidas, el apoyo mutuo y los momentos de aprendizaje que han enriquecido mi experiencia.

Agradecimiento especial a la Ing. Marllelis Gutiérrez, PhD. Quien, con su rigor y disciplina, pero también con aprecio y cariño, nos supo guiar a todos los estudiantes que forman parte de esta maravillosa carrera, incentivándonos cada día a ser mejores estudiantes.

Finalmente, a todas aquellas personas que, de manera directa o indirecta, han contribuido a que este sueño se haga realidad.

Gracias a todos ustedes, este logro es el reflejo del esfuerzo compartido.

CONTENIDO

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN	ii
DEDICATORIA	iii
DEDICATORÍA	iv
CERTIFICADO DE ANTIPLAGIO	v
DECLARACIÓN DE AUTORÍA	vi
CERTIFICACIÓN DEL TUTOR	vii
CERTIFICADO DE GRAMATOLOGÍA	viii
AGRADECIMIENTOS	ix
CONTENIDO	x
1. INTRODUCCIÓN	20
I. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	20
II. ANTEDECENTES	22
III. HIPÓTESIS	23
IV. OBJETIVOS	24
1.4.1. Objetivo General	24
1.4.2. Objetivos Específicos	24
V. ALCANCE	24
VI. VARIABLES	25

1.6.1.	Variables Dependientes:.....	25
1.6.2.	Variables Independientes.....	25
2.	MARCO TEÓRICO	26
I.	HIDROCARBUROS	26
2.1.1.	Generalidades	26
2.1.2.	Propiedades Fisicoquímicas	27
2.1.3.	Hidrocarburos Aromáticos	30
II.	PETRÓLEO.....	31
2.2.1.	Descripción.....	31
2.2.2.	Productos derivados.....	32
III.	SECTORES DE LA INDUSTRIA DEL PETRÓLEO.....	33
2.3.1.	Descripción.....	33
2.3.2.	EP Petroecuador	34
IV.	TRANSPORTE POR DUCTOS.....	35
2.4.1.	Introducción.....	35
2.4.2.	Oleoductos, poliductos y gasoductos.....	36
2.4.3.	Características de los ductos de transporte	37
2.4.4.	Funcionamiento operativo	38
2.4.5.	Poliductos del Ecuador	38
2.4.6.	Integridad de Ductos.....	41
2.4.7.	Vulnerabilidades.....	43
V.	SUSTRACCIÓN CLANDESTINA DE HIDROCARBUROS.....	46

2.5.1.	Descripción.....	46
2.5.2.	Modalidad.....	46
VI.	SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA.....	47
2.6.1.	Definición	47
2.6.2.	Partes de un SIG	48
2.6.3.	Componentes principales.....	49
2.6.4.	Datos geoespaciales.....	50
2.6.5.	Tipos de formatos de datos geoespaciales.....	51
2.6.6.	Análisis de datos geoespaciales.....	52
2.6.7.	Software de SIG	52
VII.	NORMATIVA Y REGULACIÓN SOBRE LA PROTECCIÓN DE DUCTOS	
	53	
2.7.1.	Legislación ecuatoriana	53
2.7.2.	Delitos Hidrocarburífero.....	54
2.7.3.	Normativas	54
3.	METODOLOGÍA.....	56
I.	MÉTODO DE INVESTIGACIÓN.....	56
3.1.1.	Tipo de Investigación	56
II.	POBLACIÓN Y MUESTRA	57
III.	MÉTODOS.....	57
3.3.1.	FASES DE LA INVESTIGACIÓN	57
4.	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	66

4.1.1.	Sistema vibroacústico de monitoreo de tuberías de Eni (e-vpms).....	67
4.1.2.	Atmos Wave Leak Detection.....	69
4.1.3.	PipePatrol Theft Detection	70
4.1.4.	Atmos Eclipse.....	72
4.1.5.	Ventajas y limitaciones de cada sistema	74
II.	RELEVANCIA PARA LA REGIÓN	77
4.2.1.	Análisis de campo.....	78
4.2.2.	Propuesta de implementación.....	81
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	84
I.	CONCLUSIONES.....	84
II.	RECOMENDACIONES	85
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	86
	ANEXOS	92

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Gráfico de las distintas etapas de la explotación de petróleo.....	34
Figura 2. Cadena de valor de EP PETROECUADOR.	35
Figura 3. Red de poliductos que atraviesan el país.	37
Figura 4. Importancia mantener la integridad de los ductos.	42
Figura 5. Diagrama de amenazas.....	44
Figura 6. Reparación de poliducto.	46
Figura 7. Partes de un sistema de información geográfica.....	48
Figura 8. Componentes de un SIG.	50
Figura 9. Representación de dataset raster.	51
Figura 10. Imagen de una instalación típica del sensor en un baipás.....	68
Figura 11. Esquema de todo el hardware del sistema e-vpms.....	68
Figura 12. Esquema del funcionamiento de la tecnología.....	70
Figura 13. Ubicación del robo a través de plataforma Google Earth.	71
Figura 14. Interfaz de usuario basada en la Web SynEnergy v3 de KROHNE.	72
Figura 15. Instalación de hardware Eclipse de Atmos en tubería de transporte de hidrocarburos y derivados.	73
Figura 16. Esquema de diseño de fabricación de Atmos Eclipse.....	74
Figura 17. Visita zona ubicada en el barrio Ballenita, zona Urbana.	92
Figura 18. Barrio La Alborada, Santa Elena.	92

Figura 19. Barrio El Tablazo, Santa Elena	93
Figura 20. Barrio Cumbres de La Libertad.	93
Figura 21. Barrio Pacífico.	94
Figura 22. Barrio Nueva Jerusalén.	94
Figura 23. Recorrido de las zonas de interés en el cantón Santa Elena.....	95
Figura 24. Uso de software Google Earth para ubicar las zonas de interes.	95
Figura 25. Estado de las zonas cercanas al Poliducto ubicado en el Barrio cumbres de la Libertad.....	96

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Propiedades fisicoquímicas de los principales n-alcanos y cicloalcanos.	28
Tabla 2. Propiedades fisicoquímicas de los hidrocarburos aromáticos	30
Tabla 3. Características de la red de poliductos del Ecuador.	39
Tabla 4. Características de Poliductos GLP. Fuente: EP Petroecuador.....	41
Tabla 5. Poliductos de la provincia de Santa Elena.....	58
Tabla 6. Características de la tubería Libertad - Manta.....	64
Tabla 7. Características de la tubería Libertad - Pascuales.	65
Tabla 8. Ventajas y limitaciones del sistema e-vpms.	75
Tabla 9. Ventajas y limitaciones de Atmos Wave.....	76
Tabla 10. Ventajas y limitaciones de PipePatrol Theft Detection.	76
Tabla 11. Ventajas y limitaciones de Atmos Eclipse.	77
Tabla 12. Respuestas de los participantes.	78
Tabla 13. Tabla comparativa de los diferentes metodos analizados.....	82

LISTA DE MAPAS

Mapa 1. Ubicación de las zonas ubicadas en el paso del poliducto Libertad – Manta - Pascuales.....	63
--	----

“PROPUESTA DE SISTEMA DE DETECCIÓN DE FUGAS EN
DUCTOS DE TRANSPORTE DE HIDROCARBUROS PARA
DETECTAR LA SUSTRACCIÓN CLANDESTINA DE COMBUSTIBLE
EN LA PROVINCIA DE SANTA ELENA”

Autor: Suárez Quimí Yaritza Lisette

Solorzano Toala Joseph David

Tutor: Ing. Carlos Malavé Carrera, MSc.

RESUMEN

El presente estudio tiene como objetivo investigar los métodos de detección de fugas en tuberías causadas por el robo de combustible, conocidos como "pinchazos", y proponer el sistema más adecuado para las características de los poliductos de la región. Para ello, se analizaron métodos disponibles en el mercado y se realizaron visitas a las comunidades atravesadas por los poliductos, con el fin de comprender las condiciones actuales y particulares del entorno.

Se identificaron cuatro métodos principales de detección: e-vpms, Atmos Wave, PipePatrol Detección de Robos y Atmos Eclipse. Tras el análisis técnico, se determinó que Atmos Wave es el método más adecuado para la provincia, debido a su compatibilidad con las condiciones locales y sus características técnicas.

PALABRAS CLAVE: *Sustracción clandestina, fugas, poliductos, pinchazos, métodos de detección.*

“PROPOSAL FOR A LEAK DETECTION SYSTEM IN
HYDROCARBON TRANSPORT PIPELINES TO DETECT ILLEGAL
FUEL THEFT IN THE PROVINCE OF SANTA ELENA”

Autor: Suárez Quimí Yaritza Lisette

Solorzano Toala Joseph David

Tutor: Ing. Carlos Malavé Carrera, Msc.

ABSTRACT

This study aims to investigate methods for detecting pipeline leaks caused by fuel theft, commonly referred to as "tapping," and to propose the most suitable method for the characteristics of the region's pipelines. To achieve this, available detection methods were analyzed, and visits were made to communities intersected by the pipelines to understand the current conditions and specific characteristics of the area.

Four main detection methods were identified: e-vpms, Atmos Wave, PipePatrol Theft Detection, and Atmos Eclipse. Based on a technical analysis, Atmos Wave was determined to be the most suitable method for the province due to its compatibility with local conditions and technical features.

KEYWORDS: *illegal theft, leaks, pipelines, punctures, detection methods.*

CAPITULO I

1. INTRODUCCIÓN

I. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

El robo de combustible es una problemática que no solo afecta a nuestro país, sino a múltiples países productores de petróleo: Estados Unidos, Arabia Saudí, Rusia, Irak, entre otros (bankinter., 2023)

Las empresas encargadas del control y transporte de derivados del petróleo, siendo en Ecuador la ARCH (Agencia de Regulación y Control de Hidrocarburo), experimentan pérdidas económicas directas ocasionadas por estos actos ilícitos. Estas pérdidas incrementan los costos de producción y distribución, y, en consecuencia, se ven afectadas las finanzas públicas al disminuir los ingresos fiscales por impuestos y regalías, lo cual ocasiona que el gobierno destine recursos en reparaciones que de otra forma se verían destinados a financiar servicios y proyectos sociales que ayuden a mejorar la calidad de vida de los ciudadanos.

Adicionalmente, esta actividad perjudica en gran medida el entorno asociado al paso del poliducto donde se ha realizado la intervención para posterior sustraer el combustible. Esto es debido a derrames que contaminan los suelos y ríos que pudieran ubicarse en las cercanías de las zonas afectadas. En consecuencia, la flora y fauna locales y las fuentes de agua potable de zonas rurales pueden verse contaminadas.

En zonas urbanas, la seguridad pública se ve amenazada debido al riesgo de explosiones e incendios, cómo lo fue en el caso de Tlahuelilpa, México, dónde debido a la explosión de un ducto de gasolina que había sido perforado ilícitamente, 137 persona perdieron la vida en aquel suceso.

El país de México se encuentra entre los países más afectados por esta actividad (Gobierno de México , 2022).

En Ecuador, el portal web de noticias de (Vistazo, 2024)informa que durante el 2023, Petroecuador en conjunto con el cuerpo de ingenieros del ejército, se detectaron alrededor de 334 perforaciones ilegales realizadas a los poliductos, esto equivaldría a una pérdida de 643,556.51 barriles de hidrocarburos, entre ellas gasolina y diésel, representando una pérdida económica al Estado en más de 89,7 millones de dólares (Valor que considera tanto el costo del combustible robado como los costos de reparación de las tuberías).

En un contexto legal, Ecuador penaliza estos actos según lo establecido en el COIP (Código Orgánico Integral Penal). Estas penalizaciones incluyen penas de prisión de seis meses a un año por interrupciones injustificadas en la venta o distribución de hidrocarburos (Artículo 262), de uno a tres años por adulteración en la calidad o cantidad del combustible (Artículo 263), y de cinco a siete años por apropiación fraudulenta de hidrocarburos durante su transporte o almacenamiento (Artículo 266). Además, se sancionan las actividades no autorizadas de almacenamiento, transporte, comercialización o distribución de hidrocarburos (Artículos 264 y 265), y las entidades responsables pueden enfrentar multas que oscilan entre quinientos y mil salarios básicos unificados (Comite Nacional de Soberania Energetica , 2021).

A pesar de estas normativas, la ocurrencia de estos actos ilícitos continúa. Por lo tanto, se considera fundamental llevar a cabo un estudio profundo sobre los diferentes métodos de detección de fugas, enfocado en prevenir la intervención de terceros y adaptado a las necesidades de la provincia de Santa Elena.

II. ANTEDECENTES

En el trabajo de (Naga Venkata, Faisal Khan, & Saadat Mirza, 2022), titulado ‘Revisión y análisis de métodos de detección de fugas en tuberías’, los autores clasificaron los métodos de detección de fugas en tres grupos principales: externos, internos/computacionales y visuales/de inspección. Adicionalmente, se analizan los avances recientes que ha tenido cada categoría, dónde destacaron el uso de drones y robots como una herramienta que permitan localizar fugas en redes de tuberías complejas. Como resultado del proyecto, los autores clasificaron los principios y aplicaciones de estos métodos.

(Linkun, Zheng, & Jianqiang, 2024), realizaron un artículo titulado ‘Revisión de métodos mejorados de detección y localización de fugas en tuberías basados en ondas de presión en gasoductos’ cuyo objetivo es realizar una descripción de trabajos más recientes relacionados con la identificación de fugas en gasoductos; los métodos están basados en ondas de presión negativa.

En el artículo de (Ning, Cheng, Ruoxia, & Meng, 2021), titulado ‘Métodos mejorados de detección y localización de fugas en tuberías basado en detección comprimida y filtros de partículas’, realizaron un estudio con el objetivo de elaborar un modelo para la detección de fugas. El modelo combina métodos de detección comprimida y filtros de partículas. Los resultados de los autores mostraron que el método propuesto presenta un margen de error de 1,4% en eficacia para la detección de fugas.

(Rivas Tufiño, Núñez Solano, & Moscoso Jácome, 2020) presentan ‘Modelo de gestión para el control de riesgos en oleoductos, poliductos y gasoductos’. Entre 2014 y 2017, este enfoque permitió reducir los riesgos significativos de un 30,16% a un 10,26%, disminuyendo daños a las

instalaciones, compensaciones extrajudiciales y promoviendo una operación más respetuosa con el medio ambiente, en concordancia con los objetivos comerciales de la empresa.

III. HIPÓTESIS

El aumento de casos de robos de combustibles realizadas a las tuberías es un hecho evidente, y las consecuencias de estos actos afectan directamente a la economía del país, un país que de por sí, enfrenta en la actualidad enfrenta problemas económicos debido principalmente al aumento del crimen organizado.

En base a lo anterior, se plantea la realización de un estudio centrado en los métodos de detección de fugas en las tuberías, con un enfoque en la intervención de terceros. Es decir, métodos que se centran en la detección de actividades ilegales realizadas a las tuberías, y que, a su vez, estos métodos permitan un tiempo de respuesta casi inmediato para la toma de acciones. Adicionalmente, se realizará un estudio de las zonas por donde se encuentra el paso del poliducto (Barrios o comunas), con el fin de identificar y caracterizar dichas zonas.

Esto se realizará con la ayuda de Software de Georreferenciación especializados y disponibles en el mercado. Se espera que el proyecto ayude a contribuir a la reducción de estos actos proporcionando conocimientos de métodos que se adapten a las condiciones de la provincia Santa Elena, facilitando la toma de decisiones a las empresas encargadas de regular la distribución y la integridad del transporte de petróleo.

IV. OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo General

- Evaluar los sistemas de detección de fugas en ductos de transporte de hidrocarburos para la generación de una propuesta de sistema de detección de fugas ante la sustracción clandestina de combustible en la Provincia de Santa Elena.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Identificar los diferentes tipos de sistemas de detección de fugas disponibles a nivel mundial.
- Comparar las ventajas y desventajas de cada sistema en el contexto específico de la Provincia de Santa Elena.
- Generar una propuesta del sistema más adecuado basado en un análisis de las zonas vulnerables, criterios de eficiencia, y facilidad de implementación.

V. ALCANCE

Se pretende realizar un análisis de las características de los poliductos que atraviesan la región de la península de Santa Elena, estos son los poliductos Libertad-Manta y Libertad-Pascuales. Se realizará un análisis de factibilidad para la implementación del método que mejor se adapte a las características de la provincia.

VI. VARIABLES

1.6.1. Variables Dependientes:

Disminución de la sustracción ilícita de combustible.

1.6.2. Variables Independientes

Métodos de prevención de fugas

CAPITULO II

2. MARCO TEÓRICO

I. HIDROCARBUROS

2.1.1. Generalidades

Los fluidos presentes en las rocas de los yacimientos petrolíferos están compuestos por diversos hidrocarburos, sustancias formadas por átomos de carbono (C) e hidrógeno (H). Estos compuestos tienen la capacidad de formar largas cadenas continuas que generan una amplia variedad de estructuras. En conjunto, estos hidrocarburos conforman el petróleo crudo, del cual se obtienen productos como gasolina, combustibles residuales, lubricantes y plásticos (Paris de Ferrer, 2009).

A condiciones estándar de temperatura y presión (14,7 psi y 60°F), los hidrocarburos pueden encontrarse en estado sólido, líquido o gaseoso, todo esto dependiendo de la cantidad y la disposición de átomos de carbono que se encuentran en sus moléculas. Los hidrocarburos gaseosos contienen hasta 4 átomos de carbono, mientras que los líquidos tienen entre 4 y 20 carbonos. En términos generales, el petróleo contiene compuestos como alcanos lineales (saturados), cicloalcanos (compuestos cíclicos) y aromáticos, tal como se representa en la figura 1.

Según (AV, Rendon von Osten, Gold-Bouchot, & Arnaz-Hernández, 2005), los alcanos, que cumplen la fórmula general (C_nH_{2n+2}), pueden ser lineales o ramificados, y abarcan desde C_1 hasta C_{40} . Entre los cicloalcanos más relevantes del petróleo, a partir

de C_{13} , se encuentran los hidrocarburos isoprenoides, como el Pristano (C_{19}) y el Fitano (C_{20}), compuestos típicos en yacimientos petrolíferos.

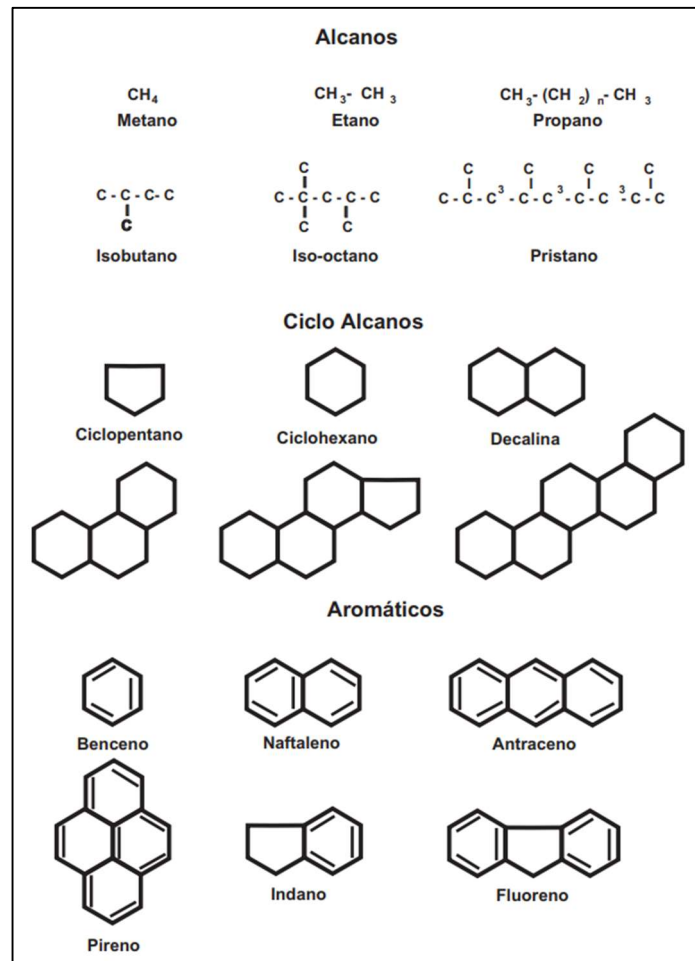


Gráfico 1. Estructura química de los principales grupos de hidrocarburos del petróleo

2.1.2. Propiedades Físicoquímicas

- **Alcanos**

En la tabla 1 se pueden apreciar las diferentes propiedades físicoquímicas correspondientes a los alcanos y cicloalcanos.

Tabla 1. Propiedades fisicoquímicas de los principales n-alcanos y cicloalcanos.
Tomado de (AV et al., 2005)

Nombre	Fórmula	Punto de Fusión °C	Punto de Ebullición °C	Densidad g/ml
Alcanos				
Metano	CH_4	-183	-162	-
Etano	CH_3CH_3	-172	-88.5	-
Propano	$CH_3CH_2CH_3$	-187	-42	-
n-Butano	$CH_3(CH_2)_2CH_3$	-138	0	-
n-Pentano	$CH_3(CH_2)_3CH_3$	-130	36	0.626
n-Hexano	$CH_3(CH_2)_4CH_3$	-95	69	0.659
n-Heptano	$CH_3(CH_2)_5CH_3$	-90.5	98	0.684
n-Octano	$CH_3(CH_2)_6CH_3$	-57	16	0.703
n-Nonano	$CH_3(CH_2)_7CH_3$	-54	151	0.718
n-Decano	$CH_3(CH_2)_8CH_3$	-30	174	0.730
n-Undecano	$CH_3(CH_2)_9CH_3$	-26	196	0.740
n-Dodecano	$CH_3(CH_2)_{10}CH_3$	-10	216	0.749
n-Tridecano	$CH_3(CH_2)_{11}CH_3$	-6	234	0.757
n-Tetradecano	$CH_3(CH_2)_{12}CH_3$	5.5	252	0.764

n-Pentadecano	$CH_3(CH_2)_{13}CH_3$	10	266	0.769
n-Hexadecano	$CH_3(CH_2)_{14}CH_3$	18	280	0.775
n-Heptadecano	$CH_3(CH_2)_{15}CH_3$	22	292	-
n-Octadecano	$CH_3(CH_2)_{16}CH_3$	28	308	-
n-Nonadecano	$CH_3(CH_2)_{17}CH_3$	32	320	-
n-Eicosano	$CH_3(CH_2)_{18}CH_3$	36	-	-
Cicloalcanos				
Isobutano	$(CH_3)_2CHCH_3$	-159	-12	-
Isopentano	$(CH_3)_2CHCH_2CH_3$	-160	28	0.620
Neopentano	$(CH_3)_4C$	-17	9.5	-
Isohexano	$(CH_3)_2CH(CH_2)_2CH_3$	-154	60	0.654
3-metilpentano	$(CH_3)_2CH(CH_3)CH_2CH_3$	-118	63	0.676
2,2-Dimetilbutano	$(CH_3)_3CCH_2CH_3$	-98	50	0.649
2,3-Dimetilbutano	$(CH_3)_2CHCH(CH_3)_2$	-129	58	0.668

Al observar la tabla, se hace notable que tanto el punto de ebullición como el de fusión se incrementan a medida que aumenta el número de átomos de carbono en las moléculas. Por lo contrario, en los compuestos más simples, el aumento en el punto de fusión no sigue un patrón uniforme. Esto se debe a que las fuerzas intramoleculares en un cristal no dependen únicamente del tamaño de las moléculas, sino también de la forma en

que estas se ajustan dentro de la estructura cristalina (AV, Rendon von Osten, Gold-Bouchot, & Arnaz-Hernández, 2005).

2.1.3. Hidrocarburos Aromáticos

Los compuestos aromáticos contienen al por lo menos un anillo de seis átomos de carbono, con dobles enlaces conjugados en su estructura (AV, Rendon von Osten, Gold-Bouchot, & Arnaz-Hernández, 2005). Según nos comenta (Morrison & Boyd, 1973), los hidrocarburos aromáticos se caracterizan por experimentar reacciones de sustitución electrofílica, a diferencia de los alquenos, que suelen reaccionar mediante adición electrofílica.

En la **tabla 2** se muestran las propiedades fisicoquímicas de algunos compuestos aromáticos.

Tabla 2. Propiedades fisicoquímicas de los hidrocarburos aromáticos

Tabla 2 Principales propiedades físicas de algunos compuestos aromáticos

Nombre	Fórmula	Punto de Fusión °C	Punto de Ebullición °C	Densidad a 20 C g/ml
Benceno	C_6H_6	5.5	80	0.874
Tolueno	$C_6H_5CH_3$	-95	111	0.862
Etilbenceno	$C_6H_5CH_2CH_3$	-95	136	0.863
Propilbenceno	$C_6H_5CH_2CH_2CH_3$	-100	1259	0.858
Isopropilbenceno	$(CH_3)_2CHC_6H_5$	-96	152	0.858
O-Xileno	$o - (CH_3)_2C_6H_4$	-25	144	0.876

m- Xileno	$m - (CH_3)_2C_6H_4$	-48	139	0.860
p- Xileno	$p - (CH_3)_2C_6H_4$	13	138	0.857
1,2,3 Trimetilbenceno	$1,2,3 - 0 - (CH_3)_3C_6H_3$	-25	176	0.890
1,2,5 Trimetilbenceno	$CH_3(CH_2)_8CH_3$	-44	169	0.872
Estireno	$CH_3(CH_2)_9CH_3$	-31	145	0.901

A temperatura ambiente, los compuestos aromáticos se presentan en estado líquido o sólido, y sus puntos de ebullición son similares a los de los cicloalcanos. Este tipo de compuestos pueden ser polares o no polares, y algunos compuestos que no se disuelven en alcanos sí son solubles en compuestos aromáticos. Por esta razón, los compuestos aromáticos, son frecuentemente utilizados como disolventes en aplicaciones industriales y de laboratorio.

II. PETRÓLEO

2.2.1. Descripción

El petróleo es el combustible con mayor demanda en la actualidad, debido a su amplia gama de productos derivados y aplicaciones en el sector industrial y de transporte (Arzata, 2012). Debido a su alta demanda muchas compañías han surgido con propósito de especializarse en la producción y extracción del petróleo. Esto llevó a la creación de la OPEP (Organización de Países Exportadores de Petróleo), con el objetivo de garantizar precios justos y estables para los países productores de petróleo (CNN, 2020).

2.2.2. Productos derivados

Una vez extraído el petróleo del yacimiento, este se transporta a las refinerías, lugar donde se lleva a cabo procesos que permitan separar los diversos componentes del petróleo, dando como resultado cadenas de hidrocarburos que se destinarán a usos específicos. Los productos derivados del petróleo son:

- **Gases licuados del petróleo (GLP)**
- **Gas de síntesis o de refinería**
- **Gasolinas**
- **Naftas**
- **Querosenos**
- **Gasóleos**
- **Fuelóleos**
- **Lubricantes**
- **Asfaltos**

Actualmente, el petróleo, el carbón y el gas natural representan alrededor del 90% del consumo energético global. Se anticipa que el uso de gas natural aumentará en los próximos años en comparación con otros combustibles fósiles, lo cual podría ser beneficioso debido a que el gas natural produce menores emisiones de dióxido de carbono (Arzata, 2012).

III. SECTORES DE LA INDUSTRIA DEL PETRÓLEO

2.3.1. Descripción

Una vez revisados los aspectos clave del petróleo y los grupos principales de hidrocarburos que lo componen, es necesario comprender los sectores y fases en los que está dividida su industria. Es decir, el proceso que se sigue para llevar el petróleo crudo desde el yacimiento hasta su distribución y comercialización. La industria del petróleo y el gas se clasifica en tres sectores principales: *upstream*, *midstream* y *downstream* (Figura 2).

El sector Upstream se ocupa de la exploración, localización y producción de yacimientos de petróleo crudo y gas natural. El sector Midstream se centra en el transporte, procesamiento, almacenamiento y comercialización del crudo y productos refinados. En Ecuador, el transporte de hidrocarburos y sus derivados se realiza mediante ductos, autotanques, buque tanques de bandera ecuatoriana y vehículos con cilindros para el transporte de GLP, de acuerdo con el (MINISTERIO DE HIDROCARBUROS, 2018). El sector *midstream* también puede superponerse con el *upstream* y el *downstream*, ya que incluye instalaciones para el procesamiento de gas natural, donde se purifica el gas crudo y se extraen subproductos como azufre y líquidos de gas natural (NGLs). Finalmente, el sector Downstream comprende las refinerías de crudo, plantas petroquímicas y la distribución de productos derivados del petróleo. En este sector, a través de procesos químicos, el crudo se convierte en combustibles como gasolina, diésel y queroseno. Además de los combustibles, se derivan una amplia gama de productos, tales como: combustibles para aviación, aceites de calefacción, asfalto, lubricantes, plásticos y otros productos químicos (Al-Janabi, Corrosion Inhibitors in the Oil and Gas Industry, 2020).

Desde 2021, EP PETROECUADOR es la encargada de gestionar el sector hidrocarburífero en Ecuador. La **figura 3** muestra la cadena de valor de Petroecuador.

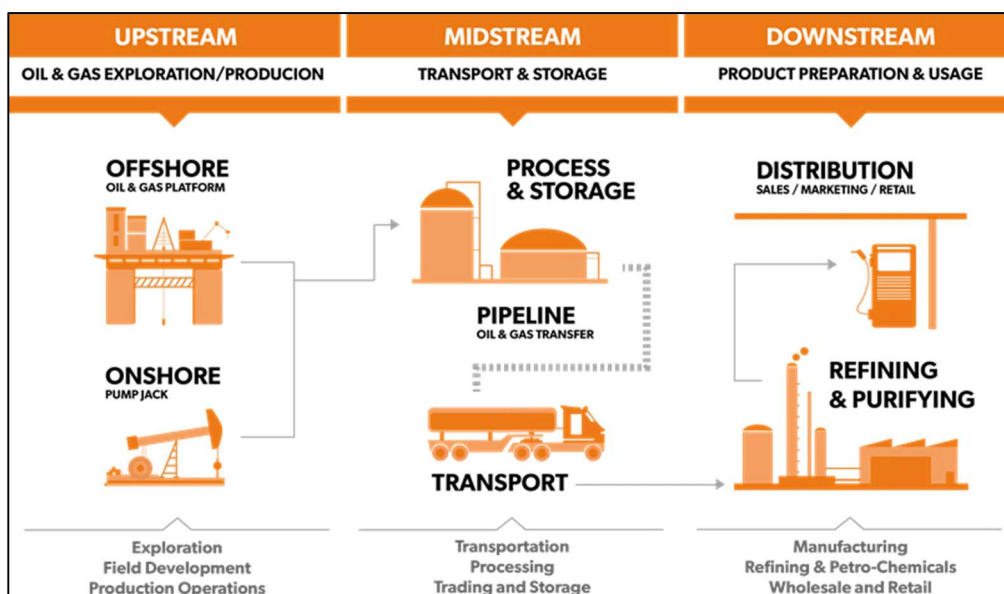


Figura 1. Gráfico de las distintas etapas de la explotación de petróleo. (Eland Cables, s.f.)

2.3.2. EP Petroecuador

En 1967, el descubrimiento de petróleo en Lago Agrio por Texaco desencadenó un "boom petrolero" que marcó un cambio duradero. Desde entonces, empresas como Texaco, Gulf, Occidental y Repsol han operado en Ecuador, y en 1990, Petroecuador asumió el control total del consorcio CEPE-Texaco, expandiendo notablemente sus actividades (El Oriente, 2019).

En abril de 2019, el Decreto Ejecutivo 723 ordenó la fusión de PETROAMAZONAS EP y EP PETROECUADOR para centralizar los sectores Upstream (aguas arriba), Downstream (Aguas abajo) y Midstream (aguas medias). Siguiendo este decreto, desde 2021, EP PETROECUADOR se encargará de gestionar el sector hidrocarburífero en Ecuador, siguiendo la Ley Orgánica de Empresas Públicas

(LOEP) y la Ley de Hidrocarburos, con el objetivo de administrar de manera sustentable los recursos no renovables (EP PETROECUADOR, 2023). La figura 3 muestra la cadena de valor de Petroecuador.

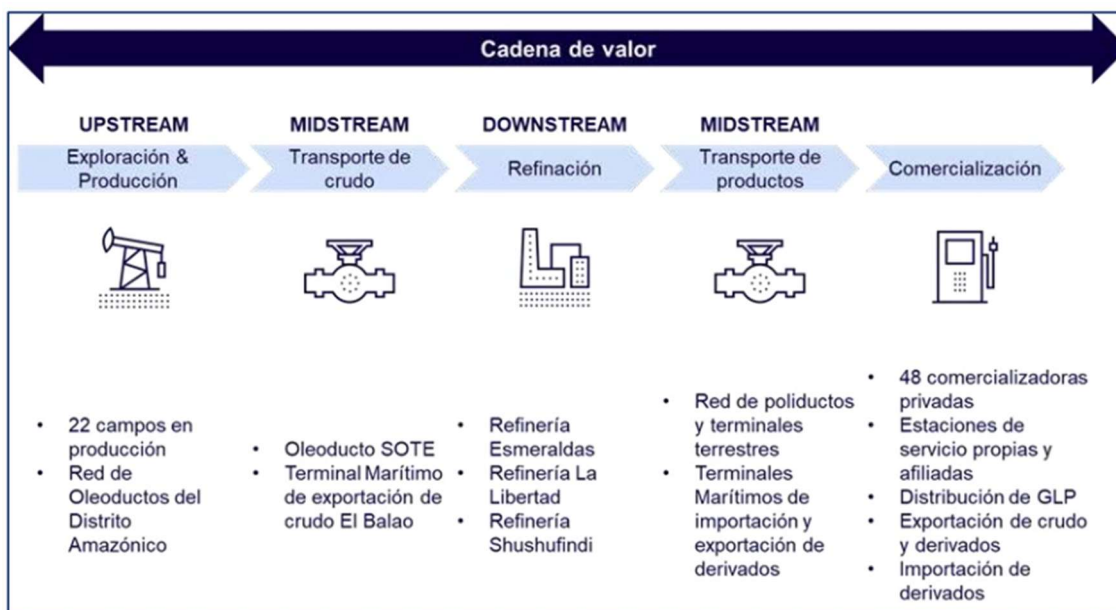


Figura 2. Cadena de valor de EP PETROECUADOR. Fuente: EP PETROECUADOR.

IV. TRANSPORTE POR DUCTOS

2.4.1. Introducción

Los ductos son sistemas clave para el transporte seguro y eficiente de líquidos y gases desde su origen hasta su destino final en centros de refinación, distribución y consumo. Las características de cada tubería dependen del tipo de producto a transportar (como petróleo crudo, productos refinados o gas natural), la distancia, y las condiciones geográficas y ambientales del trayecto. De esta manera se tienen distintas variedades de ductos: oleoductos, poliductos y gasoductos. Y sus aplicaciones específicas es esencial, ya que esto impacta directamente en la seguridad, eficiencia y sostenibilidad del transporte de recursos energéticos.

Los sistemas de tuberías juegan un papel vital en el traslado de diversas sustancias, entre ellas petróleo crudo, fluidos de múltiples fases, condensados, productos líquidos derivados del petróleo, líquidos de gas natural (NGL), agua de campos petrolíferos, vapor, CO₂ en estado líquido o denso, y gas. Los fluidos multifásicos consisten en combinaciones de aceite, gas y agua, que pueden encontrarse en estados líquidos y/o gaseosos en distintas proporciones, ya sea producidos por uno o más pozos de petróleo o como consecuencia de la recombinación de fluidos de estos pozos.

A pesar de que la construcción inicial de los ductos requiere un capital inicial alto (sumado a retos geográficos y técnicos) una vez puesto en marcha, los ductos ofrecen una de las alternativas más seguras y rentables para el transporte continuo de petróleo, gas natural, GLP y otros derivados.

2.4.2. Oleoductos, poliductos y gasoductos

Los oleoductos están diseñados para transportar diversos tipos de petróleo, como crudo pesado o ligero, y pueden manejar diferentes calidades de petróleo. Los poliductos, se enfocan al transporte de combustibles refinados, incluyendo diésel y gasolina. Los gasoductos son específicos para el transporte de gas natural. En la figura 4, se muestra un mapa de los poliductos activos en el país, destacando su importancia para la distribución nacional de combustibles.

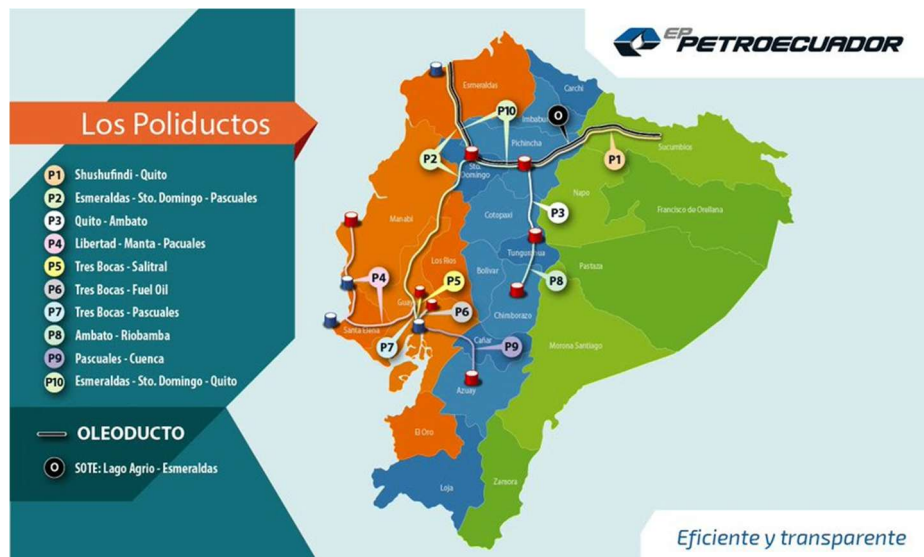


Figura 3. Red de poliductos que atraviesan el país. Fuente: Petroecuador.

2.4.3. Características de los ductos de transporte

Por norma general, las tuberías suelen ser enterradas a profundidades alrededor de 3 a 6 pies (0,91 a 1,83 m) para protegerlas del impacto, la abrasión y la corrosión que pueden ser ocasionadas ya sea por las condiciones del entorno, o por intervención de terceros, con diámetros que varían entre 4 y 48 pulgadas (100 a 1220 mm). Las tuberías pueden clasificarse como offshore (en mar), onshore (en tierra firme), siendo en tierra susceptibles a estar expuestas al aire o enterradas.

Para mayor protección, se emplean revestimientos como madera, hormigón, polietileno de alta densidad, acolchado de arena, entre otros (Academia Lab, 2024). Dado que el petróleo crudo contiene cera de parafina, en climas fríos puede acumularse cera dentro de la tubería. Este problema se gestiona mediante un proceso de pigging, que consiste en el uso de dispositivos conocidos como "pigs" o raspadores para la limpieza y mantenimiento. Existen también "pigs inteligentes", diseñados para detectar problemas como corrosión, grietas y daños mecánicos (Academia Lab, 2024). Las tuberías de gas natural, generalmente de acero al carbono, tienen diámetros que varían de 2 a 60 pulgadas (51 a 1524 mm), dependiendo del tipo de servicio. Estas tuberías presurizan el gas

mediante estaciones compresoras y, aunque el gas natural es inodoro, a veces se le agrega mercaptano para facilitar su detección en caso de fuga

2.4.4. Funcionamiento operativo

Un sistema de tuberías abarca las tuberías en sí, estaciones de bombeo y otras infraestructuras requeridas para la medición, procesamiento, almacenamiento, recolección, transporte y distribución de fluidos en la industria del petróleo y gas. De manera general, los ductos están compuestos de: acero (protegidos con material aislante), válvulas, bridas, sistemas de comunicación y dispositivos de seguridad. Todos estos elementos son esenciales para una correcta operación, eficiente y segura, además de salvaguardar la integridad y tiempo de vida. Las conexiones de tuberías y elementos que no están sometidos a presión se llevan a cabo a través de soldadura por arco, soldadura a gas y métodos mecánicos. Las dimensiones de las tuberías varían desde 6 hasta 48 pulgadas (15–120 cm) de diámetro (Vidal Guarniz, 2020).

Antes de desempeñar sus funciones, las tuberías deben ser sometidas a rigurosas pruebas de presión, usando gas o líquido. Si se usa un líquido, es imprescindible completamente el medio o la tubería en su totalidad para resguardarla contra la corrosión y otros posibles perjuicios. En esta situación, es posible incorporar inhibidores de corrosión, biocidas y eliminadores de oxígeno cuando se utiliza agua como medio de prueba. Para cada evaluación de presión, se lleva a cabo un plan específico.

2.4.5. Poliductos del Ecuador

La infraestructura de transporte de derivados del petróleo en Ecuador comprende una red de poliductos y ductos de GLP que abarcan 1.652 km y cuentan con una capacidad de 405.420 barriles diarios, permitiendo el transporte de productos desde refinerías y terminales marítimas hasta las terminales de almacenamiento, lugar donde el producto es

puesto a resguardo hasta su distribución (EP PETROECUADOR, 2023). En la tabla 3, se presenta un resumen de las características de esta red de poliductos.

Tabla 3. Características de la red de poliductos del Ecuador. Fuente: EP Petroecuador.

Características de los poliductos						
Poliducto	Tramos de poliductos	Longitud (Km)	Caudal instalado	Caudal promedio operativo	Capacidad instalada de bombeo	Productos de bombeo
Esmeralda-Santo Domingo	Esmeralda-Santo Domingo	252,90	3.500,00	3.370	84.000	Gasolina Super y Extra,
	Santo Domingo-Quito		3.200,00	3.025	76.800	Diesel 2, Diesel Premium Jet Fuel
Macul	Santo Domingo-Pascuales	276,50	1.500	1.500	36.000	Jet Fuel, Diesel Premium
	Shushufindi-Quito	308,32	420,00	390	10.080	Destilado 1, Diesel 2, Gasolina Base, Shushu, GLP
Quito-Ambato - Riobamba (Caudales con agente Químico)	Quito-Ambato	110,40	500,00	855	19.200	Gasolina Super y Extra,
	Ambato - Riobamba	49,70	500,00	528	12.720	Diesel 2, Diesel Premium

Mejorador de Caudal)						
Libertad – Manta	Libertad – Manta	170,00	700,00	690	13.200	Destilado 1, Diesel 2, Diesel Premium Premezcla
Libertad - Pascuales	Libertad - Pascuales	127,00	1.400,00	1.260	28.800	Destilado 1, Diesel 2, Diesel Premium Jet Fuel, Gasolina Base Lib-Esm, Gasolina Importada, NAO, Premezia
Tres Bocas- Pascuales	Tres Bocas- Pascuales	20,60	4.000,00	4.000	96.000	Nafta Base, Nafta de alto octano, Diesel 2, Destilado, Jet Fuel, G. Importada
Pascuales- Cuenca	Pascuales- La troncal	102,00	1.938,00	1.600	46.500	Gasolina Super, Destilado 1
	La troncal- Cuenca	108,00	1.283,00	950	30.800	, Diesel 2, Diesel Premium, GLP, Premezcla
Tres Bocas – Fuel Oil	Tres Bocas – Fuel Oil	5,00	1.670,00	1.670	40.080	Fuel Oil
Monteverde -Chorrillo	Monteverde -Chorrillo	124,00	2.955,00	2.955	70.920	GLP
Total			1.654,42		408.780	

Por otro lado, el sistema de transporte y almacenamiento de GLP a nivel nacional consta de dos poliductos y un gasoducto, cada uno con una estación de recepción y despacho. A continuación, la **tabla 4** muestra la red de poliductos de GLP.

Tabla 4. Características de Poliductos GLP. Fuente: EP Petroecuador.

POLIDUCTOS GLP					
Poliducto	Tramos de poliductos	Longitud [km]	Caudal [BPH]	Caudal promedio operativo [BPH]	Capacidad instalada de bombeo [BPD]
Shushufindi - Quito	Shushufindi - Quito	308,32	420,00	400	10.080
Monteverde - Chorrillo	Monteverde - Chorrillo	124,00	2.955,00	2.955	70.920
Pascuales - Cuenca	Pascuales - La Troncal	102,00	1.938,00	1.800	46.500
	La Troncal - Cuenca	108,00	1.283,00	1.000	30.800
Total		642,32			158.300

2.4.6. Integridad de Ductos

La relevancia de llevar a cabo un correcto mantenimiento y su importancia se despliega a través de múltiples dimensiones, que abarcan desde aspectos económicos

hasta implicaciones medioambientales y sociales. A continuación, se presenta ciertos aspectos a considerar importantes sobre la integridad de los ductos, proporcionada por el autor (Zapata, 2023). La **imagen 5** presenta un resumen de estos aspectos.

Importancia de la integridad de los ductos.	A. Relevancia económica
	B. Preservación del Medio Ambiente
	C. Seguridad y Salud Pública
	D. Preservación de la reputación corporativa
	E. Innovación y Desarrollo Tecnológico
	F. Responsabilidad social corporativa

Figura 4. Importancia mantener la integridad de los ductos. Elaboración propia.

A. Relevancia Económica y Operacional

Una infraestructura bien mantenida reduce en gran medida las posibilidades de que ocurran fallas que pueden ocasionar pérdidas significativas de producto, daños a equipos y pérdidas financieras (Zapata, 2023).

B. Preservación del Medio Ambiente

Los ductos a los cuales se les realiza un correcto mantenimiento son menos propensos a sufrir derrames y liberaciones no controladas (Zapata, 2023).

C. Seguridad y Salud Pública

Los incidentes por norma general suelen terminar en riesgos graves para la salud pública ya que los delincuentes no toman las debidas precauciones al momento de realizar la intervención. (Zapata, 2023).

D. Preservación de la Reputación Corporativa

La reputación de las compañías es vital para asegurar nuevos contratos y aumentar su influencia en el sector (Zapata, 2023).

E. Innovación y Desarrollo Tecnológico

La inversión de recursos destinados al desarrollo de nuevas tecnologías fomenta el avance tecnológico (Zapata, 2023).

F. Responsabilidad Social Corporativa

A través de la gestión efectiva de la integridad de los ductos, las compañías pueden demostrar el compromiso que tiene en cuenta los intereses de una amplia gama de grupos (Zapata, 2023).

Cada uno de estos aspectos refleja la importancia de un correcto mantenimiento de ductos, y nos da una idea de las consecuencias que pueden tener las empresas y entidades reguladoras si no les prestaran la debida atención.

2.4.7. Vulnerabilidades

La autora (Vidal Guarniz, 2020), nos comenta que existen tres grupos principales de vulnerabilidades que se pueden presentar en las tuberías, y que están relacionadas al paso del tiempo. A su vez, cada grupo se divide en tres subcategorías, con un total de nueve tipos de amenazas. La **figura 6** presenta se muestra lo anteriormente dicho.

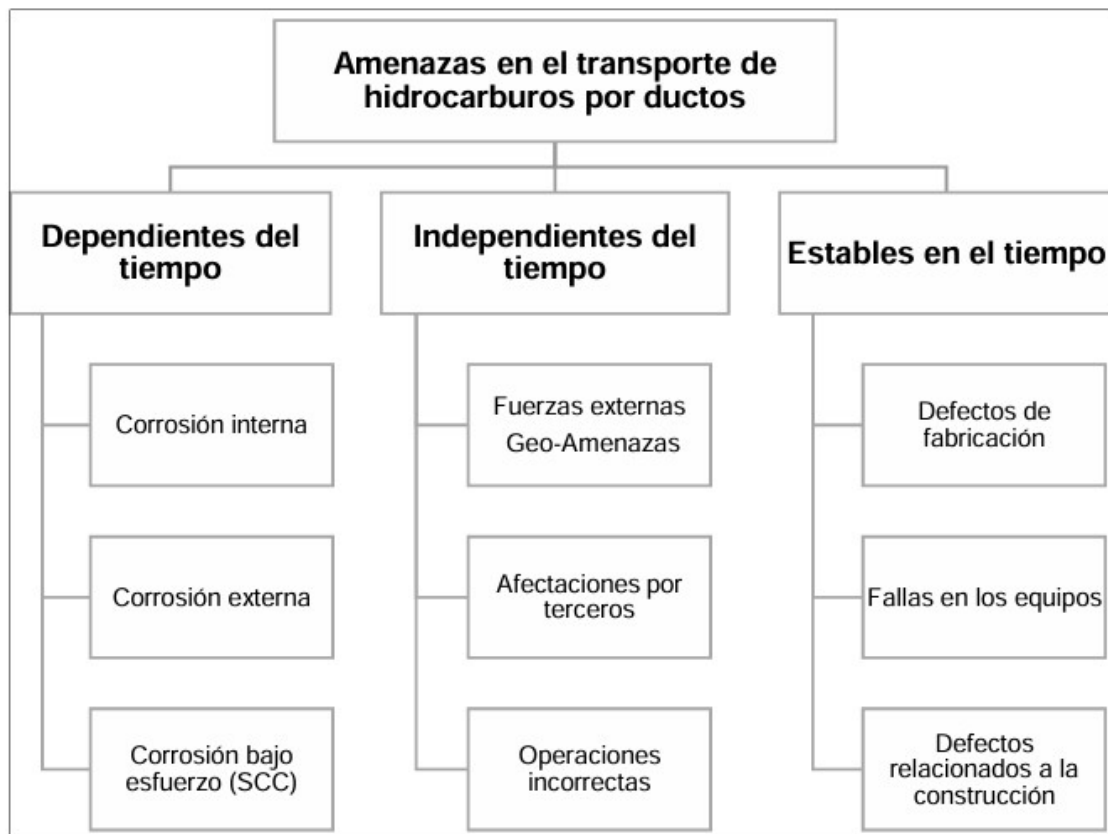


Figura 5. Diagrama de amenazas. Tomado de (Vidal Guarniz, 2020).

A continuación, se detallará brevemente de cada uno de estos apartados expuestos por la autora (Vidal Guarniz, 2020).

- **Dependientes del tiempo**

Corrosión interna: Los ductos se exponen a la corrosión a causa de la presencia de agua y contaminantes en los hidrocarburos.

Corrosión externa: Es un peligro persistente para los ductos, que pueden ser corroídos por elementos externos del entorno.

Corrosión bajo esfuerzo (SCC): Hace referencia a las fisuras que se deterioran gradualmente en un ducto por diversos factores, como la edad del ducto y la composición química del entorno, lo que puede provocar a fugas o rupturas.

- **Independientes del tiempo:**

Geo-amenazas y fuerzas externas: Esto se debe a las características geológicas y climáticas de las diferentes zonas por las que pasa el ducto, lo que los vuelve vulnerables a fenómenos naturales. Durante la construcción, se alteran las condiciones geotécnicas, lo que puede afectar la estabilidad del ducto.

Afectaciones por terceros: Acciones voluntarias o involuntarias de terceros, como la excavación o construcción cerca de los ductos, perforaciones directas a los ductos con el propósito de extraer el fluido transportado pueden dañar los sistemas de transporte y causar fugas.

Operaciones incorrectas: Los errores en la ejecución de maniobras operativas.

- **Estables en el tiempo:**

Defectos de fabricación: Errores durante el diseño o fabricación de los ductos.

Fallas en los equipos: Las fallas en componentes como empaques, sellos de bomba o válvulas de alivio.

Defectos en la construcción: Deficiencias en el diseño, planeamiento o supervisión de la construcción.

La autora también menciona que la interacción entre estas amenazas puede representar un riesgo potencial en el sistema de transporte de hidrocarburos (Vidal Guarniz, 2020).

V. SUSTRACCIÓN CLANDESTINA DE HIDROCARBUROS

2.5.1. Descripción

La sustracción clandestina de hidrocarburos, en algunos países, es una actividad ilícita que consiste en la extracción no autorizada de combustibles o productos derivados del petróleo de sistemas de transporte como tuberías y oleoductos (CNN, 2020). Sin duda, América latina es la región donde más se evidencia este tipo de actos, siendo México uno de los países más afectados, y un referente para el estudio de nuestro caso actual.

2.5.2. Modalidad

Es una actividad ilícita en la que grupos criminales perforan ductos subterráneos o superficiales que transportan combustibles, como gasolina o diésel, con el fin de extraerlos de manera ilegal. El método comúnmente utilizado por los delincuentes consiste en la detección de la tubería mediante el uso de detectores de metal, para posterior proceder a excavar en la zona de interés donde, una vez alcanzado el ducto, se realizarán perforaciones diminutas con el fin de evitar ser detectas de manera inmediata.



Figura 6. Reparación de poliducto. Tomado de Petroecuador.

VI. SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

2.6.1. Definición

Muchos autores han definido qué es un SIG, y han aportado su propia interpretación del tema a lo largo del tiempo. A continuación, se destacan las siguientes definiciones.

- (Burrough, 1986) definió un SIG como; *“Un potente conjunto de herramientas para recolectar, almacenar, recuperar a voluntad, transformar y presentar datos espaciales procedentes del mundo real”*.
- (Goodchild, 1992) menciona que; *“Un SIG es una tecnología para la adquisición, gestión, análisis e interpretación de datos georreferenciados”*.
- (Tomlinson R. F., 2003), Considerado el "padre del SIG", definió un SIG como: *"Una herramienta diseñada para capturar, almacenar, manipular, analizar, gestionar y presentar todo tipo de datos geográficamente referenciados"*.
- (Heywood, Cornelius, & Carver, 2011) propusieron una definición más centrada en el análisis espacial; *"Un SIG es una herramienta para realizar análisis espacial y geográfico, que se puede usar para resolver problemas relacionados con la ubicación"*.
- Para finalizar, la empresa ESRI, líder mundial en software de SIG, define un SIG como; *"Un SIG permite a los usuarios visualizar, cuestionar, analizar e interpretar datos para entender relaciones, patrones y tendencias geográficas."*

Para la realización del presente estudio, nos enfocaremos en la definición proporcionada por la empresa ESRI, siendo esta la que mejor define las capacidades del software SIG que se encuentran disponibles actualmente en el mercado.

2.6.2. Partes de un SIG

Las partes de un SIG, desde el hardware y el software hasta los datos y métodos, forman un ecosistema integrado que permite a los usuarios gestionar y analizar información geográfica de manera eficiente.

El geógrafo (Tomlinson R. , 2008), en *SIG: El panorama completo*, nos comenta que un SIG puede ser dividido en 3 partes esenciales (Figura 9). En palabras de Tomlinson; “La figura presenta un modelo holístico de un SIG, el cual convierte datos en información útil mediante análisis” .

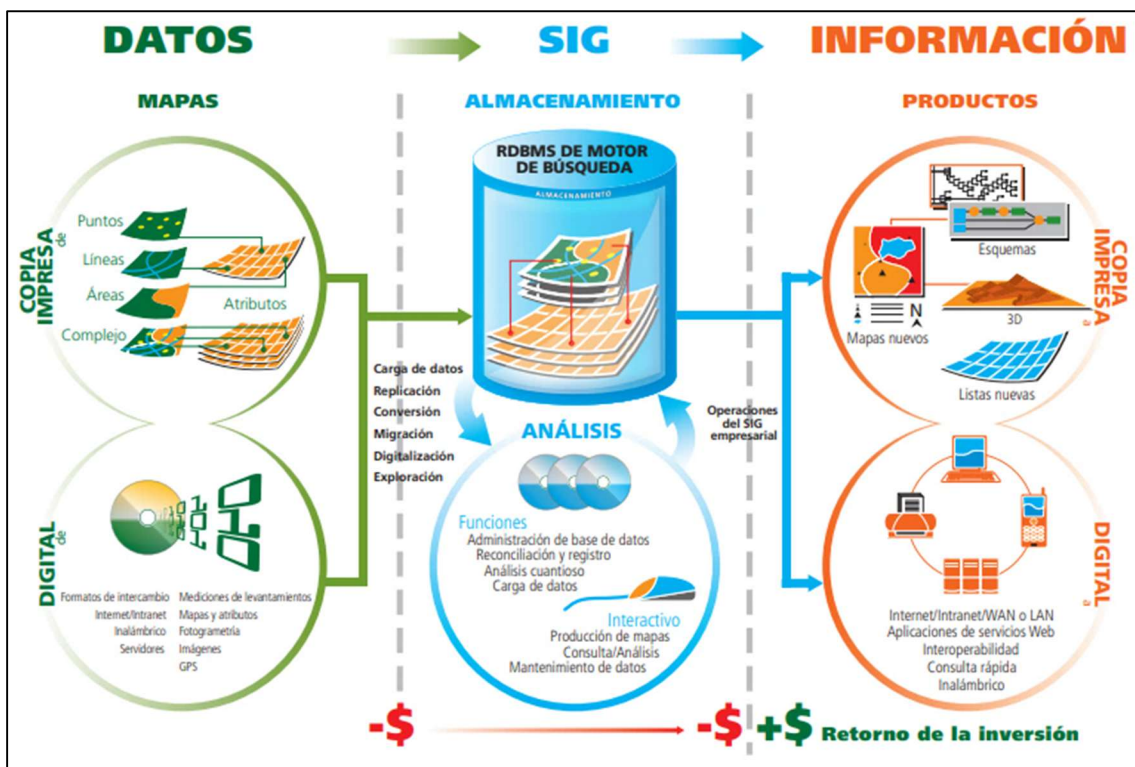


Figura 7. Partes de un sistema de información geográfica

2.6.3. Componentes principales

Los principales componentes de un Sistema de Información Geográfica (SIG) son los siguientes:

- **Datos:** Incluyen los datos espaciales (información geográfica vinculada a una ubicación, como mapas, imágenes de satélite, coordenadas GPS) y los atributos no espaciales (información descriptiva vinculada a esos datos espaciales, como nombres de calles, propietarios, características de un edificio, etc.) (Garcia, 2021).
- **Software** Este software permite realizar análisis espaciales complejos, generar mapas y otros productos informativos (Garcia, 2021).
- **Hardware:** El SIG es exigente en cuanto a recursos informáticos. Este componente abarca las computadoras, servidores y otros dispositivos utilizados para procesar y almacenar los datos del SIG (Garcia, 2021).
- **Procedimientos:** Se refiere a las normas y procesos que determinan cómo se manejan los datos y las operaciones dentro del SIG. Esto incluye la captura, procesamiento, almacenamiento y análisis de datos. Los procedimientos también cubren la gestión de la calidad de los datos y los flujos de trabajo en la organización (Garcia, 2021).
- **Recurso humano:** El personal capacitado en el manejo e interpretación de sistemas de información geográfica es crucial. Esto incluye a quienes operan y gestionan el sistema, desde especialistas en SIG que realizan el análisis de datos hasta los responsables de la toma de decisiones que utilizan los productos generados (Garcia, 2021).

- **Productos informativos:** Son el resultado final del procesamiento y análisis de los datos dentro del SIG. Estos productos pueden ser mapas, gráficos, tablas, informes o visualizaciones tridimensionales, entre otros, y están diseñados para satisfacer necesidades específicas, como apoyo a la toma de decisiones o planificación estratégica (Garcia, 2021).

Estos componentes deben trabajar de manera integrada para que un SIG funcione de manera efectiva, proporcionando información valiosa y precisa para apoyar diversos tipos de decisiones y análisis.

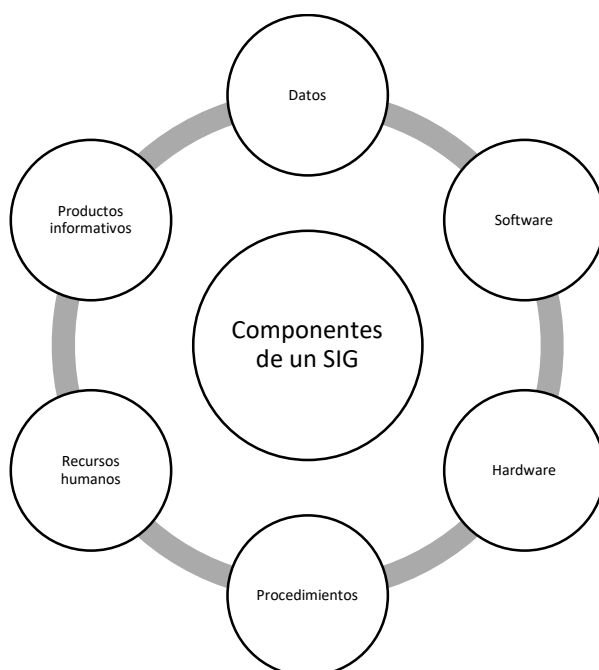


Figura 8. Componentes de un SIG. Elaboración propia.

Estos componentes deben trabajar de manera integrada para que un SIG funcione de manera efectiva, proporcionando información valiosa y precisa para apoyar diversos tipos de decisiones y análisis.

2.6.4. Datos geoespaciales

Los sistemas de información geográfica (SIG) pueden procesar distintos tipos de formatos de datos, desde archivos cartográficos hasta hojas de cálculo e imágenes. Las herramientas SIG permiten superponer y combinar estas capas de datos para generar visualizaciones y mapas digitales que ofrecen información mucho más detallada que los mapas tradicionales, (IBM, s.f.).

2.6.5. Tipos de formatos de datos geospaciales

Los SIG utilizan dos formatos principales de archivo geoespacial: datos ráster y datos vectoriales.

- **Datos ráster**

Los datos ráster son básicamente píxeles de una imagen que contienen información espacial asociada a cada pixel, por ejemplo: la elevación, la temperatura o incluso el uso del suelo. Este tipo de datos se utilizan con el fin de crear imágenes de alta resolución (Esri, s.f.).

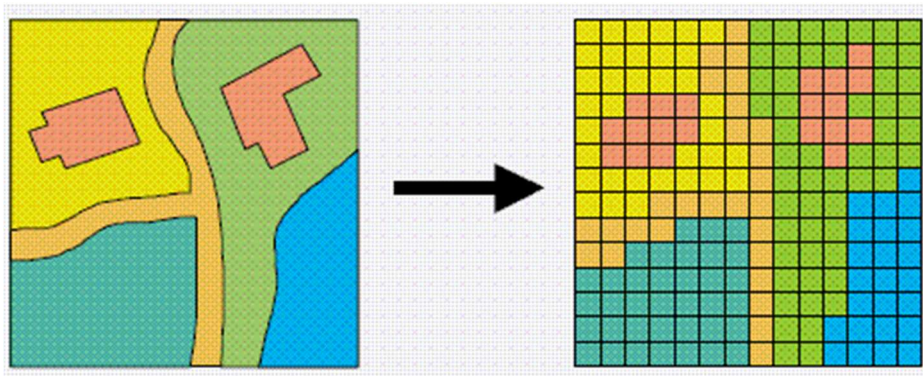


Figura 9. Representación de dataset raster. Tomado de (Esri, s.f.)

- **Datos vectoriales**

Representan un elemento geoespacial mediante las coordenadas x e y. La forma más básica de los datos vectoriales es un punto. Dos o más puntos forman una línea, y

tres o más líneas forman un polígono. Por ejemplo, con la herramienta de Google Maps (mapa web que utiliza sistemas de información geográfica), nos permite definir: la ubicación de una ciudad mediante puntos; carreteras con líneas; y edificios o límites mediante polígonos (IBM, s.f.).

2.6.6. Análisis de datos geospaciales

El estudio geoespacial, que se originó en campos como la geología y la ecología, se ha extendido a otras disciplinas, como la defensa y las ciencias sociales, afectando áreas como la administración de recursos naturales y la inteligencia nacional. Facilitará monitorear diversas variables asistiendo a las compañías tomar decisiones fundamentadas. Por ejemplo, las empresas de servicios públicos tienen la capacidad de analizar redes eléctricas, los restaurantes rastrear envíos de insumos, y las instalaciones de energía renovable analizar condiciones ambientales. Adicionalmente el desarrollo del Internet de las Cosas (IoT) ha aumentado la cantidad de datos disponibles, lo que ofrece nuevas oportunidades para el análisis geoespacial al generar valiosos insights a partir de grandes volúmenes de datos (IBM, s.f.).

El análisis geoespacial comunica eficazmente la forma y la energía de situaciones cambiantes. Conforme una organización acumula más información espacial en torno a un escenario, que se vuelve más sencillo de identificar y tomar mejores decisiones al respecto.

2.6.7. Software de SIG

Uno de los softwares más populares es el conocido como ArcGIS, el cual es un programa informático desarrollada por el Instituto de Investigación de Sistemas Medioambientales, (Environmental Systems Research Institute), ampliamente

reconocida como uno de los sistemas de información geográfica (SIG) más robustos y avanzados del mercado.

VII. NORMATIVA Y REGULACIÓN SOBRE LA PROTECCIÓN DE DUCTOS

2.7.1. Legislación ecuatoriana

La Legislación ecuatoriana establece que el transporte de hidrocarburos a través de oleoductos, poliductos y gasoductos, así como su refinación, industrialización, almacenamiento y comercialización, será llevado a cabo por entidades públicas, o por delegación por empresas nacionales o extranjeras de reconocida competencia en esas actividades, legalmente establecidas en el país. También se menciona que dicha empresa será responsable y asumirá los riesgos exclusivos de su inversión que conlleva el proyecto sin comprometer recursos públicos (geoenergia.gob.ec, 2023)

También se menciona que todas las acciones emitidas por las empresas que tengan contratos para el funcionamiento de ductos y todos los bienes adquiridos para la ejecución de los mismos serán transferidos al estado ecuatoriano en óptimas condiciones exceptuando el desgaste por uso cotidiano, según los términos y condiciones que consten en el contrato.

Art 57. El transporte de hidrocarburos por oleoductos o gaseoductos tiene carácter de servicio público.

Art. 69. La construcción de oleoductos y gaseoductos será supervisada y fiscalizada por la agencia de regulación y control Hidrocarburífero (ARCH) con el objetivo de verificar que se lleven a cabo el cumplimiento de programas, proyectos y presupuestos que se tengan planificados.

2.7.2. Delitos Hidrocarburífero

En cuanto a los delitos relacionados al robo de combustible, las leyes del Ecuador establecen lo siguiente:

En Ecuador, el delito de sustracción de hidrocarburos está tipificado en el artículo 266 del COIP, (CODIGO ORGANICO INTEGRAL PENAL) y se sanciona con penas de 5 a 7 años de cárcel.

Que el artículo 266, señala: las personas que por medios fraudulentos o clandestinos se apodere de hidrocarburos sus derivados incluidos el gas licuado del petróleo y biocombustibles cuando sean transportados a través de un oleoducto, gaseoducto, poliducto o a través de cualquier otro medio o cuando estos se encuentren almacenados en fuentes inmediatas de abastecimiento o plantas de bombeo será sancionada con pena preventiva de 5 a 7 años.

Artículo 267 establece: si se determina responsabilidad penal de la persona jurídica por las acciones tipificadas en esta sección será sancionada con multa de quinientos a mil salarios básicos unificados del trabajador (Registro oficial - Órgano de la República del Ecuador, 2020).

2.7.3. Normativas

Los oleoductos se edifican y funcionan para cumplir con los estándares de seguridad, y medioambientales establecidos por las agencias reguladoras y las asociaciones de la industria. Dentro de los Estados Unidos, el Departamento de Transporte (DOT) regula la operación de tuberías, la Agencia de Protección Ambiental, (EPA) regula los derrames y liberaciones, la Administración de Seguridad y Salud

Ocupacional (OSHA), promulga normas que cubren la salud y seguridad de los trabajadores, y la Interestatal La Comisión de Comercio (ICC) regula los oleoductos de transporte público. Varias organizaciones de la industria, como el Instituto Americano del Petróleo y la Asociación Estadounidense del Gas, también publican prácticas recomendadas que cubren las operaciones de tuberías.

CAPITULO III

3. METODOLOGÍA

I. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

3.1.1. Tipo de Investigación

El hurto de combustible es un problema que impacta de manera negativa la economía de Ecuador. Como se mencionó previamente en la sección 2.5 de este trabajo, Santa Elena es una de las provincias más afectadas de nuestro país. Con este fundamento surge la propuesta de llevar a cabo un estudio que pueda examinar y recolectar los distintos métodos de identificación de fugas en las tuberías que existen actualmente enfocándose en la intervención de terceros para el uso indebido del combustible.

La presente investigación es de tipo descriptivo, exploratoria, y comparativa. Se describirán los métodos de detección de fugas actuales disponibles en el mercado, haciendo énfasis en su uso para detección de fugas realizadas por terceros. Además, se realizarán tareas de campo en las que se investigaran las comunas que atraviesa el poliducto, cuyas ubicaciones se indican en la tabla 5, con el fin de realizar un análisis más detallado del terreno por donde pasan los poliductos. También es de tipo comparativa, donde se buscará comparar los distintos métodos de detección existentes y determinar cuál se adapta mejor a las condiciones y características de la provincia Santa Elena. Se seleccionarán casos específicos de incidentes de sustracción para analizar las circunstancias y consecuencias.

Se anticipa que las empresas responsables de gestionar y proteger la integridad de los poliductos tomen en cuenta los métodos sugeridos y, también sean aplicables a las demás regiones del país.

II. POBLACIÓN Y MUESTRA

El presente trabajo se desarrollará en la Provincia de Santa Elena, lugar que ha sido testigo de los diferentes incrementos que cada vez son más alarmantes de los casos de sustracción ilegal del combustible afectando la economía nacional y local.

III. MÉTODOS

El trabajo relacionado a los métodos de detección de fugas centradas en el robo de combustible mediante perforaciones en los poliductos en la provincia de Santa Elena se llevará a cabo mediante fases que permitirán mantener un proceso organizado y riguroso, Las fases empleadas se detallan a continuación:

3.3.1. FASES DE LA INVESTIGACIÓN

- **Fase 1: Recolección de información**

Se recopilará información teórica sobre los diferentes sistemas de detección de fugas. Se utilizarán fuentes en bases de datos académicas, artículos científicos, informes técnicos y documentos de empresas especializadas. También se empleará información sobre la ubicación de los ductos en la provincia,

proporcionada por la entidad EP PETROECUADOR, la cuál es de acceso público y se obtuvo desde su página web oficial. Aquí sus diferentes ubicaciones de los poliductos Libertad - Guayas- Manta:

Tabla 5. Poliductos de la provincia de Santa Elena. Tomado de (EP PETROECUADOR, 2022)

N	Cantón	Parroquia	Comunidad	Coordenadas		Altitud
1	Santa Elena	Manglaralto	La Entrada	524002	9808708	12
2	Santa Elena	Manglaralto	La Rinconada	522625	9810624	17
3	Santa Elena	Manglaralto	Comuna Las Núñez (zona urbana)	525127	9807659	28
4	Santa Elena	Manglaralto	Comuna San José	526027	9805785	14
5	Santa Elena	Manglaralto	La Curia (Zona Urbana)	526139	9803962	10
6	Santa Elena	Manglaralto	Olón (Zona Urbana)	526949	9801303	8
7	Santa Elena	Manglaralto	Montanita (Zona Urbana)	527916	9798301	7
8			Manglar alto (Zona Urbana)	525704	9805485	10

9			Barrio La Esperanza	528760	9796070	8
10	Santa Elena		Barrio Las Caracolas	528699	9795852	14
11			Enriqueta Candela	528689	9795697	8
12		Manglaralto	Los Algarrabos	529666	9795564	9
13	Santa Elena	Manglaralto	Rio chico	528756	9793969	11
14	Santa Elena	Manglaralto	Comuna Cadeate	528989	9793464	16
15	Santa Elena	Manglaralto	Comuna San Antonio (Zona Urbana)	529600	9792981	14
16	Santa Elena	Manglaralto	Comuna Libertador Bolívar (Zona Urbana)	529754	9792286	9
17	Santa Elena	Manglaralto	Comuna Valdivia	531736	9785619	10
18	Santa Elena	Manglaralto	Comuna San Pedro (Zona Urbana)	531091	9784258	8
19	Santa Elena	Colonche	Comuna Ayangue	527577	9781425	6

20	Santa Elena	Colonche	Palmar (Barrio Pueblo Nuevo y Comuna Palmar)	530982	9779094	15
21	Santa Elena	Colonche	Comuna Jambelí	529825	9773854	9
22	Santa Elena	Colonche	Comuna Monteverde	529561	9772603	2
23	Santa Elena	Santa Elena	Comuna San Pablo (Sector Rio Guayas)	526911	9763148	8
24	Santa Elena	Santa Elena	Punta Blanca (Urbanización Radisson en construcción)	522920	9760113	15
25	Santa Elena	Santa Elena	Ballenita Zona Urbana	513878	9755034	40
26	Santa Elena	La Libertad	Sector 9 de Octubre	512101	9753989	30
27	Santa Elena	La Libertad	Barrio Sixto Chang	511858	9754010	30
28	Santa Elena	Santa Elena	Barrio Chile	515271	9755151	50
29	Santa Elena	Santa Elena	Barrio Tablazo	516094	9754817	57

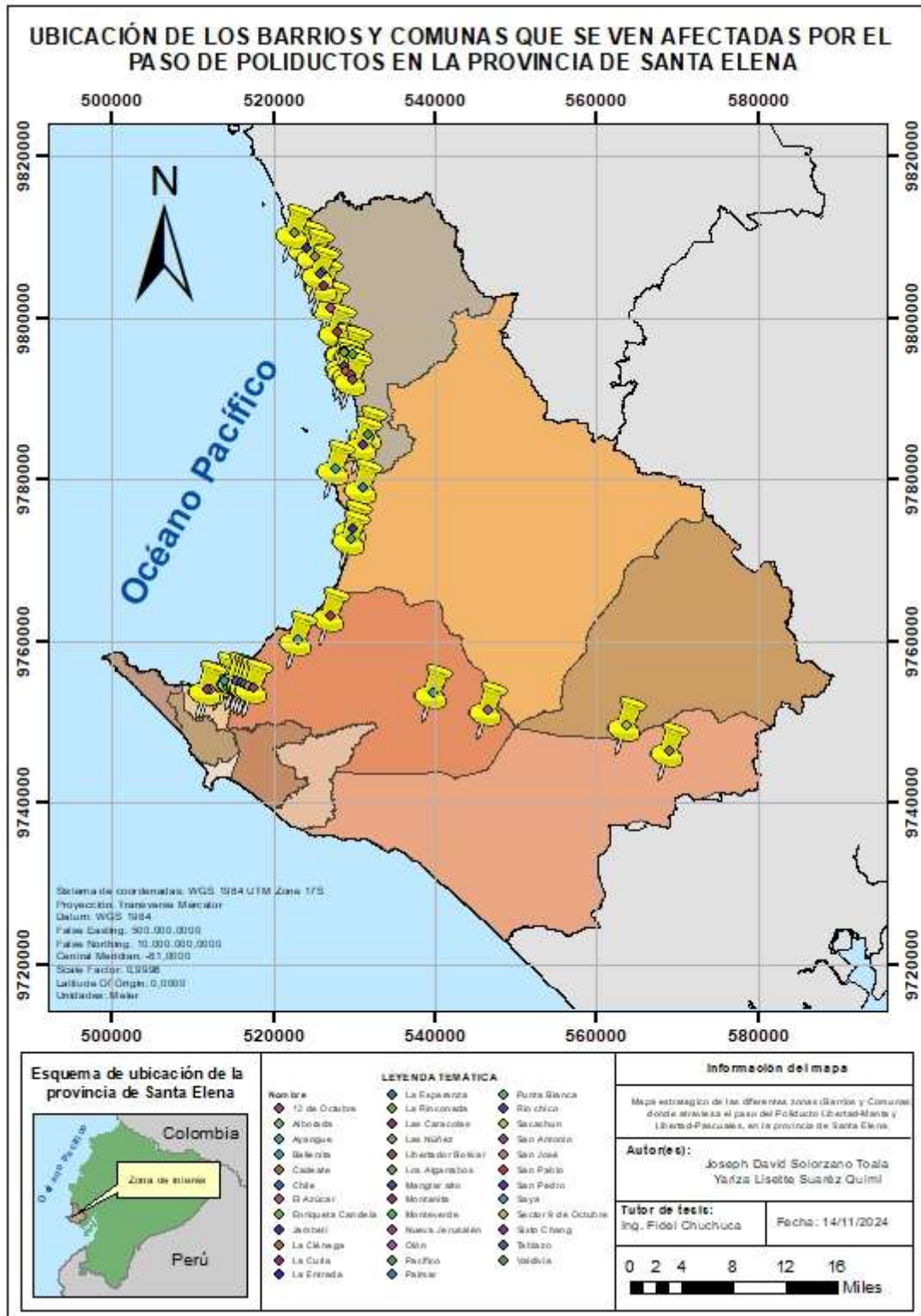
30	Santa Elena	Santa Elena	Barrio 12 de Octubre	516458	9754675	62
31	Santa Elena	Santa Elena	Barrio Pacifico	516750	9754515	69
32	Santa Elena	Santa Elena	Barrio Alborada	516773	9754412	59
33	Santa Elena	Santa Elena	Barrio Nueva Jerusalén	517472	9754199	63
34	Santa Elena	Santa Elena	Comuna San Vicente	525671	985325257	70
35	Santa Elena	Santa Elena	Comuna Baños de San Vicente	533137	994940418	72
36	Santa Elena	Santa Elena	Comuna Saya	539722	9753681	108
37	Santa Elena	Santa Elena	Comuna El Azúcar	546398	9751550	311
38	Santa Elena	Simón Bolívar	Comuna Sacachun	563692	9749651	94
39	Santa Elena	Chanduy	Comuna La Ciénega	568878	9746457	96

- **Fase 2: Comparación**

Se comparará la eficacia de los métodos de detección de fugas seleccionados, y se analizarán las ventajas y desventajas de cada sistema en el contexto de Santa Elena. Se realizará una matriz de evaluación basada en criterios como eficiencia, mantenimiento, y adaptabilidad al entorno. Este análisis comparativo destacará los puntos fuertes y débiles de cada sistema.

- **Fase 3: Estudio Geográfico**

Se realizará un estudio geográfico para determinar zonas de interés, mediante el uso de software especializado en sistemas de información geográfica (ArcGIS). Se generó un mapa (Mapa 1) donde se muestra los dos distintos barrios y comunas cuya ubicación se encuentra en el paso de un poliducto (Libertad – Manta o Libertad – Pascuales). Se espera determinar zonas vulnerables y proponer el uso de un sistema de detección de fugas que se adapte a las condiciones del entorno. El mapa generado se muestra a continuación:



Mapa 1. Ubicación de las zonas ubicadas en el paso del poliducto Libertad – Manta – Pascuales. Elaboración propia.

- **Fase 4: Propuesta**

En base a la información previamente recolectada, se creará una propuesta con el método que mejor se adapte a las características de los poliductos en provincia de Santa Elena. La propuesta tendrá en cuenta las características de los poliductos Libertad – Manta y Libertad – Pascuales, mismas que se detallan a continuación en las tablas 6 y 7.

Tabla 6. Características de la tubería Libertad - Manta. Tomado de (*EP PETROECUADOR, 2022*).

Característica	Especificación
Condición	168,21 km enterrado
Norma de fabricación	API 5L X42 (42.000 psi)
Espesores	0,219” / 0,280” (5,56 y 7,13 mm)
Presión máxima de operación	1487 psi
Presión de prueba hidráulica	n.d.
Revestimiento	Cinta tipo Poliken
Puesta en operación	1985
Producto	Diésel, gasolina súper y premezcla

Tabla 7. Características de la tubería Libertad - Pascuales. Tomado de (*EP PETROECUADOR, 2022*)

Característica	Especificación
Condición	125, km enterrado
Norma de fabricación	API 5L X42 (46.000 psi)
Espesores	0,219” / 0.250” (5,56 y 6,35 mm)
Presión máxima de operación	1134 psi
Presión de prueba hidráulica	n.d.
Revestimiento	Cinta tipo poliken
Puesta en operación	1985
Producto	Diésel, gasolina súper, premezcla, alto octanaje y jet fuel.

CAPITULO IV

4. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

De acuerdo con la información obtenida de diversas empresas especializadas en el sector Hidrocarburífero y tuberías de transporte de fluidos, se obtuvieron 5 métodos de detección de fugas por robo los cuales serán objeto de análisis. Los métodos seleccionados deben cumplir con tres consideraciones importantes para un sistema de detección de robos en ductos, los cuales son:

- **Alta sensibilidad**

Es necesario identificar todas las extracciones efectuadas al ducto, incluso hasta la más mínima. Esta consideración es relevante, debido a que los ladrones tienen la capacidad de emplear técnicas delicadas para realizar la sustracción ilícita, tal como se habló en la sección del capítulo dos.

- **Excelente precisión**

Un procedimiento de identificación con un error significativo en la exactitud de localización muy alto puede ocasionar más problemas que soluciones. Entendemos que los poliductos que atraviesan la provincia de Santa Elena tienen una longitud de alrededor de 170 km (Libertad - Manta) y 127 km (Libertad – Pascuales), según se especifica en la tabla 4. Así pues, cuando se reporte una fuga, no es necesario efectuar la revisión en toda la longitud del ducto.

- **Tiempo de respuesta**

Otro elemento crucial para un sistema eficaz de detección de hurtos. Si la meta es no solo identificar y localizar los puntos de fugas, sino también neutralizar de manera eficiente esta actividad, es impredecible que el método pueda comunicar a los operadores lo más rápido posible. Esta consideración adquiere mayor relevancia al tomar en cuenta los peligros para la seguridad pública y al entorno donde, en el peor de los casos, dicha fuga puede llegar a ocasionar una explosión a gran escala, poniendo en peligro la vida de las personas que viven en comunas y sectores aledaños.

Baja estas tres premisas y en respuesta al primer objetivo específico del presente estudio, a continuación, se presentan los métodos obtenidos para una detección de fugas rápida, precisa y confiable:

4.1.1. Sistema vibroacústico de monitoreo de tuberías de Eni (e-vpms)

Descripción técnica

El sistema e-vpms opera a través una red múltiples puntos de sensores vibro acústicos en la tubería, ubicados en la tubería, a distancias relativas de decenas de kilómetros. La forma en la que se detecta el robo es mediante la propagación de ondas acústicas y elásticas que se generan en el momento que interviene en el ducto, y que se difunden a lo largo del ducto. Estas fluctuaciones detectadas por los sensores que se encuentran ubicados de manera estratégica. La imagen 11 muestra el sensor ya instalado.

En la imagen 12 muestra el diseño del hardware del sistema e-vpms. Cuando sucede una alteración mecánica en la tubería ya sea un derrame, un impacto o un proceso de excavación, al interactuar con la tubería, esta produce un campo de ondas vibro

acústico que se propaga. Los sensores situados en lugares claves identifican estas ondas, y envían esos datos a la unidad central de procesamiento.



Figura 10. Imagen de una instalación típica del sensor en un baipás. Tomado de (Marino et al., 2022)

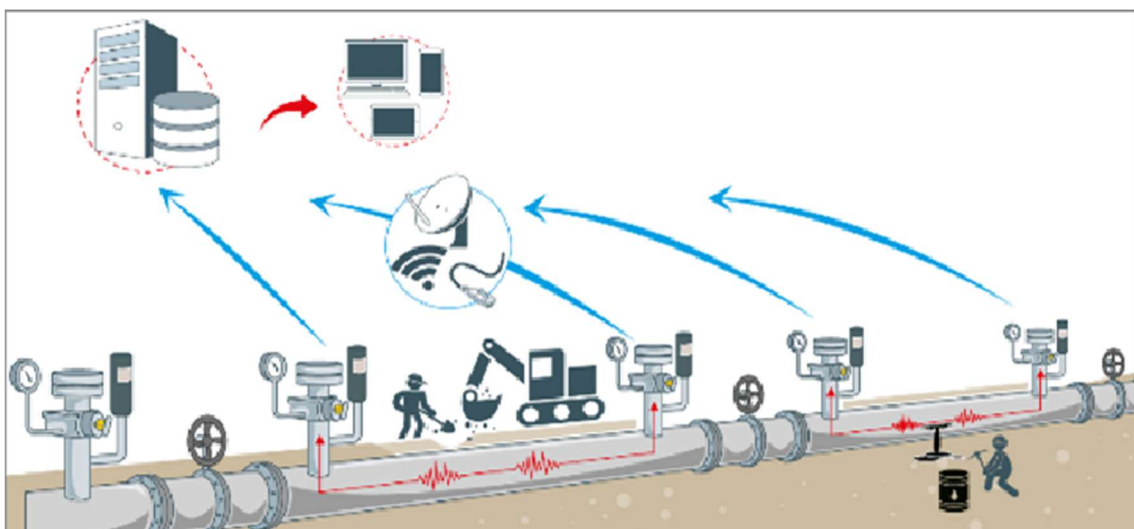


Figura 11. Esquema de todo el hardware del sistema e-vpms. Tomado de (Marino, Del Giudice, Giunta, & Chiappa, 2022)

4.1.2. Atmos Wave Leak Detection

Descripción técnica

Atmos Wave se basa en las detecciones de las ondas de presión negativas relacionadas a las fugas por robo. Estas ondas de rarefacción se propagan en ambas direcciones hacia los sensores de presión ubicados en los extremos o a lo largo de todo ducto que será monitoreado. Es a través de estas ondas que el dispositivo puede detectar y ubicar las zonas afectadas.

Se utilizan tres algoritmos integrales para filtrar el ruido y estructurar la información de presión analógica en un mapa tridimensional detallado. Esto reduce la detección de falsos positivos que puedan ser ocasionados por otras acciones no relacionadas al robo. Adicionalmente se utiliza un sistema estadístico de detección de fugas de Atmos, Atmos Pipe. En las imágenes 13 se presenta un esquema de su funcionamiento.

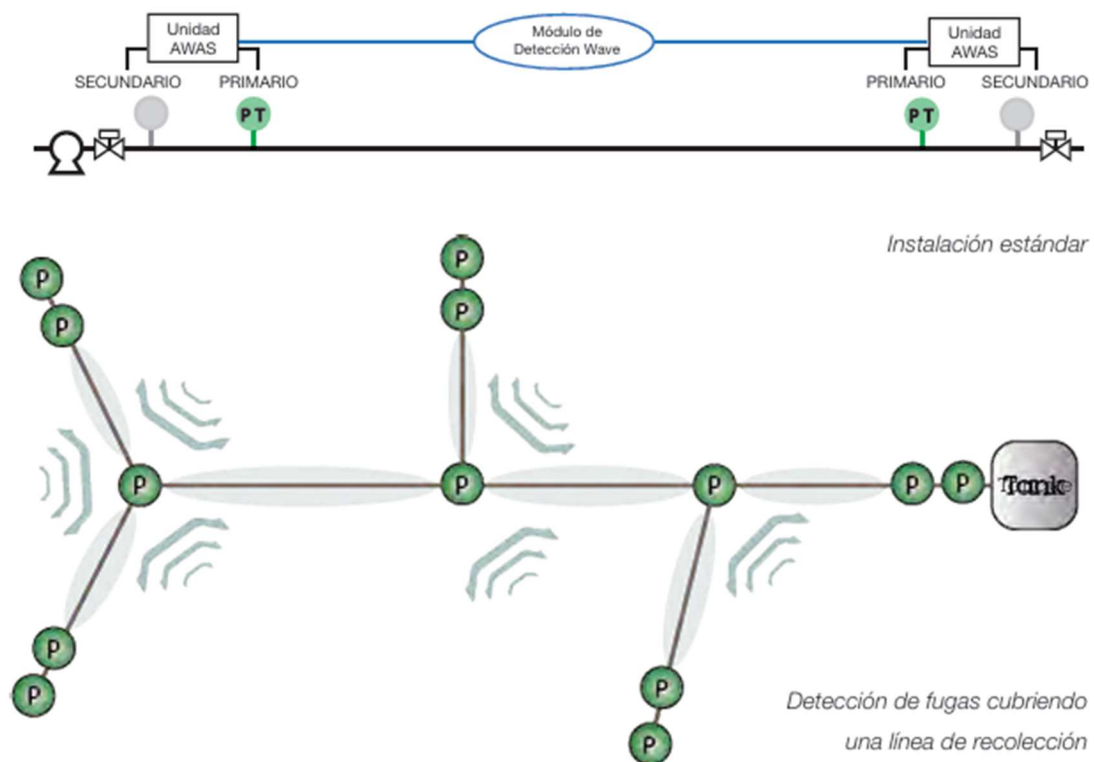


Figura 12. Esquema del funcionamiento de la tecnología Atmos Wave. Tomado de (*Atmos International , s.f.*)

4.1.3. PipePatrol Theft Detection

Descripción técnica

PipePatrol Detección de robos emplea una identificación específica de patrones de robo para permitir la identificación y localización rápida y fiable de descargas de producto no autorizadas o ilegales (típicamente robos). Incluso en caso de volúmenes pequeños, el sistema genera una alarma en pocos minutos, permitiendo así la detención instantánea del robo. Para alertar al personal, el sistema facilita una notificación de alarma por correo electrónico, acompañada de un informe de localización Google Earth que

muestra el lugar del robo; de esta forma el personal in situ puede emprender una acción coordinada e inmediata.

Para la identificación de las horas y lugares reales del robo, KROHNE brinda también un servicio de análisis posterior al robo. El sistema facilita una notificación de alarma por correo electrónico, acompañada de un informe de localización Google Earth® (imagen 15) que muestra el lugar del robo.

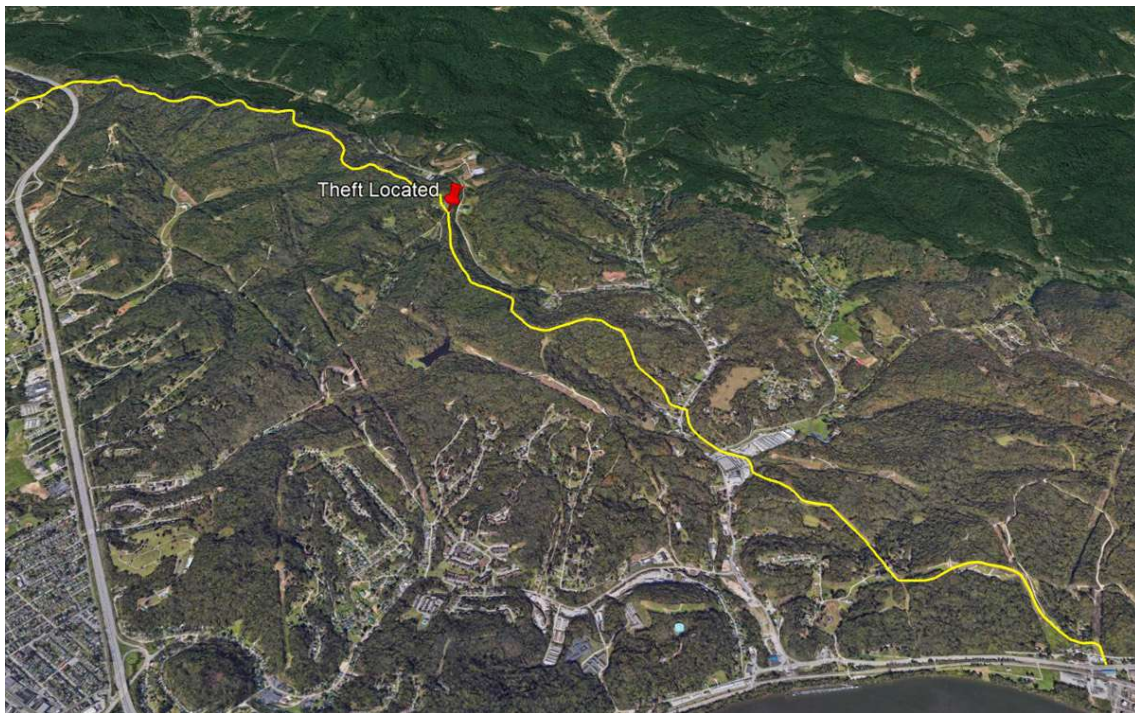


Figura 13. Ubicación del robo a través de plataforma Google Earth. Tomado de (KROHNE Group, *s.f.*)

También ofrece una interfaz de usuario (**imagen 16**) con compatibilidad para sistemas operativos Android, IOS y Windows.

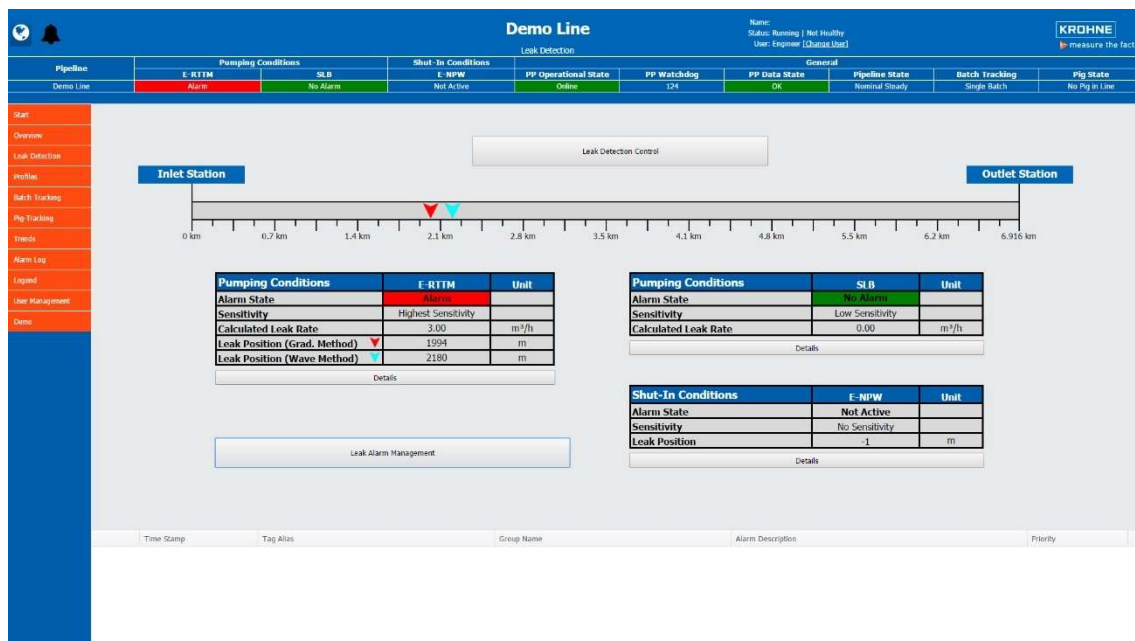


Figura 14. Interfaz de usuario basada en la Web SynEnergy v3 de KROHNE. Tomado de (KROHNE Group, s.f.)

4.1.4. Atmos Eclipse

Descripción técnica

Atmos Eclipse es un sistema de instalación sencilla y diseñado para una implementación rápida por parte de cualquier usuario final. Utiliza dispositivos para evaluar factores de flujo, presión y temperatura, en conjunto con capacidades de comunicación que permiten una detección de fugas precisa y en tiempo real en cualquier ubicación donde se requiera.

También es ideal para su uso en ductos largos con poca o ninguna instrumentación instalada. En las imágenes 16 se muestra cómo se veía el dispositivo ya instalado en una tubería y en la imagen 17 se presenta su diseño de fabricación.



Figura 15. Instalación de hardware Eclipse de Atmos en tubería de transporte de hidrocarburos y derivados.

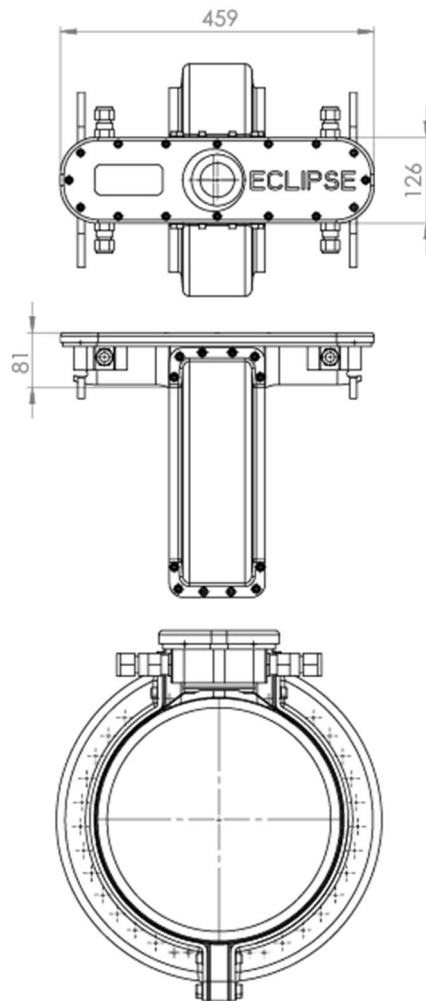


Figura 16. Esquema de diseño de fabricación de Atmos Eclipse.

4.1.5. Ventajas y limitaciones de cada sistema

A continuación, se detallan los beneficios y restricciones de los sistemas de identificación de fugas estudiados en este capítulo. Ya que la selección del sistema correcto se basa en diversos factores técnicos, económicos y operativos, es crucial evaluar cada tecnología en función de su capacidad para detectar fugas de manera eficiente y su

viabilidad en entornos específicos, como el de la provincia de Santa Elena, además de las características específicas de sus poliductos.

Este análisis comparativo servirá para tomar decisiones informadas sobre cuál es la mejor opción para implementar un sistema de detección de fugas en ductos de hidrocarburos, maximizando la efectividad y la eficiencia en la reducción del robo y las pérdidas asociadas.

Tabla 8. Ventajas y limitaciones del sistema e-vpms.

Sistema vibroacústico de monitoreo de tuberías de Eni (e-vpms)	
Ventajas	Limitaciones
<ul style="list-style-type: none"> • Capacidad para detectar impactos y eventos precursoros, antes de que se conviertan en fugas. • Gran resistencia a los intentos de sabotaje gracias a su arquitectura. • Capacidad para operar con cualquier tipo de fluido en una sola fase. • Monitoreo continuo y en tiempo real. • Compatible con otras tecnologías como monitoreo satelital. 	<ul style="list-style-type: none"> • Es sensible al ruido ambiental, lo que puede generar falsas alarmas en áreas con vibraciones externas significativas, como zonas urbanas o regiones con actividad sísmica. • En áreas de difícil acceso o con ductos enterrados a gran profundidad, la instalación y calibración de los sensores puede ser un desafío. • Dependencia de infraestructura de telecomunicaciones.

Tabla 9. Ventajas y limitaciones de Atmos Wave.

Atmos Wave	
Ventajas	Limitaciones
<ul style="list-style-type: none">• Sensibilidad típica alcanzable (sin falsas alarmas) está por debajo de 0.5% del flujo nominal del ducto• Los algoritmos permiten la detección de cierre de puntos de toma, lo que es muy útil para identificar eventos de robo.• Puede detectar fugas de hasta 1 mm de diámetro.• Precisión de ubicación dentro de 10m Monitoreo continuo y en tiempo real.	<ul style="list-style-type: none">• La calidad y confiabilidad de las telecomunicaciones son cruciales para el funcionamiento del sistema.• Si hay interrupciones o problemas en la transmisión de datos, esto puede limitar la capacidad del sistema para proporcionar información precisa y en tiempo real sobre las condiciones de las tuberías.

Tabla 10. Ventajas y limitaciones de PipePatrol Theft Detection.

PipePatrol Theft Detection	
Ventajas	Limitaciones
<ul style="list-style-type: none">• El sistema proporciona informes de alarma a través de correo electrónico y se integra con Google Earth.• KROHNE ofrece un servicio de análisis posterior al robo, lo que	<ul style="list-style-type: none">• La efectividad del PipePatrol Theft Detection depende en gran medida de la calidad del sistema de monitoreo existente. Si el sistema no está bien calibrado o

<p>ayuda a las empresas a entender mejor los incidentes y mejorar sus estrategias de prevención.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Este sistema es aplicable a diversas infraestructuras, incluyendo oleoductos, gasoductos y tuberías de agua, lo que lo hace versátil para diferentes industrias 	<p>mantenido, puede haber fallos en la detección.</p> <ul style="list-style-type: none"> • PipePatrol depende de una interpretación precisa de los datos de flujo y presión para detectar robos. En entornos con interferencias externas, el sistema puede tener dificultades para identificar correctamente los patrones de flujo
--	---

Tabla 11. Ventajas y limitaciones de Atmos Eclipse.

Atmos Eclipse	
Ventajas	Limitaciones
<ul style="list-style-type: none"> • Instrumentación disponible que incluye presión, flujo, temperatura y velocidad del sonido. • Instalación no intrusiva y de bajo costo. • Despliegue rápido en múltiples tuberías. • Puede enterrarse a profundidad (máx.) de 2 m. 	<ul style="list-style-type: none"> • En tuberías con profundidades mayores a 2 metros el sistema no es aplicable.

II. RELEVANCIA PARA LA REGIÓN

Sin duda, cada sistema propuesto presenta sus propias fortalezas y debilidades, por tal motivo es importante realizar una estrategia de implementación que considere las condiciones locales del terreno y de las características técnicas del poliducto el cual se pretende instalar dicho sistema. Esto con el fin de eliminar la incertidumbre sobre su eficacia en un contexto específico, como lo es el caso de la Península de Santa Elena.

4.2.1. Análisis de campo

Para realizar un correcto análisis sobre qué sistema se adapta mejor a las características específicas del entorno en el contexto de la provincia de Santa Elena, se procedió a realizar visitas a las comunas y barrios que se encontraban en el paso de un poliducto (Tabla 5). También se realizaron entrevistas a varios de los residentes que vivían cerca de las zonas con el propósito de determinar el nivel de conocimiento que tenían acerca de la problemática de estudio, si tenían conocimiento del paso del poliducto por su zona, o si habían presenciado actos sospechosos cerca de sus viviendas. Los resultados obtenidos del trabajo realizado se presentan a continuación en la tabla 12. Debido a factores externos (como terrenos de difícil acceso y de seguridad) no fue posible visitar todas las ubicaciones, sin embargo, se realizó un análisis con software de información geográfico (ArcGIS), permitiéndonos tener un mayor entendimiento de dichas zonas.

Tabla 12. Respuestas de los participantes.

N.	Área de investigación	Resultados de exploración y entrevistas
-----------	------------------------------	--

1	Ballenita Zona Urbana	<p>El poliducto pasa a través de un terreno despejado, no se observan viviendas por encima del mismo.</p> <p>Los habitantes afirman no haber presenciado actos ilícitos o sospechosos cerca de la zona. Se tienen conocimientos de la modalidad de robo.</p> <p>Se tiene cámaras de vigilancia cerca del paso del poliducto.</p>
2	Cumbres de Libertad	<p>El ducto se encuentra visible.</p> <p>Hay viviendas cerca de la zona.</p>
3	Barrio Nueva Jerusalén	<p>El poliducto no se encuentra visible a simple vista.</p> <p>Los habitantes desconocen su existencia.</p>

No se tiene conocimientos de sustracciones ilícitas o actividad sospechosa.

4

Barrio Tablazo

Existen problemas con la gente que contamina con basura el área de poliducto - Se ha escuchado que el recorrido es de Santa Elena a Manta y que no solo transporta petróleo.

5

Comunidad La Libertad

La tubería pasa por la vía, no se debe quemar basura ni se puede pavimentar.

Conoce que son sistemas de transferencia desde La Libertad a Manta y a Guayaquil.

Se le ha visto al personal trabajando.

Se ha visto gente, pero no se sabe con certeza que actividad realizan.

Solo se conoce la estación y se sabe que hay petróleo.

Conoce de la presencia de los tubos, pero supone que ya no funcionan.

		Sacan petróleo y procesan petróleo
6	Barrio Pacifico	Se conocen poliductos, hay cerramientos en el que no se debe botar basura ni quemar
7	Barrio la alborada	Sabe que existe, que pasa gasolina y es peligroso.

Dado los resultados de las investigaciones de campo, el cantón La Libertad se distingue por contar con suelos formados por sedimentos cuaternarios de origen marino estos poseen un bajo nivel de carbonato y calcio y escasa materia orgánica. La erosión del suelo varía desde moderada hasta severa dependiendo de la topografía de la zona, en áreas planas la erosión es apenas perceptible, mientras que en terrenos inclinados y montañoso la erosión es evidente. La mayoría de las personas desconocen la modalidad utilizada para el robo de combustible. Tampoco se tiene una certeza de la ubicación del poliducto debido a la falta de señalizaciones y en algunos casos, se desconocía que el poliducto atravesaba su barrio o comuna.

4.2.2. Propuesta de implementación

A lo largo del desarrollo de este estudio, se desarrollaron diversas investigaciones que permitirán la correcta selección del método de detección de fugas adecuado para la provincia de Santa Elena. Para esto, se tuvo presente las tres consideraciones más

importantes que debe tener un sistema de detección de fugas por robos; mismas que se trataron al inicio de este capítulo:

- Alta sensibilidad.
- Excelente precisión
- Tiempo de respuesta

Teniendo estas consideraciones presentes, se elaborará la siguiente tabla comparativa:

Tabla 13. Tabla comparativa de los diferentes métodos analizados. Elaborado por los autores.

Método	Sensibilidad	Precisión	Tiempo de respuesta
E-vpms	Detecta impactos y eventos precursores, antes de que se conviertan en fugas.	$\pm 25\text{m}$	5-15 min
Atmos Wave	Detecta fugas de hasta 1 mm de diámetro.	10m	3-4 min
PipePatrol	-	Ubicación precisa a través de Google Earth.	-

A. Eclipse	Alta	-	Tiempo real
-------------------	------	---	-------------

Bajo esas consideraciones, el método más adecuado aplicable a la península de Santa Elena es el método de Atmos Wave. Ya que presenta características superiores frente a los demás métodos.

Es debido también a la distancia entre sensores, de hasta 240 km, que, para el caso de estudio de la península de Santa Elena, solo se necesitarían 2 sensores. Esto es porque la distancia total de los poliductos Libertad – Manta y Libertad – Pascuales es de alrededor de 225 km, por lo que con tan solo 2 sensores serían suficientes para cubrir la totalidad de los poliductos.

CAPITULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

I. CONCLUSIONES

En conclusión, el objetivo principal de esta investigación fue la propuesta de implementación de un sistema de detección de guas en poliductos por robo de combustible en la provincia de Santa Elena, usando métodos de revisión bibliográfica, herramientas de Georreferenciación y entrevistas con habitantes de comunas aledañas. El método propuesto se adapta a las condiciones geográficas de la península y cumple con los requerimientos técnicos de los poliductos que se ven afectados por la problemática de sustracción clandestina de combustible.

Se realizó una investigación relacionada a los métodos de detección de fugas, con un enfoque a fugas ocasionadas por la intervención de terceros. Se utilizaron recursos bibliográficos de la empresa regente del sector Hidrocarburífero del Ecuador: EPPTROECUADOR. Se obtuvo información de las características específicas de los poliductos de la Provincia.

Posterior, se hizo un análisis de las ventajas y desventajas que ofrecía cada método en el contexto de la Provincia de Santa Elena. Este análisis permitió tener una visión más clara de cual método se adapta mejor a las necesidades y características del área de estudio.

Como resultado, el método que mejor se adapta es el desarrollado y patentado por la empresa Atmos, denominado Atmos Wave. Dicho método posee un tiempo de

respuesta superior, una longitud entre sensores mayor (240 km) lo que permite una baja inversión inicial al hacer uso de menos sensores por tramo de poliductos. Debido a estas características es que se recomienda su implementación en la provincia.

II. RECOMENDACIONES

Es recomendable que las instituciones reguladoras del hidrocarburo realicen más investigaciones relacionadas con el robo de combustible en ductos de transporte, realizando financiaciones a sistemas de detección con un potencial de ahorro por gastos en reparaciones a futuro.

Es importante realizar una inspección y actualización de los ductos en la provincia de Santa Elena para garantizar que la infraestructura sea compatible con las nuevas tecnologías propuestas.

Implementar un programa continuo de monitoreo ambiental permitirá evaluar el impacto positivo de la reducción de fugas y garantizar el cumplimiento de las normativas locales.

Una vez validada la efectividad del sistema propuesto, se recomienda realizar un análisis para replicar esta propuesta en otras regiones con problemas similares.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Academia Lab. (12 de Noviembre de 2024). *AcademiaLab*. Obtenido de Transporte por ducto: <https://academia-lab.com/enciclopedia/transporte-por-ducto/>
- Al-Janabi, Y. T. (2020). *An Overview of Corrosion in Oil and Gas Industry: Upstream, Midstream, and Downstream Sectors*. Viswanathan S. Saji, Saviour A. Umoren. doi:10.1002/9783527822140.ch1
- Al-Janabi, Y. T. (2020). *Corrosion Inhibitors in the Oil and Gas Industry*. Wiley-VCH. doi:10.1002/9783527822140
- Arzata, S. O. (2012). *El mundo del petróleo: Origen, usos y escenarios*. Fondo de Cultura Económica. Obtenido de https://books.google.com.ec/books/about/El_mundo_del_petr%C3%B3leo.html?id=5RLn2k91NaoC&redir_esc=y
- Atmos International . (s.f de s.f de s.f.). *Atmos International* . Obtenido de Atmos Wave: <https://www.atmosi.com/en/products-services/atmos-wave/>
- AV, B., Rendon von Osten, J., Gold-Bouchot, G., & Arnaz-Hernández, C. (2005). *Golfo de México, Contaminación e Impacto Ambiental: Diagnóstico y Tendencias* .
- bankinter. (27 de Septiembre de 2023). *Bankinter*. Obtenido de Los mayores países productores de petróleo del mundo (infografía): <https://www.bankinter.com/blog/economia/principales-productores-petroleo-mundo>
- Ben-Mansour, R., Habib, M. A., Khalifa, A. Y.-T., & Chatzigeorgiou, D. (2012). Computational fluid dynamic simulation of small leaks in water pipelines for direct leak pressure transduction. *Computers & Fluids*, 57, 110-123.

- Bhuiyan, M. A., Hossain, M., & Alam, J. M. (2016). A computational model of thermal monitoring at a leakage in pipelines. *International journal of heat and mass transfer*. 92, 330-338.
- Burrough, P. A. (1986). *Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment*. Geocarto International. doi:10.1080/10106048609354060
- CNN. (10 de Abril de 2020). *CNN en Español*. Obtenido de ¿Qué es la OPEP y qué países la integran?: <https://cnnespanol.cnn.com/2020/04/10/que-es-la-opec-y-que-paises-la-integran/>
- Comite Nacional de Soberania Energetica . (2021). *Estrategia nacional de lucha contra los delitos hidrocarburiferos, desvío ilícito y mal uso de combustibles líquidos derivados de hidrocarburos (CLDH), biocombustibles, sus mezclas y Gas Licuado de Petróleo (GLP)*. Quito: Organo de la republica del Ecuador .
- El Oriente. (20 de Mayo de 2019). *El Oriente*. Obtenido de La Industria Petrolera en Ecuador: <https://www.eloriente.com/articulo/industria-petrolera-en-ecuador/11779>
- Eland Cables. (s.f.). *Upstream, midstream and downstream [Fotografía]*. Obtenido de ElandCables Web site: <https://www.elandcables.com/the-cable-lab/faqs/faq-what-are-upstream-and-downstream-works-in-the-oil-gas-industry>
- EP PETROECUADOR. (S.F. de Febrero de 2022). *EP PETROECUADOR*. Obtenido de Estudio de Impacto Ambiental Ex Post : <https://www.eppetroecuador.ec/>
- EP PETROECUADOR. (30 de Diciembre de 2023). *EP PETROECUADOR*. Obtenido de Plan General de Negocios, Expansión e inversión de EP PETROECUADOR 2024: <https://www.eppetroecuador.ec/wp-content/uploads/downloads/2024/01/PGN-2024->

APROBADO.pdf#:~:text=al%20transporte,%20la%20refinaci%C3%B3n%20y%20la%20comercializaci%C3%B3n%20interna

Esri. (s.f.). *Esri*. Obtenido de Fundamentos de ráster: <https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/latest/manage-data/geodatabases/raster-basics.htm#:~:text=Un%20r%C3%A1ster%20es%20un%20conjunto%20de%20celdas%20organizado,con%20la%20dem%C3%A1s%20informaci%C3%B3n%20geogr%C3%A1fica%2C%20en%20un%20DBMS>.

García, P. (11 de Agosto de 2021). *Geoinnova*. Obtenido de ¿Qué es un SIG, GIS o Sistema de Información Geográfica?: <https://geoinnova.org/blog-territorio/que-es-un-sig-gis-o-sistema-de-informacion-geografica/>

Gobierno de México . (18 de Enero de 2022). *Gob.mx*. Obtenido de A tres años de la explosión en Tlahuelilpan, Hidalgo: <https://www.gob.mx/cenapred/articulos/a-tres-anos-de-la-explosion-en-tlahuelilpan-hidalgo?idiom=es>

Goodchild, M. F. (1992). *Geographical information science*. International Journal of Geographical Information Systems. doi:10.1080/02693799208901893

Heywood, D. I., Cornelius, S. C., & Carver, S. J. (2011). *An Introduction to Geographical Information Systems*. Pearson Prentice Hall. Obtenido de http://wps.pearsoned.co.uk/ema_uk_he_heywood_intro_GIS_4/

IBM. (s.f.). *¿Qué es un sistema de información geográfica (SIG)?* Obtenido de IBM Web site: <https://www.ibm.com/es-es/topics/geographic-information-system>

KROHNE Group. (s.f.). *KROHNE*. Obtenido de PipePatrol Detección de robos: <https://cmp.krohne.com/pipeline-management-es/deteccion-de-robos/>

Lay-Ekuakille, A., Vendramin, G., & Trotta, A. (2009). Spectral analysis of leak detection in a zigzag pipeline: A filter diagonalization method-based algorithm application. *Measurement*, 42(3), 358-367.

- Linkun, Z., Zheng, C., & Jianqiang, D. (2024). A review of leak detection methods based on pressure waves in gas pipelines. *ScienceDirect*, 236(115062), 1-2. doi:10.1016/j.measurement.2024.115062
- Marino, M., Del Giudice, S., Giunta, G., & Chiappa, F. (3 de Junio de 2022). Applications of Vibroacoustic Technology to support pipeline assets re-use, integrity management and energy transition projects. (D. K. Ritter, Ed.) 34-41. Obtenido de www.pipeline-journal.net
- MINISTERIO DE HIDROCARBUROS. (2018). *REGLAMENTO DE OPERACIONES HIDROCARBURIFERAS*. Portal Unico de Tramites Ciudadanos. Obtenido de <https://www.gob.ec/>
- MINISTERIO DE HIDROCARBUROS. (2018, 02 de febrero). *REGLAMENTO DE OPERACIONES*. Gob.ec. Obtenido de <https://www.gob.ec/sites/default/files/regulations/2018-10/Reglamento-de-operaciones-hidrocarburiferas.pdf>
- Morrison, T., & Boyd, N. (1973). *Organic Chemistry, 3rd edition*. Allyn and Bacon Eds.
- Naga Venkata, S. K., Faisal Khan, Q. N., & Saadat Mirza, S. V. (2022). Review and analysis of pipeline leak detection methods. *Journal of Pipeline Science and Engineering*, Volume 2.
- Nájar, A. (11 de Enero de 2019). *BBC NEWS MUNDO*. Obtenido de <https://www.bbc.com/mundo/noticias-america-latina-46834506>
- Ning, H., Cheng, Q., Ruoxia, L., & Meng, Z. (2021). An improved pipeline leak detection and localization method based on compressed sensing and event-triggered particle filter. *Journal of the Franklin Institute*, 358(15), 8085-8108. doi:10.1016/j.jfranklin.2021.08.012
- Ozevin, D., & Harding, J. (2012). Novel leak localization in pressurized pipeline networks using acoustic emission and geometric connectivity. *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, 92, 63-69.

- Pérez-Pérez, E. D., López-Estrada, F. R., Valencia-Palomo, G., Torres, L., Puig, V., & Mina-Antonio, J. D. (2021). Leak diagnosis in pipelines using a combined artificial neural network approach. *Control Engineering Practice*.
- Pérez-Zuñiga, G., Sotomayor-Moriano, J., Rivas-Perez, R., & Sanchez-Zurita, V. (2021). Distributed Fault Detection and Isolation Approach for Oil Pipelines. *Applied Sciences*(11993).
- Qu, Z., Feng, H., Zeng, Z., Zhuge, J., & Jin, S. (2010). A SVM-based pipeline leakage detection and pre-warning system. *Measurement*. 43(4), 513-519.
- Redacción Primicias. (19 de Enero de 2024). *Primicias* . Obtenido de <https://www.primicias.ec/noticias/sucesos/detenidos-robo-combustibles-santa-elena-prision/>
- Rivas Tufiño, A. E., Núñez Solano, S. J., & Moscoso Jácome, R. E. (2020). Modelo de gestión para el control de riesgos en oleoductos, poliductos y gasoductos. *Industrial Data*, 23(1), 73-94. doi:10.15381/idata.v23i1.16716
- Rumiche P., F. A., & Indacochea B. , J. E. (s.f.). Estudios de Caso de Fallas y Accidentes en Gasoductos y Oleoductos . *Trabajo de investigación*. University of Illinois at Chicago, Chicago.
- Salas Camacho, F. A. (2022). DESARROLLO DE UN SISTEMA DE DETECCIÓN Y LOCALIZACIÓN DE FUGAS BASADO EN FILTRO DE KALMAN EXTENDIDO PARA SISTEMAS DE TRANSPORTE DE PETRÓLEO CRUDO APLICADO AL TRAMO I DEL OLEODUCTO NORPERUANO. *Obtención de título de grado Magister*. PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ, Lima.
- Seleni, J. P. (2019). Protocolo para control de la corrosión interna en oleogasoductos de México. *Título de ingeniero Petrolero*. Instituto Politécnico nacional, Ciudad de México.

- Tomlinson, R. (2008). *Pensando en el SIG: planificación del sistema de información geográfica dirigida a gerentes*. Esri. Obtenido de https://downloads2.esri.com/ESRIpress/images/147/think3_ch1_SP.pdf
- Tomlinson, R. F. (2003). *Thinking about GIS: Geographic Information System Planning for Managers*. ESRI, Inc.
- Torres, L., Salvador, J., Vásquez, A., & De la Cruz, R. (2020). Kalman filters for leak diagnosis in pipelines: Brief history and future research. *Journal of Marine Science and Engineering*, 8(3), 173.
- Vidal Guarniz, K. L. (2020). Sistema de información geográfica para el monitoreo de las amenazas en el sistema de transporte de hidrocarburos por ductos. Camisea-Perú. (Tesis}. Universidad Nacional Federico Villarreal, Lima.
- Vistazo. (31 de Enero de 2024). *Editorial Vistazo*. Obtenido de <https://www.vistazo.com/actualidad/nacional/perforaciones-clandestinas-para-robar-combustible-causan-millonarios-perjuicios-al-estado-XK6729213>
- Zapata, D. R. (2023). Sistema para la gestión de la integridad de ductos para el transporte de hidrocarburos. Corrosión y medidas preventivas. *PROYECTO INTEGRADOR PROFESIONAL*. UNIVERSIDAD NACIONAL DEL COMAHUE, Neuquén.

ANEXOS

I. Imágenes de las zonas visitadas



Figura 17. Visita zona ubicada en el barrio Ballenita, zona Urbana. Nota: Se observaron viviendas ubicadas en las zonas de riesgo por donde se encuentra el paso del poliducto. Los habitantes reportan que al menos en la última década, no se ha visto actividad sospechosa por la zona.



Figura 18. Barrio La Alborada, Santa Elena. Nota: no se observaron indicios de afloramientos de combustible por los alrededores.



Figura 19. Barrio El Tablazo, Santa Elena. Nota: se apreciaron grandes cantidades de basura; no hay señalizadores que adviertan del paso del poliducto,



Figura 20. Barrio Cumbres de La Libertad. Nota: los poliductos se encuentran expuestos. Existen viviendas habitadas en las cercanías.



Figura 21. Barrio Pacifico.



Figura 22. Barrio Nueva Jerusalén.



Figura 23. Recorrido de las zonas de interés en el cantón Santa Elena.

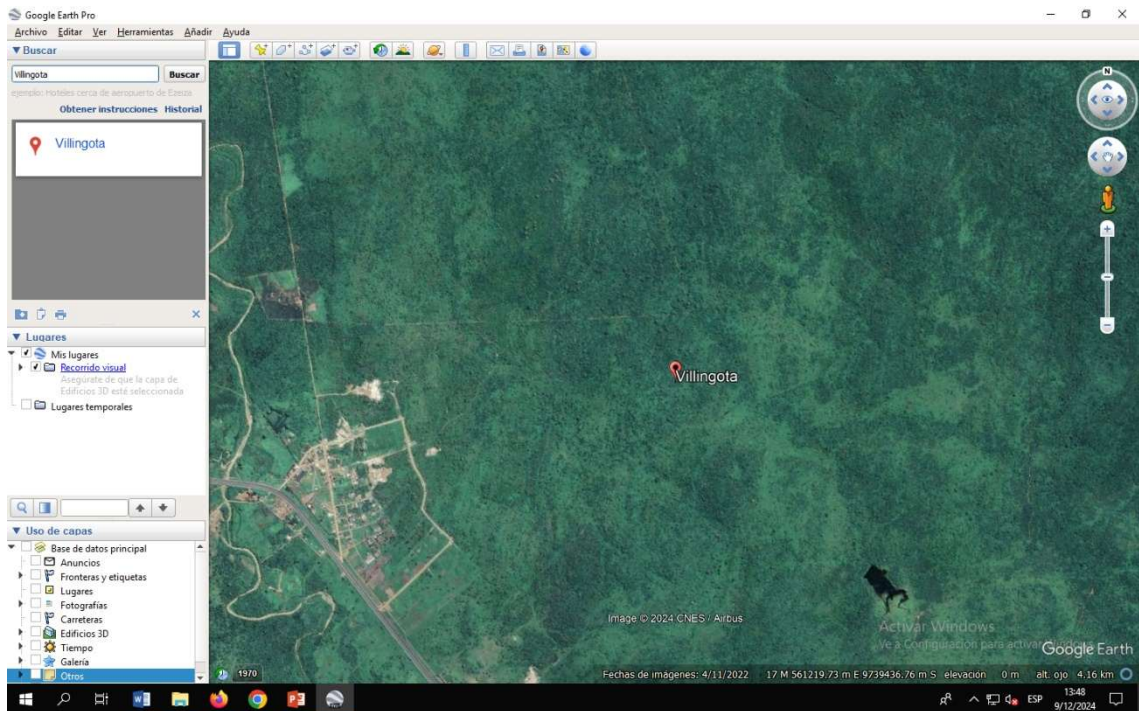


Figura 24. Uso de software Google Earth para ubicar las zonas de interés.



Figura 25. Estado de las zonas cercanas al Poliducto ubicado en el Barrio cumbres de la Libertad.